



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **127367** (13) **C2**
(51) МПК (2023.01)
C21B 5/00

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ
ДЕРЖАВНА ОРГАНІЗАЦІЯ
"УКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ОФІС ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ ТА ІННОВАЦІЙ"

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(21) Номер заявки: а 2021 04860	(72) Винахідник(и): Сакаї Гіросі (JP), Нісіока Кокі (JP), Накано Каору (JP)
(22) Дата подання заявки: 17.02.2020	(73) Володілець (володільці): НІППОН СТІЛ КОРПОРЕЙШН, 6-1, Marunouchi 2-chome, Chiyoda-ku, Tokyo 1008071, Japan (JP), ДжейЕфі СТІЛ КОРПОРЕЙШН, 2-3, Uchisaiwai-cho 2-chome, Chiyoda-ku, Tokyo 1000011, Japan (JP), КАБУСИКИ КАЙСЯ КОБЕ СЕЙКО СЕ (КОБЕ СТІЛ, ЛТД.), 2-4, Wakinohama-Kaigandori 2-chome, Chuo- ku, Kobe-shi, Hyogo 6518585, Japan (JP), НІППОН СТІЛ ІНДЖІНІРІНГ КО., ЛТД., 5-1, Osaki 1-chome, Shinagawa-ku, Tokyo 1418604, Japan (JP)
(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: 27.07.2023	(74) Представник: Бочаров Максим Анатолійович, реєстр. №367
(31) Номер попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції: 2019-026220	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: UA 115202 C2, 25.09.2017 UA 102894 C2, 27.08.2013 US 4198228 A, 15.04.1980 US 5234490 A, 10.08.1993 JP 2016113677 A, 23.06.2016 JP 2015199984 A, 12.11.2015
(32) Дата подання попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції: 18.02.2019	
(33) Код держави-учасниці Паризької конвенції, до якої подано попередню заявку: JP	
(41) Публікація відомостей про заявку: 03.11.2021, Бюл.№ 44	
(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: 26.07.2023, Бюл.№ 30	
(86) Номер та дата подання міжнародної заявки, поданої відповідно до Договору РСТ РСТ/JP2020/006011, 17.02.2020	

(54) СПОСІБ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДОМЕННОЇ ПЕЧІ**(57) Реферат:**

Спосіб експлуатації доменної печі, відповідно до одного аспекту даного винаходу, включає в себе: процес отримання кореляції між споживанням вуглецю у відновному газі і зменшенням $\text{Input}\Delta\text{C}$ в питомому споживанні вуглецю, викликаному вдуванням згаданого відновного газу в доменну піч, від молярного співвідношення C/H атомів вуглецю і атомів водню у відновному газі; процес визначення споживання вуглецю у відновному газі, коли зменшення $\text{Input}\Delta\text{C}$ в питомому споживанні вуглецю є заздалегідь заданим цільовим значенням або вищим, на основі кореляції, отриманої від C/H; і процес регулювання кількості відновного газу, що вдується в доменну піч, на основі встановленої витрати вуглецю у відновному газі і частки вуглецю у відновному газі.

UA 127367 C2

Галузь техніки

Даний винахід стосується способу експлуатації доменної печі.

Пріоритет заявляється по заявці на патент Японії №2019-026220, поданій 18 лютого 2019 р., зміст якої включений в цей документ за допомогою посилання.

5 Попередній рівень техніки

У сталеливарній промисловості доменний процес є основним напрямком для здійснення процесу виплавки сталі. У доменному процесі залізовмісні матеріали для доменної печі (сировина, що включає оксид заліза; в основному спечені руди; що надалі просто називаються "залізовмісні матеріали") і кокс почергово завантажують шарами в доменну піч з верхньої частини доменної печі, і гаряче дуття вдувають в доменну піч через фурми в нижній частині доменної печі. Гаряче дуття вступає в реакцію з пилоподібним вугіллям, що вдувається разом з гарячим дуттям, і з коксом в доменній печі, так що в доменній печі утворюється високотемпературний відновний газ (в цьому випадку в основному газоподібний CO). Тобто гаряче дуття газифікує кокс і пилоподібне вугілля в доменній печі. Відновний газ підіймається в доменній печі і відновлює залізовмісний матеріал при нагріванні залізовмісних матеріалів. Залізовмісні матеріали нагріваються і відновлюються відновним газом, опускаючись в доменній печі. Далі, залізовмісні матеріали розплавляються і падають в доменній печі при подальшому відновленні коксом. Зрештою, залізовмісні матеріали накопичуються в горні у вигляді розплавленого заліза (чавуну), який містить приблизно 5 мас. % вуглецю. Розплавлене залізо з горна витягують через лютку і використовують для наступного процесу виплавки сталі. Відповідно, в доменному процесі як відновний матеріал використовують вуглецевий матеріал, такий як кокс або пилоподібне вугілля.

Між тим, останнім часом глобальне потепління стало соціальною проблемою, і як контрзахід проти глобального потепління було заявлене скорочення викидів діоксиду вуглецю (газоподібного CO₂), який є одним з газів з парниковим ефектом. Як описано вище, в доменному процесі велику кількість чавуну отримують з використанням вуглецевого матеріалу як відновного матеріалу. Тому утворюється велика кількість CO₂. Відповідно, сталеливарна промисловість є основною галуззю відносно викидів газоподібного CO₂ і повинна задовольняти вимоги суспільства. Зокрема, додаткове зменшення відновного матеріалу, що витрачається (кількість відновного матеріалу, що використовується на тонну розплавленого заліза), настійно необхідне в роботі доменної печі. Зокрема, витрата відновного матеріалу стосується загальної маси коксу і пилоподібного вугілля, необхідної для виробництва однієї тонни розплавленого заліза і (якщо відновний газ вдувається через фурму), відновний газ (описаний нижче, що вдувається через фурму).

Відновний матеріал виконує функцію нагрівальних матеріалів, що завантажуються в піч як джерело тепла, і функцію відновлення залізовмісного матеріалу в печі, при цьому необхідно підвищити ефективність відновлення в печі для зменшення витрати відновного матеріалу. Реакції відновлення в печі можуть бути представлені різними рівняннями реакцій. Серед цих реакцій відновлення реакція прямого відновлення коксом (рівняння реакції: $\text{FeO} + \text{C} \rightarrow \text{Fe} + \text{CO}$) є ендотермічною реакцією, що супроводжується високим поглинанням тепла. Відповідно, щоб зменшити витрату відновного матеріалу, важливо, наскільки можливо, придушити виникнення реакції прямого відновлення. Причина цього полягає в тому, що, по можливості, придушуючи протікання реакції прямого відновлення, можна зменшити кількість коксу і відновного матеріалу, що використовується як джерело тепла, необхідного для реакції прямого відновлення. Реакція прямого відновлення відбувається в нижній частині доменної печі. Отже, оскільки залізовмісні матеріали можуть бути в достатній мірі відновлені відновним газом, таким як CO або H₂, доти, поки залізовмісні матеріали не досягнуть нижньої частини печі, можуть бути зменшені залізовмісні матеріали як ціль реакції прямого відновлення.

Як методи для розв'язання вищеописаної проблеми в попередньому рівні техніки, наприклад, як описано в патентних документах 1-3, відомий спосіб підвищення відновного потенціалу газу в печі шляхом вдування відновного газу (наприклад, коксового газу COG (coke oven gas), зрідженого природного газу LPG або газоподібного метану), що включають в себе вуглець, разом з гарячим дуттям з фурми. У цьому способі вуглець у відновному газі, що видувається з фурми, перетворюється на газоподібний CO в доменній печі для відновлення залізовмісних матеріалів. У результаті, кількість залізовмісних матеріалів як цілі реакції прямого відновлення може бути зменшена. У подальшому описі, якщо не вказане інше, "вуглець" і "водень" представляють "атом вуглецю" і "атом водню", відповідно.

