



УКРАЇНА

(19) UA (11) 52761 (13) C2

(51) 7 C21B13/00, 13/14, C21C5/30

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) СПОСІБ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ПЛАВИЛЬНОГО ВІДНОВЛЕННЯ ОКСИДІВ ЗАЛІЗА

1

(21) 2000010446
(22) 03 07 1998
(24) 15 01 2003
(86) PCT/EP98/04186, 03 07 1998
(31) 1006553
(32) 11 07 1997
(33) NL
(46) 15 01 2003, Бюл. № 1, 2003 р.
(72) Деніс Марк Бернард, NL
(73) КОРУС СТАЛЬ Б В, NL
(56) UA, 26 389, C1, публ. 30 08 1999, Бюл. 5
UA, 27 764, C1, публ. 16 10 2000, Бюл. 5
EP, 0690 136, B1, publ. 03 01 1996
EP, 0384 395, B1, publ. 29 08 1990
JP, 01 252715, A, publ. 09 10 1989
JP, 01 275711, A, publ. 06 11 1989
(57) 1 Спосіб керування процесом плавильного відновлення, зокрема процесом в циклонній конвертерній печі для виробництва переробного чавуну, в яку подають сировину з оксидів заліза, вугілля і кисень, який відрізняється тим, що в ньому
- вимірюють зміст вуглецю C у відпрацьованому газі в формі CO і CO₂,
- вимірюють вміст водню H₂ у відпрацьованому газі в формі H₂ і H₂O,
- визначають відношення C/H₂ у відпрацьованому газі,
- порівнюють відношення C/H₂ у відпрацьованому газі, з відношенням C/H₂, переважаючим у вугіллі,

2

що завантажується, і
- регулюють завантаження вугілля на основі різниці між відношеннями C/H₂ у відпрацьованому газі і вугіллі, що завантажується, таким чином, щоб вміст напівкоксу, що утворюється з вугілля в шарі шляху, підтримувався стабільним, при цьому згаданий вміст не повинен бути набагато менше 20 %
2 Спосіб по п. 1, який відрізняється тим, що відношення C/H₂ у вугіллі, що завантажується, коректують з урахуванням вуглецю, що втрачається при транспортуванні відпрацьованого газу
3 Спосіб по п. 1 або 2, який відрізняється тим, що відношення C/H₂ у вугіллі, що завантажується, коректують з урахуванням вуглецю, що розчиняється в переробному чавуні
4 Спосіб по одному з пп. 1-3, який відрізняється тим, що відношення C/H₂ у вугіллі, що завантажується, коректують з урахуванням вуглецю і/або водню, що надходить з домішками
5 Спосіб по одному з пп. 1-4, який відрізняється тим, що відношення C/H₂ у вугіллі, що завантажується, коректують з урахуванням водню, що надходить при уприскуванні води в систему відпрацьованого газу перед пробною точкою
6 Спосіб по одному з пп. 1-5, який відрізняється тим, що завантаження вугілля регулюють при постійних висоті фурми, подачі сировини і подачі кисню

Винахід відноситься до способу керування процесом плавильного відновлення, зокрема, процесом в циклонній конвертерній печі для виробництва переробного чавуну

Спосіб плавильного відновлення в циклонній конвертерній печі відомий, наприклад, з EP-A 0 690 136

Задача винаходу складається в створенні способу керування процесом плавильного відновлення

По винаходу ця задача вирішується за рахунок того, що

- вимірюють вміст вуглецю C у відпрацьованому газі в формі CO і CO₂,
- вимірюють вміст водню H₂ у відпрацьованому газі в формі H₂ і H₂O,
- визначають відношення C/H₂ вмісту вуглецю C і вмісту водню H₂ у відпрацьованому газі,
- порівнюють відношення C/H₂, визначене у відпрацьованому газі, з відношенням C/H₂, переважаючим у вугіллі, що завантажується, і
- регулюють завантаження вугілля на основі різниці між відношеннями C/H₂ у відпрацьованому газі і вугіллі, що завантажується, таким чином, щоб