[Патентний документ 1] Патент Японії №6019893

[Патентний документ 2] Патент Японії №5070706

60 [Патентний документ 3] японська патентна заявка №6019893, яка не пройшла експертизу,

перша публікація №2007-169750

Розкриття винаходу

Проблеми, які вирішуються за допомогою винаходу

Однак, коли кількість відновного газу, що включає в себе вуглець, що вдувається (його кількість, що вдувається на тонну розплавленого заліза), збільшується, кількість вуглецю, що подається в доменну піч, збільшується разом зі збільшенням кількості відновного матеріалу, що вдувається. Разом зі збільшенням об'єму відновного газу змінюється коефіцієнт використання газоподібного СО в доменній печі. Коли об'єм відновного газу понадміру збільшується, більша частина відновного газу виводиться без його використання в печі. Відповідно, коли тільки кількість відновного газу, що вдувається, збільшується, вуглець у відновному газі виводиться без його використання для відновлення, так що може збільшитися витрата відновного матеріалу або можуть збільшитися викиди CO_2 .

Таким чином, даний винахід був створений з урахуванням вищеописаних проблем і метою даного винаходу є створення нового і поліпшеного способу експлуатації доменної печі, в якому може бути отриманий бажаний ефект зменшення витрати відновного матеріалу.

Засоби для розв'язання проблеми

Для досягнення мети автори даного винаходу визначили параметри $\text{Input}\Delta\text{C}$ зменшення для питомої витрати вуглецю, що викликається вдуванням відновного газу в доменну піч. У цьому документі питома витрата вуглецю InputC (кг/т чавуну) стосується кількості вуглецю, споживаної на тонну розплавленого заліза (чавуну), і, більш конкретно, стосується загальної маси коксу, пилоподібного вугілля і вуглецю у відновному газі, що вдувається з фурми, необхідної для виробництва однієї тонни розплавленого заліза. Зокрема, InputC обчислюють з наступного числового виразу (1).

InputC (кг/т чавуну) = Витрата коксу (кг/т чавуну) $\times$ Частка вуглецю (мас. %) в коксі + Витрата пилоподібного вугілля (кг/т чавуну) $\times$ Частка вуглецю (мас. %) в пилоподібному вугіллі + Витрата використовуваного відновного газу ($\text{Hm}^3/\text{т}$ чавуну) $\times$ Частка вуглецю (кг/ Hm^3) у відновному газі (1).

У цьому документі витрата коксу і витрата пилоподібного вугілля стосуються кількостей коксу і пилоподібного вугілля, використаних на тонну розплавленого заліза. Витрата використовуваного відновного газу стосується об'єму відновного газу на тонну розплавленого заліза. Частка вуглецю в коксі стосується мас. % вуглецю по відношенню до загальної маси коксу, а частка вуглецю в пилоподібному вугіллі стосується мас. % вуглецю по відношенню до загальної маси пилоподібного вугілля. Частка вуглецю у відновному газі стосується вмісту вуглецю в одиниці об'єму відновного газу. У числовому виразі (1) об'єм ($\text{Hm}^3/\text{т}$ чавуну) відновного газу, що вдувається для отримання однієї тонни розплавленого заліза, використовували як витрату використовуваного відновного газу, а вміст вуглецю (кг/ Hm^3) в одиниці об'єму відновного газу використовували як частку вуглецю у відновному газі. Однак, масу (кг/т чавуну) відновного газу, що вдувається для отримання однієї тонни розплавленого заліза, використовували як витрату використовуваного відновного газу, а як частку вуглецю у відновному газі використовували мас. % вуглецю по відношенню до загальної маси відновного газу.

$\text{Input}\Delta\text{C}$ можна визначити, наприклад, як частку зниження (у відсотках, %) питомого споживання вуглецю (Input C) операції, при якій задану кількість відновного газу вдувають відносно базової роботи. При базовій роботі, наприклад, можуть бути встановлені умови роботи, при яких відновний газ не вдувають. Коли InputC базової роботи представлений як А (кг/т чавуну), а InputC роботи, при якій вдувають задану кількість відновного газу, представлений як В (кг/т чавуну), $\text{Input}\Delta\text{C}$ представлений наступним числовим виразом (2). Звичайно, зменшення $\text{Input}\Delta\text{C}$ в питомому споживанні вуглецю не обмежується значенням, представленим наступним числовим виразом (2), і може бути значенням, що представляє ступінь зменшення питомого споживання вуглецю по відношенню до базової роботи. Наприклад, $\text{Input}\Delta\text{C}$ може бути різницею (А-В) між А і В.

$\text{Input}\Delta\text{C} = (\text{A}-\text{B})/\text{A} \times 100$ (%) (2)

$\text{Input}\Delta\text{C}$ є параметром, який відповідає витраті відновного матеріалу, і коли $\text{Input}\Delta\text{C}$ зростає, то зростає зменшення у витраті відновного матеріалу відносно базової роботи. Як детально описано нижче в прикладах, автори даного винаходу обчислили $\text{Input}\Delta\text{C}$ відносно кількостей множини відновних газів, що вдуваються, шляхом моделювання експлуатації доменної печі при зміні типу відновного газу і кількості відновного газу, що вдувається (кількість відновного газу, що вдувається на тонну розплавленого заліза). У результаті, поки кількість відновного газу, що вдувається, мала, $\text{Input}\Delta\text{C}$ збільшується разом зі збільшенням кількості відновного газу, що вдувається. Однак, було встановлено, що, коли кількість відновного газу, що вдувається, далі

збільшується, то збільшення $\text{Input}\Delta\text{C}$ знижується, і $\text{Input}\Delta\text{C}$ починає зменшуватися.

Таким чином, автори даного винаходу провели дослідження параметрів, які впливають на $\text{Input}\Delta\text{C}$ або витрата відновного матеріалу. По-перше, автори даного винаходу зосередилися на кількості водню, що подається ($\text{Hm}^3/\text{т}$ чавуну) в доменну піч на тонну розплавленого заліза.

5 Водень, представлений в цьому документі, стосується водню, що подається у фронт (перед) фурми, і включає в себе не тільки водень у відновному газі, але і водень в гігроскопічній волозі повітря і водень в пилоподібному вугіллі. Автори даного винаходу змінювали кількість водню, що подається, змінивши тип відновного газу і кількість відновного газу, що вдувається, і отримали кореляцію між кількістю водню, що подається, і ступенем водневого відновлення (%)

10 в цей час за допомогою моделювання експлуатації доменної печі. У цьому документі моделювання експлуатації доменної печі було виконане з використанням того ж методу, що і в прикладі 1 нижче. Ступінь водневого відновлення визначають як частку оксиду заліза, відновленого воднем, в оксиді заліза, поданому в піч, і сума ступеню відновлення CO (частка оксиду заліза, відновленого газоподібним CO) і ступеню прямого відновлення (частка оксиду

15 заліза, відновленого шляхом прямого відновлення за допомогою C) становить 100 %. Результати показані на фіг. 2. На фіг. 2 як відновний газ використовували коксовий газ (COG), природний газ (NG) і змішаний газ з коксового газу і газоподібного водню. У цьому документі під час змішування коксового газу і газоподібного водню для змішаного газу, $\text{COG:H}_2=1:1,43$, якщо загальна кількість водню, що подається в піч, становить $\approx 270 \text{ Hm}^3/\text{т}$ чавуну, і $\text{COG:H}_2=1:2,28$,

20 якщо загальна кількість водню, що подається в піч, становить $\approx 340 \text{ Hm}^3/\text{т}$ чавуну. При базовій роботі відновний газ не вдували. У результаті можна бачити, що, незалежно від типу відновного газу, оскільки збільшується кількість водню, що подається, ступінь водневого відновлення (%) по суті монотонно зростає. Коли залізовмісні матеріали відновлені повністю, сума ступеню водневого відновлення, ступеню відновлення CO і ступеню прямого відновлення становить

25 100 %, і існує співвідношення, при якому, оскільки збільшується ступінь водневого відновлення ступінь прямого відновлення (або ступінь відновлення CO) зменшується. Фіг. 3 в цей час показує ступінь прямого відновлення. У цьому випробуванні, оскільки кількість водню, що подається, збільшується, ступінь водневого відновлення монотонно зростає, ступінь прямого відновлення монотонно зменшується, при цьому $\text{Input}\Delta\text{C}$ монотонно збільшується разом зі

30 збільшенням кількості водню, що подається. Отже, специфічна поведінка, при якій збільшення $\text{Input}\Delta\text{C}$ знижується разом зі збільшенням кількості водню, що подається, а $\text{Input}\Delta\text{C}$ починає зменшуватися, малоймовірна. Відповідно, було виявлено, що кількість водню, що подається, не є параметром, що впливає на поведінку $\text{Input}\Delta\text{C}$ або витрату відновного матеріалу.

Далі, автори даного винаходу зосередилися на споживанні вуглецю, що подається в доменну піч разом з відновним газом, що видувається з фурми. У цьому документі споживання вуглецю, що подається в доменну піч разом з відновним газом, являє собою значення, отримане шляхом множення частки вуглецю (кг/Hm^3) у відновному газі на об'єм відновного газу ($\text{Hm}^3/\text{т}$ чавуну) на тонну розплавленого заліза. Надалі в цьому документі споживання вуглецю, що подається в доменну піч разом з відновним газом, також буде називатися як "споживання

40 вуглецю у відновному газі".

Автори даного винаходу обчислили $\text{Input}\Delta\text{C}$, шляхом проведення моделювання експлуатації доменної печі при зміні споживання вуглецю у відновному газі і типу відновного газу, як детально описано нижче в прикладах. У результаті, автори даного винаходу виявили, що існує кореляція між $\text{Input}\Delta\text{C}$ і споживанням вуглецю у відновному газі.

45 Автори даного винаходу провели дослідження кореляції між $\text{Input}\Delta\text{C}$ і споживанням вуглецю у відновному газі і з'ясували, що кореляція між $\text{Input}\Delta\text{C}$ і споживанням вуглецю у відновному газі має тенденцію змінюватися між випадком, коли молярне відношення C/H атомів вуглецю і атомів водню у відновному газі становить 0,15 або вище, і випадком, коли C/H нижче 0,15. Більш конкретно, якщо C/H у відновному газі становить 0,15 або вище, кореляція між $\text{Input}\Delta\text{C}$ і

50 споживанням вуглецю у відновному газі однозначно визначається незалежно від типу відновного газу (іншими словами, незалежно від C/H у відновному газі). З іншого боку, коли C/H у відновному газі нижче 0,15, кореляція між $\text{Input}\Delta\text{C}$ і споживанням вуглецю у відновному газі змінюється залежно від C/H у відновному газі. Потрібно зазначити, що у всіх випадках кореляція між $\text{Input}\Delta\text{C}$ і споживанням вуглецю у відновному газі представлена графіком, який утворює

55 опуклу вгору криву (тобто, якщо споживання вуглецю у відновному газі складає задане значення, то відображається максимальне значення).

Відповідно, шляхом отримання кореляції між $\text{Input}\Delta\text{C}$ і споживанням вуглецю у відновному газі заздалегідь від C/H у відновному газі, споживання вуглецю у відновному газі може бути визначене таким чином, що $\text{Input}\Delta\text{C}$ є заздалегідь заданим цільовим значенням або вище на

60 основі кореляції. До того ж, кількість відновного газу, що вдувається в доменну піч, можна

регулювати на основі певного споживання вуглецю у відновному газі і частки вуглецю у відновному газі. У результаті, може бути отриманий бажаний InputΔC (тобто InputΔC, який є цільовим значенням або вище). Тобто, може бути отриманий бажаний ефект зменшення витрати відновного матеріалу, і додатково витрата відновного матеріалу може бути зменшена надійніше. Крім того, відповідно до цієї кореляції, якщо споживання вуглецю у відновному газі складає задане значення, InputΔC показує максимальне значення (конкретний графік буде описаний нижче). Відповідно, якщо споживання вуглецю у відновному газі визначають таким чином, що InputΔC близько до максимального значення, витрата відновного матеріалу може бути ефективніше знижена. Крім того, шляхом отримання кореляції від C/H у відновному газі, кількість відновного газу, що вдувається, може бути визначена на основі кореляції, яка відповідає C/H у відновному газі. Автори даного винаходу завершили даний винахід на основі вищеописаних висновків.

Короткий виклад даного винаходу полягає в наступному.

Відповідно до одного аспекту даного винаходу запропонований спосіб експлуатації доменної печі, в якому відновний газ, що включає в себе атоми водню і атоми вуглецю, вдувають в доменну піч, причому спосіб включає в себе: отримання кореляції між споживанням вуглецю у відновному газі і зменшенням InputΔC в питомому споживанні вуглецю, викликаному вдуванням відновного газу в доменну піч, від молярного відношення C/H атомів вуглецю до атомів водню у відновному газі; визначення споживання вуглецю у відновному газі, де зменшення InputΔC в питомому споживанні вуглецю є заданим цільовим значенням або вище на основі кореляції, отриманої від C/H; і регулювання кількості відновного газу, що вдувається в доменну піч, на основі певного споживання вуглецю у відновному газі і частки вуглецю у відновному газі.

У цьому документі молярне відношення C/H атомів вуглецю до атомів водню у відновному газі може становити 0,15 або вище.

Крім того, кореляція може бути представлена квадратичним виразом споживання вуглецю у відновному газі.

Крім того, кореляція може бути представлена з допомогою $Y=a_1 \times X^2+b_1X+c_1$ (де X представляє споживання вуглецю у відновному газі, Y представляє зменшення InputΔC в питомому споживанні вуглецю, при цьому всі коефіцієнти a_1 , b_1 і c_1 представляють значення, які не залежать від молярного відношення C/H).

Крім того, споживання вуглецю у відновному газі може бути встановлене в діапазоні від 21 кг/т чавуну до 107 кг/т чавуну.

Крім того, споживання вуглецю у відновному газі може бути встановлене в діапазоні від 21 кг/т чавуну до 65 кг/т чавуну.

Крім того, молярне відношення C/H атомів вуглецю до атомів водню у відновному газі може бути вищим 0 і нижчим 0,15.

Крім того, молярне відношення C/H атомів вуглецю до атомів водню у відновному газі може становити 0,13 або нижче.

Крім того, молярне відношення C/H атомів вуглецю до атомів водню у відновному газі може становити 0,10 або нижче.

До того ж, кореляція може бути представлена $Y=a_2 \times X^2+b_2X+c_2$ (де X представляє споживання вуглецю у відновному газі, Y представляє зменшення InputΔC в питомому споживанні вуглецю, і, щонайменше, один з коефіцієнтів a_2 , b_2 і c_2 представляє функцію, що включає в себе молярне відношення C/H як змінну).

До того ж, коли відновний газ вдувається в доменну піч, температура полум'я може бути відрегульована, щоб вона була 2000 °C або вищою.

До того ж, для регулювання температури полум'я на 2000 °C або вище може бути відкориговано, щонайменше, одне з об'єму дуття або коефіцієнта збагачення дуття киснем при гарячому дутті.

Крім того, відновний газ може бути вибраний з групи, яка складається з коксового газу, природного газу, підданого риформінгу колошникового газу (BFG, blast-furnace gas), комунального газу, змішаного з них газу, а також водневого змішаного газу, отриманого шляхом змішування з ними газоподібного водню.