(13) C2

(11) 52761

(19) UA

вміст напівкоксу, що утворюється з вугілля в шарі шлаку, залишався стабільним, при цьому згаданий вміст не повинен бути набагато менше 20%

Перевага цього способу полягає в тому, що витрату напівкоксу в плавильному процесі відновлення можна контролювати в оперативному режимі, і що завантаження вугілля в плавильний процес відновлення можна регулювати автоматично

Переважно відношення C/H_2 вугілля, що завантажуються, коректують з урахуванням вуглецю, що втрачається при транспортуванні відпрацьованого газу, вуглецю, що розчиняється в переробному чавуні, вуглецю і/або водню, що вводиться з домішками, і водню, що вводиться при уприскуванні води в систему відпрацьованого газу перед пробною точкою Це поліпшує керування процесом

Переважно завантаження вугілля регулюють при одній і тій же висоті фурми і подачі сировини і кисню Цей прийом забезпечує стабільність протікання процесу

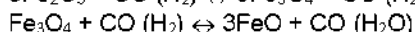
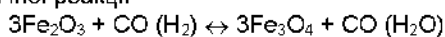
Винахід буде детально показаний для технологічного процесу, який здійснюється в циклонній конвертерній печі (ЦКП), з посиленнями на фігури Однак даний винахід може бути використаний і в інших способах плавильного відновлення, наприклад, в способах AISI (технологія Американського інституту заліза і сталі) і DIOS (спосіб прямого відновлення металу плавкого залізняку, японська технологія)

На Фіг 1 показаний реактор ЦКП

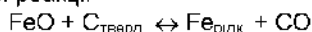
На Фіг 2 показаний вуглецево-водневий баланс в реакторі ЦКП

При виробництві переробного чавуну в ЦКП залізняк, часто в формі Fe_2O_3 , попередньо відновлюють до FeO в плавильному циклоні (1) Остаточне відновлення FeO в залізо (Fe) здійснюють в конвертерній ємкості (2)

У ЦКП плавильний циклон (1) встановлений над плавильною ємкістю (2) у вигляді конвертеру Вугілля (3) подають в плавильну ємкість і частково газифікують шляхом спалення в зоні (10) у атмосфері кисню (4), який подають через фурму або фурми (9) Відпрацьовані гази підіймаються в напрямі циклону Залізняк (5) і кисень (6) задувають в циклон по дотичній Кисень реагує з частиною CO і H_2 , присутніх у відпрацьованому газі, з виділенням тепла Частинки руди, що вдуваються, проходять крізь топку циклону і вміть плавляться У зоні (11) циклону відбувається попереднє відновлення розплавленої руди до FeO відповідно до хімічної реакції



Попередньо відновлена розплавлена руда (12) капає з циклону в шар шлаку (7), що знаходиться в нижній частині плавильної ємкості Краплини руди розчиняються в шлаку У шарі шлаку відбувається остаточне відновлення в залізо відповідно до хімічної реакції



Вуглець, споживаний в цій реакції, поповнюється шляхом введення вугілля в шар шлаку Леткі компоненти, що містяться у вугіллі, у відсіку чистого газу випаровуються, а вуглець в формі, відомій як напівкок, залишається в шлаку Напівкок бере

участь в шлаку в трьох процесах

1 Є засобом відновлення на стадії залишкового відновлення оксидів заліза в залізо

2 Є паливом, що забезпечує виділення необхідного для здійснення відновлення і для плавлення залізняку тепла

3 Створює стабілізуючу дію на процес спінування шару розплавленого шлаку Для цієї мети масова частка напівкоксу не повинна бути набагато менше 20%

У процесах 1 і 2 напівкок витрачається, а в процесі 3 вміст напівкоксу в шлаку потрібно підтримувати по можливості постійним

Процеси 1, 2 і 3 можуть бути об'єднані один з одним шляхом підтримки рівності подачі і витрати напівкоксу Однак напівкок виробляється з вугілля, і крім вироблення напівкоксу, з вугілля внаслідок високої температури виділяються леткі компоненти У свою чергу, леткі компоненти знов вносять певний внесок в процес (2) з участю напівкоксу