Ефекти винаходу

Відповідно до аспекту даного винаходу може бути отриманий бажаний ефект зменшення витрати відновного матеріалу.

Короткий опис креслень

Фіг. 1 являє собою графік, який показує кореляцію між InputΔC і споживанням вуглецю (кг/т чавуну) у відновному газі від C/H у відновному газі.

Фіг. 2 являє собою графік, який показує залежність між ступенем водневого відновлення і

кількістю водню, що подається ($\text{Нм}^3/\text{т}$ чавуну) в доменну піч на тонну розплавленого заліза.

Фіг. 3 являє собою графік, який показує залежність між ступенем прямого відновлення і кількістю водню, що подається ($\text{Нм}^3/\text{т}$ чавуну) в доменну піч на тонну розплавленого заліза.

Варіанти здійснення винаходу

Далі в цьому документі буде детально описаний переважний варіант здійснення даного винаходу. У наступному варіанті здійснення діапазон числових обмежень, представлений з використанням "до", стосується діапазону, що включає в себе числові значення до і після "до" як нижня межа і верхня межа. Числове значення, показане разом з "більше" або "менше", не входить в числовий діапазон.

1. Кореляція між $\text{Input}\Delta\text{C}$ і споживанням вуглецю у відновному газі

По-перше, кореляція між $\text{Input}\Delta\text{C}$ і споживанням вуглецю у відновному газі, що видувається з фурми (надалі кореляція буде також називатися як "кореляція ΔC -відновний газ") буде описана на основі фіг. 1. На фіг. 1 вертикальна вісь (вісь у) представляє $\text{Input}\Delta\text{C}(\%)$, а горизонтальна вісь (вісь х) представляє споживання вуглецю (кг/т чавуну) у відновному газі.

У цьому документі $\text{Input}\Delta\text{C}$ можна визначити як частку зменшення питомої витрати вуглецю, викликаного вдуванням відновного газу в доменну піч. Якщо InputC базової роботи представлений з допомогою А (кг/т чавуну), а InputC роботи, в якій вдувається задана кількість відновного газу, представлений як В (кг/т чавуну), $\text{Input}\Delta\text{C}$ представлений наступним числовим виразом (2). Потрібно зазначити, що $\text{Input}\Delta\text{C}$ базової роботи на фіг. 1 дорівнює 0,0. Звичайно, $\text{Input}\Delta\text{C}$ не обмежується будучи представленим наступним числовим виразом (2). Наприклад, різниця (А-В) між А і В може бути отримана як $\text{Input}\Delta\text{C}$.

$$\text{Input}\Delta\text{C} = (\text{A} - \text{B}) / \text{A} \times 100 (\%) \quad (2)$$

Споживання вуглецю у відновному газі стосується споживання вуглецю, що подається в доменну піч за допомогою відновного газу, що видувається з фурми, як описано вище, і може бути отримане шляхом множення частки вуглецю (кг/Нм^3) у відновному газі на об'єм відновного газу ($\text{Нм}^3/\text{т}$ чавуну) на тонну розплавленого заліза.

Відновний газ вдувають в доменну піч з фурми, передбаченої в доменній печі. Відновний газ включає в себе відновні компоненти, які відновлюють залізовмісні матеріали в доменній печі. У цьому документі відновні компоненти згідно з варіантом здійснення включають в себе не тільки компонент (наприклад, газоподібний СО або газоподібний водень), який може сам по собі відновлювати залізовмісні матеріали, але також компонент (наприклад, газоподібний CO_2 або вуглеводневий газ), який може виробляти відновний газ за допомогою реакції в доменній печі (наприклад, в реакції з коксом, пилоподібним вугіллям або т. п. або розкладанням).

Кореляцію ΔC -відновний газ, показану на фіг. 1, отримують шляхом проведення, наприклад, моделювання експлуатації доменної печі. Як моделювання експлуатації доменної печі може використовуватися, наприклад, так звана "Blast Furnace Mathematical Model" Kouji TAKATANI, TakanoBU INADA, Yutaka UJISAWA, "Three-dimensional Dynamic Simulator for Blast Furnace", ISIJ International, Vol. 39 (1999), No.1, p.15 to 22. У цій математичній моделі доменної печі внутрішня область доменної печі розділена в напрямку висоти, радіальному напрямку, а також ободовому напрямку, для визначення множини комірок (невеликих областей), при цьому моделюється поведінка кожної з комірок. Короткий опис моделювання експлуатації доменної печі виглядає таким чином. Тобто, моделювання експлуатації доменної печі виконують з використанням різних випадків, коли С/Н у відновному газі і кількість відновного газу, що вдувається (його кількість, що вдувається на тонну розплавленого заліза), відрізняються одне від одного. Випадки також включають в себе базову роботу (випадок, коли об'єм зменшуваного газу дорівнює 0). При цьому умови експлуатації регулюють таким чином, щоб температура полум'я і температура розплавленого заліза були як можна більш сталими в цих випадках. Наприклад, може бути відкориговано, щонайменше, одне з об'єму дуття або коефіцієнта збагачення дуття киснем при гарячому дутті. У цьому документі температура полум'я стосується внутрішньопічної температури в кінцевій частині наконечника фурми на внутрішній частині печі, і також буде називатися "температура наконечника фурми". У реальній роботі температуру полум'я обчислюють як теоретичну температуру горіння в наконечнику фурми відповідно до рівняння Ламма (Lamm), описаного в "Ironmaking Handbook" (Chijinshokan Co., Ltd.), Akitoshi SHIGEMI. Гаряче дуття, що вдувається в доменну піч, являє собою газ, що містить повітря. Гаряче дуття може містити гігроскопічну вологу і бути збагаченим киснем, в доповнення до повітря. Схематично, коефіцієнт збагачення дуття киснем стосується об'ємної частки кисню в гарячому дутті по відношенню до загального об'єму гарячого дуття і представлений як "Коефіцієнт збагачення дуття киснем (%) = $\{(\text{Об'єм дуття } [\text{Нм}^3/\text{хв}] \times 0,21 + \text{Кількість збагачуючого кисню } [\text{Нм}^3/\text{хв}] / (\text{Об'єм дуття } [\text{Нм}^3/\text{хв}] + \text{Кількість збагачуючого кисню } [\text{Нм}^3/\text{хв}])\} \times 100 - 21$. До того ж, регулювання вищеописаних чинників або замість нього, щонайменше, одного з витрати коксу або

пилоподібного вугілля можна відкоригувати. У результаті, в кожному конкретному випадку отримують InputΔC і споживання вуглецю у відновному газі. До речі, точка, що представляє InputΔC і споживання вуглецю у відновному газі в кожному з випадків, нанесена на площину ху, показану на фіг. 1. Точки P1-P8 є прикладами нанесених точок. Побудовану по точках криву кожної з ділянок отримують з використанням методу апроксимації, такого як метод найменших квадратів або т. п. Ці побудовані по експериментальних точках криві утворюють графік, який показує кореляцію ΔC-відновний газ. Графіки L1-L5 є прикладами графіка, який показує кореляцію ΔC-відновний газ.

1-1. Випадок, коли C/H становить 0,15 або вище

Як описано вище, кореляція між InputΔC і споживанням вуглецю у відновному газі, тобто кореляція ΔC-відновний газ, має тенденцію змінюватися між випадком, коли молярне відношення C/H атомів вуглецю до атомів водню у відновному газі становить 0,15 або вище, і випадком, коли C/H нижче 0,15. Тому, по-перше, кореляція ΔC-відновний газ у випадку, коли C/H становить 0,15 або вище, буде описана на основі точок P1-P4 і графіка L1.

У цьому документі точка P1 представляє InputΔC і споживання вуглецю у відновному газі при базовій роботі (робота, коли відновний газ не вдувають), точки P2 і P4 представляють InputΔC і споживання вуглецю у відновному газі при роботі, коли вдувають коксовий газ (COG, C/H=0,186) як відновний газ, а точка P3 представляє InputΔC і споживання вуглецю у відновному газі при роботі, коли вдувають природний газ (C/H=0,25) як відновний газ. Точки P1-P3 були отримані з використанням того ж методу, що і в прикладі 1, описаному нижче. Точка P4 була отримана з використанням того ж методу, що і в прикладі 1, за винятком того, що температура полум'я була встановлена такою, що дорівнювала 2085 °C або 2315 °C. Графік L1 являє собою графік, що показує побудовану по експериментальних точках криву з точок від P1 до P4, тобто кореляцію ΔC-відновний газ.

Приклади відновного газу, де C/H становить 0,15 або вище, включають в себе COG, природний газ, комунальний газ і т. п. Відновним газом може бути газ, отриманий шляхом риформінгу колошникового газу (BFG), (газ, отриманий шляхом видалення водяної пари і газоподібного CO₂ з колошникового газу). Серед них переважний відновний газ, що включає в себе вуглеводневий газ, тобто COG, природний газ, комунальний газ або т. п. Коли використовують цей відновний газ, вуглеводневий газ спалюється в печі для вироблення тепла згоряння. Тому можна чекати додаткового зменшення витрати відновного матеріалу. Крім того, на чавуноливарному заводі, де є коксовий піч, енергія може бути забезпечена від самого чавуноливарного заводу шляхом використання COG. COG більш переважний порівняно з іншими відновними газами з точки зору витрат. Верхня межа C/H особливо не обмежується і, наприклад, може становити 0,3 або менше.

Склад COG, використаний для отримання даних точок P2 і P4, показаний в таблиці 1, а склад природного газу, використаного для отримання даних точки P3, показаний в таблиці 2. Ці склади були визначені з допомогою газової хроматографії, мас-спектрометра або т. п. Числові значення кожного з компонентів, показані в таблицях 1 і 2, являють собою молярне відношення (більш конкретно, відношення молярних концентрацій (моль/л)). Потрібно зазначити, що C являє собою частку вуглецю (кг/Нм³) у відновному газі. C/H в COG, що має склад, показаний в таблиці 1 нижче, становить 0,185. Приклад розрахунку виглядає таким чином.

$$(0,065+0,025+0,292+0,02\times2+0,008\times2)/(0,535\times2+0,292\times4+0,02\times4+0,008\times6)=0,185$$

До того ж, C/H природного газу, що має склад, показаний в таблиці 2 нижче, становить 0,271. Приклад розрахунку виглядає таким чином.

$$(0,85+0,03\times2+0,12\times2)/(0,85\times4+0,03\times4+0,12\times6)=0,271$$

Таблиця 1

Приклад складу коксового газу COG

CO	CO ₂	H ₂	N ₂	CH ₄	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	C	C/H
(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(кг/Нм ³)	(-)
0,065	0,025	0,535	0,055	0,292	0,02	0,008	0,23	0,185

Таблиця 2

Приклад складу природного газу

CH ₄	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	C	C/H
(-)	(-)	(-)	(кг/Нм ³)	(-)
0,85	0,03	0,12	0,62	0,271

Як можна бачити з фіг. 1, точки P1-P4 присутні по суті на одному і тому ж графіку L1. Відповідно, отримуючи споживання вуглецю у відновному газі незалежно від типу відновного газу (іншими словами, незалежно від C/H у відновному газі), InputΔC може бути визначено однозначно. Тобто, InputΔC і споживання вуглецю у відновному газі мають кореляцію, яка не залежить від C/H, ця кореляція представлена графіком L1. Крім того, коли береться до уваги той факт, що точка P4 присутня на графіку L1, можна сказати, що кореляція також не залежить від температури полум'я.

Оскільки графік L1 представлений опуклим вгору графіком, споживання вуглецю у відновному газі представляють квадратичним виразом. Наприклад, графік L1 представлений числовим виразом $Y=a_1 \times X^2+b_1X+c_1$. X представляє споживання вуглецю у відновному газі, а Y представляє InputΔC. Всі коефіцієнти a_1 , b_1 і c_1 являють собою значення, які не залежать від молярного відношення C/H. У прикладі на фіг. 1 графік L1 представлений числовим виразом

$Y=-0,0014 \times X^2+0,194X$ (тобто, $a_1=-0,0014$, $b_1=0,194$, $c_1=0$). Звичайно, графік L1 не обмежується представленням цього числового виразу.

Згідно з графіком L1, якщо споживання вуглецю у відновному газі знаходиться в діапазоні 65 кг/т чавуну або нижче, то InputΔC має позитивну кореляцію зі споживанням вуглецю у відновному газі, а якщо споживання вуглецю у відновному газі знаходиться в діапазоні вище 65 кг/т чавуну, то InputΔC має негативну кореляцію зі споживанням вуглецю у відновному газі. До того ж, якщо споживання вуглецю у відновному газі становить приблизно 65 кг/т чавуну, то InputΔC показує максимальне значення. Відповідно, якщо споживання вуглецю у відновному газі визначається таким чином, що InputΔC близько до максимального значення, то витрата відновного матеріалу може бути додатково зменшена.

Більш конкретно, коли споживання вуглецю у відновному газі знаходиться в діапазоні від 21 кг/т чавуну до 107 кг/т чавуну, InputΔC становить приблизно 4,0 % або вище. У цьому випадку, наприклад, передбачаючи, що витрата відновного матеріалу при базовій роботі складає від 375 кг/т чавуну до 500 кг/т чавуну, витрата відновного матеріалу зменшується приблизно на 15 кг/т чавуну-20 кг/т чавуну або більше. Це зменшення є істотним значенням з урахуванням щоденних коливань витрати відновного матеріалу, при цьому можна очікувати ефективність зниження витрати відновного матеріалу. Відповідно, споживання вуглецю у відновному газі становить переважно від 21 кг/т чавуну до 107 кг/т чавуну.

У цьому документі, якщо споживання вуглецю у відновному газі становить приблизно 65 кг/т чавуну, InputΔC показує максимальне значення, а якщо споживання вуглецю у відновному газі перевищує 65 кг/т чавуну, то InputΔC починає зменшуватися. Тобто ефект від зменшення InputΔC втрачається. Наприклад, передбачається, що причина цього полягає в тому, що споживання вуглецю у відновному газі понадміру велике порівняно з кількістю, необхідною для внутрішньопічного відновлення, таким чином, що коефіцієнт використання газу зменшується або що, хоча кількість відновного газу, що вдувається, збільшується разом зі збільшенням споживання вуглецю у відновному газі, за умови, що температура полум'я постійна, коефіцієнт збагачення дуття киснем збільшується разом зі збільшенням кількості відновного газу, що вдувається, і кількість газу, що вдувається в доменну піч через повітропідігрівник, зменшується таким чином, що ентальпія сухого повітря зменшується або т. п. Відповідно, споживання вуглецю у відновному газі становить більш переважно 65 кг/т чавуну або нижче, тобто від 21 кг/т чавуну до 65 кг/т чавуну. У цьому випадку InputΔC може бути зроблено високим (зокрема, 4,0 % або вище) при меншій кількості відновного газу, що вдувається.

До того ж, якщо використовують відновний газ, в якому частка вуглецю (кг/Нм³) низька (зокрема, відновний газ, в якому частка вуглецю нижче 0,6 кг/Нм³), то через обмеження експлуатації може бути випадок, коли споживання вуглецю у відновному газі становить переважно 65 кг/т чавуну або нижче. Надалі в цьому документі буде детально описана причина цього.