Основними компонентами летких складових вугілля часто є вуглець і водень Процес утворення плавильної ванни описують наступні рівняння (див Фіг 2)

$$\phi C_{\text{вуг вх}} + \phi C_{\text{флюс вх}} = \phi C_{\text{газ вих}} + dC_{\text{шлак}}/dt + \phi C_{\text{Fe}} + \phi C_{\text{пил вих}} + \phi C_{\text{шлак}}$$

- рівняння масової рівноваги вуглецю,

$$\phi H_2 \text{ вугілля вх} + \phi H_2 \text{ вода вх} = \phi H_2 \text{ флюс вих} + \phi H_2 \text{ газ вих}$$

- рівняння масової рівноваги водню, де

$\phi C_{\text{вуг вх}}$ - кількість вуглецю, що вводиться з вугіллям,

$\phi H_2 \text{ вугілля вх}$ - кількість водню, що вводиться з вугіллям,

$\phi C_{\text{газ вих}}$ - загальна кількість вуглецю в CO і CO_2 , що містяться у відпрацьованому газі Цей вуглець утворюється при згорянні летких вуглеводнів і напівкоксу в шлаку, а також за участю напівкоксу в реакції остаточного відновлення залізняку, і з будь-яких вуглецевих фракцій в дозованих домішках,

ϕC_{Fe} - кількість вуглецю, що адсорбується в одиницю часу залізом, яке знов утворюється,

$\phi C_{\text{шлак}}$ - кількість вуглецю, що адсорбується в одиницю часу шлаком, який знов утворюється,

$\phi C_{\text{пил вих}}$ - кількість вуглецю, що виходить з реактора ЦКП у вигляді дрібного пилу,

$\phi C_{\text{флюс вх}}$ - кількість вуглецю, що поступає в реактор ЦКП при дозованому введенні домішок (наприклад, $CaCO_3$),

$\phi H_2 \text{ газ вих}$ - загальна кількість водню в формі H_2O і H_2 у відпрацьованому газі Цей водень утворюється з летких вуглеводнів, що є у вугіллі, з водню домішок і, можливо, з охолоджуючої води, що вводиться,

$\phi H_2 \text{ вода вх}$ - кількість водню в формі води, що використовується (можливо) для прямого охолодження гарячого газу в газовій лінії,

$\phi H_2 \text{ флюс вх}$ - кількість водню, що поступає в реактор ЦКП при дозованому введенні домішок

Потрібно відмітити, що можливі також інші джерела і втрати C і H_2 , наприклад, за рахунок забруднень повтря і за рахунок зносу вогнетривкої футеровки металургійних ємкостей Однак, як правило, вони незначні При необхідності вони можуть

бути прийняті в розрахунок таким же чином

Лтера М на Фіг 2 означає пробну або вимірювальну точку

Контроль дозування вугілля відповідно до відношення C/H_2

У плавильному способі відновлення (такому, як спосіб ЦКП) внутрішні умови по мірі протікання процесу змінюються, оскільки ванна шлаку/металу (7), (8) по мірі протікання процесу збільшується. Ці зміни впливають на поведінку реактора. Крім того, у ванні можуть відбуватися витoki, наприклад, за рахунок надмірного пінення шлаку і за рахунок ствердіння розплавленого шлаку

Важливі аспекти стабільного протікання плавильного процесу відновлення у ванні включають

- стабільний вміст вуглецю у ванні металу,
- підтримка стабільної висоти шару шлаку, тобто запобігання надмірному спіненню шлаку, так званому "викиду"

З цієї метою дуже важливо забезпечити хороший контроль вмісту напівкоксу в шлаку. Якщо присутня достатня кількість напівкоксу, він сприяє злиттю маленьких пухирців газу і запобігає викидам. Екстремальні умови в конвертері утруднюють здійснення прямих і надійних вимірювань внутрішніх параметрів процесу, таких як вміст напівкоксу. Внаслідок цього управління реактором ґрунтується переважно (максимально можливим чином) на зовнішніх кількісних вимірюваннях (таких, як вимірювання складу відпрацьованого газу). Коли вміст напівкоксу знаходиться під контролем, процес, що протікає у ванні, можна добре регулювати.