При експлуатації доменної печі необхідно, щоб температура полум'я підтримувалася на постійному значенні, яке дорівнює заданому значенню або вище за нього (тут задане значення

змінюється залежно від різних чинників, але, ймовірно, буде значення приблизно 2000 °C), наскільки це можливо. Причина цього полягає в тому, що, коли температура полум'я нижче заданого значення, горючість пилоподібного вугілля знижується, і виникає проблема, в тому, що, наприклад, утворюється незгоріле вугілля і погіршується внутрішньопічна проникність або в тому, що тільки частина пилоподібного вугілля, поданого як відновний матеріал, може використовуватися як відновний газ (який утворюється в печі) або т. п. Якщо частка вуглецю (кг/Нм³) у відновному газі, що видувається з фурми, низька, необхідно видувати велику кількість відновного газу, щоб регулювати споживання вуглецю у відновному газі, щоб воно було вищим 65 кг/т чавуну. У результаті, необхідно збільшувати коефіцієнт збагачення дуття киснем при гарячому дутті. Передбачається, що причина цього полягає в тому, що, якщо коефіцієнт збагачення дуття киснем не буде збільшений, може виникнути ситуація, коли температура полум'я не може підтримуватися на заданому значенні або вище. Потрібно зазначити, що оскільки коефіцієнт збагачення дуття киснем збільшується, частка кисню в гарячому дутті збільшується таким чином, що вдувається чистий кисень. У цей час коефіцієнт збагачення дуття киснем досягає верхньої межі, і коефіцієнт збагачення дуття киснем більше не може збільшуватися.

Наприклад, коли споживання вуглецю у відновному газі регулюють до 83 кг/т чавуну з допомогою COG, що має склад, показаний в таблиці 1, необхідно вдувати COG при 350 Нм³/т чавуну. У цьому випадку, збільшуючи коефіцієнт збагачення дуття киснем, щоб він був близький до верхньої межі, температуру полум'я можна підтримувати на заданому значенні або вище. Однак, необхідно ретельно спроектувати робочі елементи таким чином, щоб температура полум'я була дуже близька до заданого значення, при цьому необхідно ретельно контролювати елементи під час експлуатації. Відповідно, робота може бути здійснена, але для неї потрібний час і зусилля. Крім того, якщо витрата вуглецю у відновному газі становить 95 кг/т чавуну, необхідно видувати COG при 400 Нм³/т чавуну. У цьому випадку, навіть якщо вдувають чистий кисень, то може виникнути ситуація, коли температура полум'я не може підтримуватися на заданому значенні або вище. Якщо споживання вуглецю у відновному газі становить 65 кг/т чавуну або нижче, то кількість COG, що вдувається може бути зроблена меншим 350 Нм³/т чавуну. Тому може бути заданий допуск для коефіцієнта збагачення дуття киснем і температури полум'я. Відповідно, якщо використовують відновний газ, в якому частка вуглецю (кг/Нм³) низька (зокрема, відновний газ, в якому частка вуглецю нижче 0,6 кг/Нм³), споживання вуглецю у відновному газі становить переважно 65 кг/т чавуну або нижче.

З іншого боку, якщо використовують природний газ (частка вуглецю становить 0,6 кг/Нм³ або вище), показаний в таблиці 2, то в основному, описані вище обмеження відсутні. Наприклад, навіть якщо споживання вуглецю у відновному газі становить 100 кг/т чавуну, що набагато вище, ніж 65 кг/т чавуну, кількість відновного газу, що вдувається, повинна становити всього лише приблизно 170 Нм³/т чавуну. У цьому випадку, хоча мова йде про зменшення температури полум'я, температуру полум'я можна зробити такою, що дорівнює заданому значенню або вище за рахунок збільшення коефіцієнта збагачення дуття киснем. Відповідно, споживання вуглецю у відновному газі може бути вищим 65 кг/т чавуну.

З вищеописаних причин точка P2 відображена в діапазоні 65 кг/т чавуну або нижче, але точка P3 відображена в більш широкому діапазоні.

У умовах експлуатації, виключаючи зміну умов, описаних вище умов, кореляція ΔC-відновний газ може дещо відхилятися від графіка L1. Однак, навіть в цьому випадку вважають, що немає істотного коливання в переважному діапазоні споживання вуглецю у відновному газі.

1-2. Випадок, коли C/H нижче 0,15

До речі, по-перше, кореляція ΔC-відновний газ у випадку, коли C/H нижче 0,15, буде описана на основі точок P1 і P5-P8 і графіків L2-L5. Тут точка P5 представляє InputΔC і споживання вуглецю у відновному газі у випадку, якщо C/H у відновному газі становить 0,054, точка P6 являє собою InputΔC і споживання вуглецю у відновному газі у випадку, якщо C/H у відновному газі становить 0,097, точка P7 представляє InputΔC і споживання вуглецю у відновному газі у випадку, якщо C/H у відновному газі становить 0,137, і точка P8 представляє InputΔC і споживання вуглецю у відновному газі у випадку, якщо C/H у відновному газі становить 0,137, і точка P8 представляє InputΔC і споживання вуглецю у відновному газі у випадку, коли C/H у відновному газі становить 0,02. Точки P5-P8 були отримані з використанням того ж методу, що і в прикладі 2, описаному нижче. Графіки L2-L5 є графіками, які показують побудовані по експериментальних точках криві з точками від P5 до P8, тобто кореляції ΔC-відновний газ, відповідно.

Автори даного винаходу провели дослідження відновного газу (наприклад, COG, природного газу, комунального газу і т. п.) в попередньому рівні техніки, і C/H в більшій частині відновних

газів становило 0,15 або вище. Отже, відновний газ, в якому С/Н нижче 0,15, може бути отриманий, наприклад, шляхом змішування газоподібного водню з відновним газом, в якому С/Н становить 0,15 або вище. Відновний газ, в якому домішений газоподібний водень, може бути будь-яким, якщо це відновний газ, в якому С/Н становить 0,15 або вище, і приклади цього включають СОГ, природний газ, колошниковий газ, комунальний газ і т. п. До того ж, спосіб отримання відновного газу необов'язково обмежується цим способом. Наприклад, відновний газ, в якому С/Н нижче 0,15, може бути отриманий шляхом змішування відновних газів, що мають різні С/Н (зокрема, відновний газ, в якому С/Н становить 0,15 або вище, і відновний газ, в якому С/Н нижче 0,02) один з одним.

Як ясно видно з фіг. 1, точки Р5-Р8 присутні на графіках L2-L5, які відрізняються одна від одної, відповідно. Відповідно, якщо С/Н у відновному газі нижче 0,15, кореляцію ΔC -відновний газ змінюється залежно від С/Н у відновному газі. Тобто, отримуючи С/Н у відновному газі і споживання вуглецю у відновному газі, Input ΔC може бути визначений однозначно. Таким чином, Input ΔC і споживання вуглецю у відновному газі мають кореляцію, яка залежить від С/Н, і кореляції представлені опуклими вгору графіками (тобто, коли споживання вуглецю у відновному газі складає задане значення, відображається максимальне значення). Передбачається, що навіть при коливаннях температури полум'я по суті немає впливу на кореляцію, як у випадку, коли С/Н становить 0,15 або вище.