Для цього оператор має в своєму розпорядженні такі контрольні параметри

- об'єм завантаження сировини (вугілля, руди, домішок),
- швидкість подачі кисню,
- висота фурми (= відстань між головою фурми і шаром шлаку)

Нижче пропонується спосіб, за допомогою якого можна легко контролювати зміни у витраті напівкоксу, а дозування вугілля здійснювати так, щоб маса напівкоксу в конвертері залишалася стабільною

Вугілля складається в основному з графіту і летких складових (вуглеводнів). При подачі вугілля у ванну вуглеводні випаровуються і виділяються назовні. Висока температура зумовлює розщеплення вуглеводнів і у відпрацьований газ вони попадають у вигляді H_2 , H_2O , CO і CO_2 . Продукт (напівкокс), що залишається в шлаку, складається в основному з графіту. Цей напівкокс витрачається на здійснення відновних реакцій і на горіння з киснем. Внаслідок обох цих реакцій утворюються CO і CO_2 . Таким чином, вміст водню у відпрацьованому газі (в формі H_2 і H_2O) є тільки функцією типу вугілля, що використовується і кількості вугілля, що завантажується. Тому контроль відношення між вмістом вуглецю і водню у відпрацьованому газі безпосередньо характеризує зміни витрати напівкоксу у ванні

Стабільна маса напівкоксу важлива для здійснення процесу у ванні. Тому відношення C/H_2 у відпрацьованому газі може бути використане для автоматичного регулювання завантаження вугілля. При цьому потрібний надійний відбір проб від-

працьованого газу з конвертера. У цьому випадку в розрахунок повинні прийматися будь-які фракції вуглецю і водню, що є в іншій сировині. Додатково необхідно враховувати два явища, що беруть участь в зменшенні маси напівкоксу в реакторі: втрати пилу напівкоксу в лінії відпрацьованого газу і розчинення вугілля у ванні металу. У той же час, потрібно, щоб відбувалося утворення достатньої кількості напівкоксу для того, щоб вміст напівкоксу у шлаку, що знов утворюється, дорівнював вмісту напівкоксу в шлаку, який вже присутній в конвертері. Ці явища можна контролювати шляхом регулювання завантаження вугілля таким чином, щоб відношення C/H_2 у відпрацьованому газі дорівнювало скоректованому відношенню C/H_2 . У випадку, коли ці явища відсутні, подача вугілля може бути рівна витраті вугілля, якщо відношення C/H_2 у відпрацьованому газі дорівнює цьому відношенню у вугіллі, що завантажується. Нижче приведений приклад розрахунку скоректованого відношення C/H_2 .

Утворення пилу напівкоксу в основному визначається кількістю пилу, вже присутнього у вугіллі, що завантажується, і типом вугілля (що має вирішальне значення для його розпаду при дегазації). Втрати пилу можуть досягати 15%. Однак в ЦКП частина пилу напівкоксу буде згоряти в плавильному циклоні.

Щоб запобігти можливому зменшенню вмісту напівкоксу в шлаку через пилкові втрати, розрахунок скоректованого відношення C/H_2 найкраще проводити, виходячи з максимальних пилкових втрат. На етапі технологічного циклу, коли пилкові втрати менші, в конвертері відбувається деяке збільшення кількості напівкоксу (див приклад). Однак вміст напівкоксу в шлаку залишиться відносно постійним через приріст шару шлаку. Щоб скоректувати можливий надлишковий вміст напівкоксу в шлаку, що залишився після (часткового) відведення металу і шлаку, можна короткочасно зменшити подачу вугілля і дати напівкоксу вигоріти. У результаті вміст напівкоксу зменшується до сити для того, щоб продовжувати регулювання подачі вугілля відповідно до відношення C/H_2 .

Кількість C в переробному чавуні може бути визначена шляхом періодичного відбору проб з отриманого (відведеного) переробного чавуну і визначення вмісту вуглецю в ньому. Необхідна також додаткова корекція до бажаного відношення C/H_2 , якщо домішки (наприклад, $CaCO_3$), що дозуються і, можливо, вода, що вприскується, вносять у відпрацьований газ додаткову кількість вуглецю і/або водню (див приклад).

Приклад

Розрахунок відношення C/H_2

Цей приклад містить розрахунок скоректованого відношення C/H_2 . Розрахунок, зроблений виходячи з наступних умов (ПЧ - переробний чавун)

- установка на 0,7 млн тонн ПЧ/рік,
- продуктивність - 90 тонн ПЧ/година з відведенням кожену годину,
- витрата вугілля - 800 кг/тону ПЧ, вугілля зі середнім вмістом летких,
- максимальні втрати напівкоксу - 15% маси вугілля, що дозується,
- карбонізація ванни переробного чавуну - до

масового змісту 4,5%

Аналіз вугілля зі середнім змістом летких (масовий вміст)

- леткі складові	20%
- пов'язаний вуглець (графіт)	70%
- мінерали	5%
- волога	5%

Сухий беззольний аналіз (90% загальної маси)

- Вуглець	90%
- Водень	5%
- Інше	5%

Розрахунок бажаного відношення C/H_2 у відпрацьованому газі

H_2 в формі вуглеводню в 600кг вугілля = $0,9 \times 0,05 \times 600 = 27 \text{ кг } H_2 = 13,5 \text{ кмоль } H_2$

Додатковий H_2 з вологи в 600кг = $0,05 \times 600 = 30 \text{ кг } H_2O = 1,7 \text{ кмоль } H_2$

Загальна кількість H_2 в 600кг вугілля =

15,2кмоль H_2

Загальна кількість C в 600кг вугілля = $0,9 \times 0,9 \times 600 = 486 \text{ кг } C = 40,5 \text{ кмоль } C$

Відношення C/H_2 у вугіллі, що дозується, = $40,5/15,2 = 2,66$

Максимальні втрати пилу на 600кг вугілля = $0,15 \times 600 = 90 \text{ кг напівкоксу} = 7,5 \text{ кмоль } C$

Карбонізація переробного чавуну на тонну = $0,045 \times 1000 = 45 \text{ кг } C = 3,75 \text{ кмоль } C$

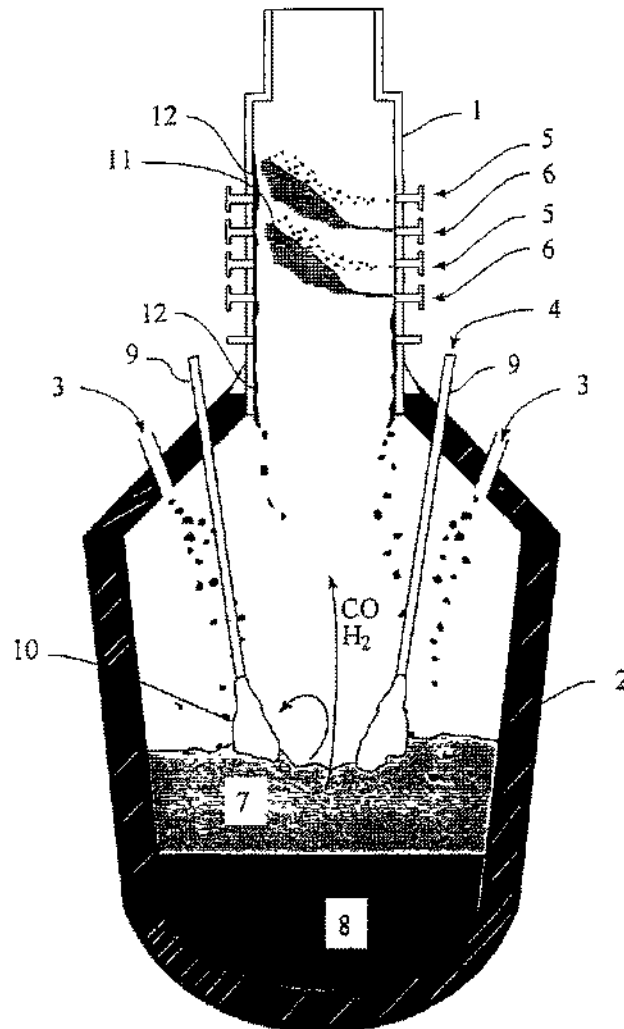
Скоректоване відношення C/H_2 для регулювання по відпрацьованому газу конвертера