Оскільки графіки L2-L5 являють собою опуклий вгору графік, графіки L2-L5 представлені квадратичним виразом споживання вуглецю у відновному газі. Наприклад, графіки L2-L5 представлені числовим виразом $Y=a_2 \times X^2+b_2X+c_2$. Для спрощення креслення на фіг. 1 не показана крива ділянка, де Input ΔC починає зменшуватися. X представляє споживання вуглецю у відновному газі, а Y представляє Input ΔC . Оскільки форми графіків L2-L5 змінюються залежно від С/Н у відновному газі, щонайменше, один з коефіцієнтів a_2 , b_2 і c_2 являє собою функцію, що включає С/Н у відновному газі як змінну. Відповідно, якщо споживання вуглецю у відновному газі визначають таким чином, що Input ΔC близький до максимального значення, витрата відновного матеріалу може бути зменшена додатково. Як описано вище, передбачається, що причина, з якої графіки L2-L5 починають зменшуватися від максимального значення, полягає в тому, що споживання вуглецю у відновному газі понадміру велике порівняно з кількістю, необхідною для внутрішньопічного відновлення, таким чином, що коефіцієнт використання газу зменшується або що, хоча кількість відновного газу, що вдувається, збільшується разом зі збільшенням споживання вуглецю у відновному газі, за умови, що температура полум'я постійна, коефіцієнт збагачення дуття киснем збільшується разом зі збільшенням кількості відновного газу, що вдувається, і кількість газу, що вдувається в доменну піч через повітрянагрівник, зменшується таким чином, що ентальпія сухого повітря зменшується, і т. п.

Графіки L2-L5 будуть описані більш детально. У діапазоні споживання вуглецю у відновному газі, коли Input ΔC не досягає максимального значення, оскільки С/Н зменшується, нахили графіків L2-L5 збільшуються. Тобто збільшення Input ΔC відносно одиничного збільшення споживання вуглецю у відновному газі збільшується. Відповідно, оскільки С/Н у відновному газі зменшується, Input ΔC може ефективно збільшуватися. Більш конкретно, С/Н у відновному газі становить переважно 0,13 або нижче, більш переважно 0,10 або нижче, і ще більш переважно 0,05 або нижче. Нижня межа С/Н особливо не обмежується, якщо вона вища 0.

Як описано вище, існує кореляція між Input ΔC і споживанням вуглецю у відновному газі. Ця кореляція, тобто кореляція ΔC -відновний газ, має тенденцію варіюватися між випадком, коли молярне відношення С/Н атомів вуглецю до атомів водню у відновному газі становить 0,15 або вище, і випадком, коли С/Н нижче 0,15. Тобто, коли С/Н у відновному газі становить 0,15 або вище, кореляція ΔC -відновний газ однозначно визначається незалежно від типу відновного газу (іншими словами, незалежно від С/Н у відновному газі). З іншого боку, якщо С/Н у відновному газі нижче 0,15, кореляцію ΔC -відновний газ міняється залежно від С/Н у відновному газі. Потрібно зазначити, що у всіх випадках кореляція між Input ΔC і споживанням вуглецю у відновному газі представлена опуклим вгору графіком (тобто, якщо споживання вуглецю у відновному газі є заданим значенням, то відображається максимальне значення).

Відповідно, заздалегідь отримуючи кореляцію ΔC -відновний газ від С/Н у відновному газі, споживання вуглецю у відновному газі може бути визначене таким чином, що Input ΔC є заздалегідь заданим цільовим значенням або вище на основі кореляції. Більше того, кількість відновного газу, що вдувається в доменну піч, можна регулювати на основі певного споживання вуглецю у відновному газі і частки вуглецю у відновному газі. У результаті можна отримати бажаний Input ΔC (тобто Input ΔC , який є цільовим значенням або вище). Тобто, можна отримати бажаний ефект зменшення витрати відновного матеріалу, при цьому надалі витрата відновного

матеріалу може бути зменшена більш надійно. Спосіб експлуатації доменної печі відповідно до варіанту здійснення зроблений на основі вищеописаних висновків.

У описаному вище прикладі кореляція ΔC -відновний газ отримана шляхом здійснення моделювання експлуатації доменної печі, але спосіб отримання кореляції ΔC -відновний газ цим не обмежується. Аналогічно, при роботі в реальній печі (включаючи реальну роботу і випробувальну роботу) або при випробувальній роботі в експериментальній доменній печі кореляція ΔC -відновний газ може бути отримана шляхом обчислення $\text{Input}\Delta C$ при зміні витрати вуглецю у відновному газі.

2. Спосіб Експлуатації Доменної Печі

Далі буде описаний спосіб експлуатації доменної печі відповідно до варіанту здійснення. Спосіб експлуатації доменної печі відповідно до варіанту здійснення включає в себе перший-третій процеси, описані нижче.

2-1. Перший процес

У першому процесі кореляцію ΔC -відновний газ отримують в розрахунку на C/H у відновному газі. Спосіб отримання кореляції ΔC -відновний газ (спосіб отримання) особливо не обмежується. Наприклад, кореляція ΔC -відновний газ може бути отримана шляхом проведення моделювання експлуатації доменної печі. Як моделювання експлуатації доменної печі можна використати, наприклад, так звану роботу "Blast Furnace Mathematical Model" Kouji TAKATANI, Takanobu INADA, Yutaka UJISAWA, "Three-dimensional Dynamic Simulator for Blast Furnace", ISIJ International, Vol. 39 (1999), No.1, p.15 to 22. У цій математичній моделі доменної печі внутрішня область доменної печі розділена в напрямку висоти, радіальному напрямку і обводному напрямку для утворення множини комірок (невеликих областей), при цьому моделюється поведінка кожної з комірок. Розрахункові умови моделювання експлуатації доменної печі особливо не обмежуються і визначаються переважно залежно від реальних умов експлуатації. Наприклад, температура полум'я становить переважно 2000 °C або вище. Потрібно зазначити, що, як описано вище, навіть при змінах температури полум'я кореляція ΔC -відновний газ істотно не коливається. При проведенні моделювання експлуатації доменної печі отримана кореляція ΔC -відновний газ від C/H . Тобто виходить графік, що показує кореляцію ΔC -відновний газ. У цьому документі, як описано вище, кореляція ΔC -відновний газ має тенденцію змінюватися між випадком, коли C/H у відновному газі становить 0,15 або вище, і випадком, коли C/H у відновному газі нижче 0,15. Тому переважно, щоб була отримана множина типів кореляцій ΔC -відновний газ в різних випадках.

Спосіб отримання кореляцій ΔC -відновний газ буде описаний більш детально. Моделювання експлуатації доменної печі проводять з використанням різних випадків, коли C/H у відновному газі і кількість відновного газу, що вдувається (його кількість, що вдувається на тонну розплавленого чавуну), відрізняються одне від одного. Ці випадки також включають в себе базову роботу (роботу, при якій об'єм відновного газу дорівнює 0). У цьому документі переважно, щоб умови обчислення (умови експлуатації) були відрегульовані таким чином, щоб в цих випадках температура полум'я і температура розплавленого заліза були як можна більш сталими. Для забезпечення сталої температури полум'я можна регулювати, щонайменше, одне з об'єму дуття або коефіцієнта збагачення киснем в гарячому дутті. У доповнення або замість регулювання вищеописаних чинників, щонайменше, одне з витрати коксу і пилоподібного вугілля може бути відрегульоване. У результаті, $\text{Input}\Delta C$ і споживання вуглецю у відновному газі отримують в кожному випадку. До речі, точка, що представляє $\text{Input}\Delta C$ і споживання вуглецю у відновному газі в кожному з випадків, нанесена, наприклад, на площину x , показану на фіг. 1. Точки P1-P8 є прикладами нанесених точок. Далі, використовуючи метод апроксимації, такий як метод найменших квадратів, отримують побудовану по точках криву для кожної з ділянок. Ці побудовані по точках криві утворюють графік, що показує кореляцію ΔC -відновний газ. Графіки L1-L5 є прикладами графіка, що показує кореляцію ΔC -відновний газ.