$C/H_2 = (40,5 - 7,5 - 3,75)/15,2 = 1,92$

Дозування вапняку в циклоні = $170 \text{ кг/тонну ПЧ} = 1,7 \text{ кмоль } C$

Скоректоване відношення C/H_2 для регулювання по відпрацьованому газу циклону

$C/H_2 = (40,5 - 7,5 - 3,75 + 1,7)/15,2 = 2,04$



Фіг.1

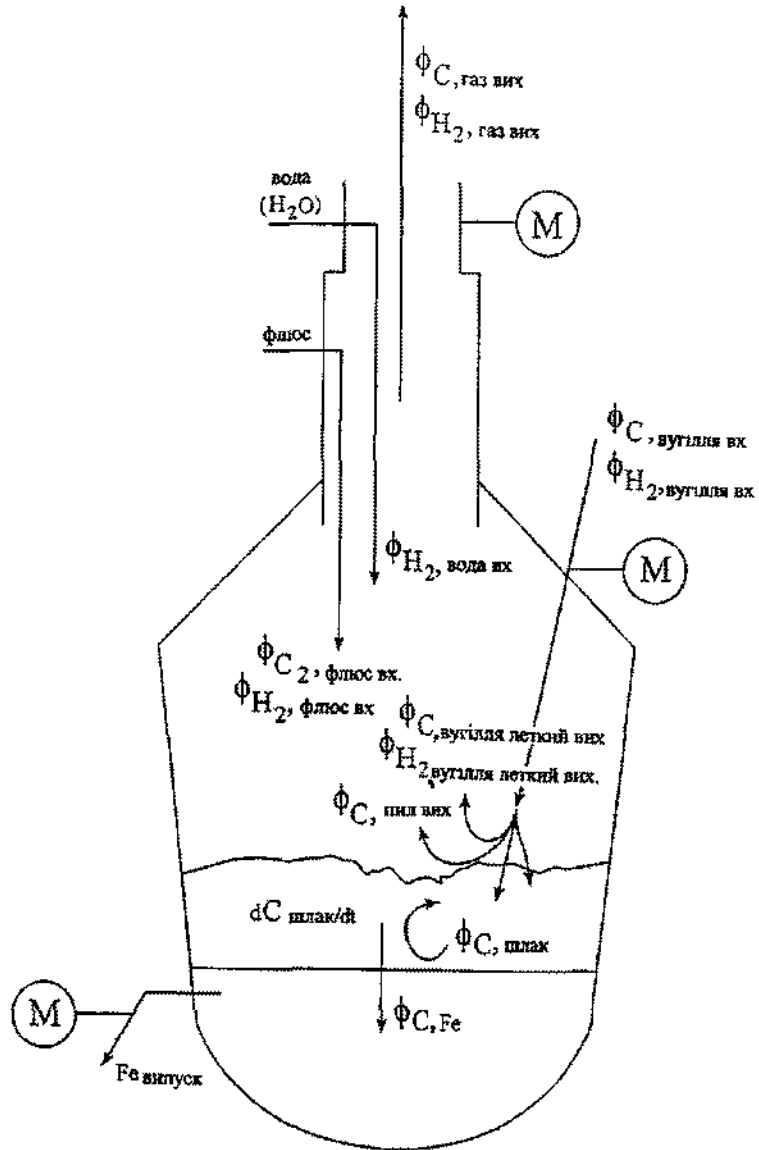


Fig.2