2-2. Другий процес

У другому процесі споживання вуглецю у відновному газі, де $\text{Input}\Delta C$ є заданим цільовим значенням або вище, визначають на основі кореляції ΔC -відновний газ, отриманої в першому процесі. Тобто вибирають кореляцію ΔC -відновний газ, яка відповідає C/H у відновному газі, який буде фактично використовуватися, і споживання вуглецю у відновному газі, коли $\text{Input}\Delta C$ є заздалегідь заданим цільовим значенням або вище, визначають на основі вибраної кореляції ΔC -відновний газ. C/H у відновному газі може бути отримано, наприклад, шляхом визначення складу відновного газу з використанням описаного вище способу визначення і отримання C/H на основі точно певного складу відновного газу.

У цьому документі, як описано вище, кореляція ΔC -відновний газ представлена опуклим вгору графіком. Відповідно, переважно, щоб споживання вуглецю у відновному газі визначалося

таким чином, щоб InputΔC був близький до максимального значення. У результаті, витрата відновного матеріалу може бути додатково зменшена. Наприклад, якщо C/H у фактично використовуваному відновному газі становить 0,15 або вище, переважно, щоб споживання вуглецю у відновному газі встановлювали в діапазоні від 21 кг/т чавуну до 107 кг/т чавуну, і більш переважно, щоб споживання вуглецю у відновному газі встановлювали в діапазоні від 21 кг/т чавуну до 65 кг/т чавуну. Причина цього така, як описано вище. Тобто, шляхом визначення витрати вуглецю у відновному газі в діапазоні від 21 кг/т чавуну до 107 кг/т чавуну, InputΔC може бути зроблений 4,0 % або вище. Крім того, шляхом встановлення витрати вуглецю у відновному газі в діапазоні від 21 кг/т чавуну до 65 кг/т чавуну можна добитися того, що InputΔC буде високим (зокрема, 4,0 % або вище) з меншою кількістю відновного газу, що вдувається. Крім того, навіть якщо частка вуглецю у відновному газі низька (зокрема, коли частка вуглецю нижче 0,6 кг/Нм³), то температура полум'я може стабільно підтримуватися на заданому значенні або вище при збільшенні InputΔC.

Якщо використовують відновний газ, в якому C/H становить 0,15 або вище, і споживання вуглецю у відновному газі вище за 65 кг/т чавуну, як описано вище, температура полум'я має тенденцію до зменшення. Тому переважно, щоб елементи експлуатації, включаючи коефіцієнт збагачення киснем, регулювали таким чином, щоб температура полум'я мала задане значення (наприклад, 2000 °C) або вище. До того ж, у встановленому діапазоні значень InputΔC зменшується. Отже, споживання вуглецю у відновному газі понадміру велике порівняно з кількістю, необхідною для внутрішньопічного відновлення, так що коефіцієнт використання газу зменшується. Отже, можуть бути прийняті контрзаходи для підвищення коефіцієнта використання газу. Наприклад, залізовмісний матеріал може бути замінений на матеріали, які мають чудову відновлюваність.

2-3. Третій процес

У третьому процесі кількість відновного газу, що вдувається в доменну піч (наприклад, кількість відновного газу, що вдувається на тонну розплавленого заліза), регулюють на основі споживання вуглецю у відновному газі, встановленого у другому процесі, і частки вуглецю у відновному газі. Наприклад, кількість відновного газу, що вдувається, може бути отримана шляхом розподілу споживання вуглецю у відновному газі на частку вуглецю у відновному газі. Шляхом вдування відновного газу в доменну піч в його встановленій кількості, що вдувається, може бути отриманий бажаний ефект зменшення витрати відновного матеріалу. Умови експлуатації, відмінні від вищеописаних умов, можуть бути такими ж, як і в попередньому рівні техніки.

Схематично, при альтернативному завантаженні залізовмісних матеріалів і коксу шарами в доменну піч з верхньої частини доменної печі, відновний газ вдувають в доменну піч разом з гарячим дуттям з фурми, передбаченої в доменній печі. Типи залізовмісних матеріалів і коксу особливо не обмежуються, при цьому залізовмісні матеріали і кокс, які використовують в роботі доменної печі в попередньому рівні техніки, також можуть бути належним чином використані у варіанті здійснення. Кількість відновного газу, що вдувається, встановлюють на значенні, визначеному в третьому процесі. Відновний газ може бути, наприклад, одним або більше, вибраними з групи, яка складається з COG, природного газу, підданого риформінгу колошникового газу (BFG) і комунального газу. Відновний газ може бути змішаним газом з газів або змішаним газом з воднем, отриманим шляхом змішування газоподібного водню з газами (включаючи змішаний газ). Зокрема, відновний газ, в якому C/H нижче 0,15, може бути отриманий шляхом змішування газоподібного водню з COG або т. п.

Відновний газ можна вдувати в доменну піч без нагрівання, але переважно вдувати в доменну піч після його нагрівання. При вдуванні відновного газу в доменну піч після його нагрівання можна очікувати додаткового зменшення витрати відновного матеріалу. Температура нагрівання становить переважно від 300 °C до 350 °C.

Фурма для вдування відновного газу в доменну піч (надалі в цьому документі також називається як "фурма для відновного газу") передбачена, наприклад, в області заплечиків. Фурма для відновлення газу може бути передбачена в шахтній області. Фурма для відновного газу може бути передбачена як в шахтній області, так і в області заплечиків. Відновний газ, що вдувається з шахтної частини, містить переважно велику кількість CO і/або H₂ і вдувається при контролюванні C/H.

Як і в роботі доменної печі в попередньому рівні техніки, в доменну піч вдувають гаряче дуття. Температура гарячого дуття, його склад і його кількість можуть бути такими ж, як ті, що при роботі доменної печі в попередньому рівні техніки. Наприклад, гаряче дуття містить повітря і може додатково включати в себе гігроскопічну вологу і може бути збагачене киснем. Гаряче дуття вдувають в доменну піч, наприклад, з фурми, передбаченої в області заплечиків. Фурма

для вдування гарячого дуття в доменну піч може бути спільною або відрізнитися від фурми для відновного газу.

Як описано вище, у варіанті здійснення споживання вуглецю у відновному газі, коли Input Δ C є заздалегідь заданим цільовим значенням або вище, визначають на основі заздалегідь отриманої кореляції Δ C-відновний газ, і кількість відновного газу, що вдувається, визначають на основі встановленого споживання вуглецю у відновному газі і частки вуглецю у відновному газі. Відповідно, бажаний Input Δ C може бути реалізований відносно надійно. Тобто, може бути отриманий бажаний ефект зменшення витрати відновного матеріалу, і надалі витрата відновного матеріалу може бути зменшена більш надійно. У результаті викиди CO₂ можуть бути скорочені. Крім того, відповідно до кореляції Δ C-відновний газ, якщо споживання вуглецю у відновному газі складає задане значення (це значення змінюється залежно від C/H), то Input Δ C показує максимальне значення. Відповідно, якщо встановлене значення витрати вуглецю у відновному газі визначають таким чином, що Input Δ C близько до максимального значення, то витрата відновного матеріалу може бути додатково зменшена. Крім того, шляхом отримання кореляції від C/H, кількість відновного газу, що вдувається, можна визначити і керувати ним на основі кореляції, яка відповідає C/H у відновному газі. Відповідно, елементи експлуатації, необхідні для збільшення Input Δ C, можуть бути відповідним чином встановлені і регулюватися.

Приклади

Далі, ефекти одного аспекту даного винаходу будуть описані більш детально з використанням прикладів. Однак умови прикладів є просто показовими для підтвердження працездатності і ефектів даного винаходу, при цьому даний винахід не обмежується цими прикладами. Даний винахід може бути пристосований до різних умов в діапазоні, що не виходить за рамки даного винаходу, доти, поки в цих умовах може бути досягнута мета даного винаходу.

1. Приклад 1

У прикладі 1, шляхом проведення моделювання експлуатації доменної печі, було підтверджено, що, якщо C/H становив 0,15 або вище, то кореляція Δ C-відновний газ була присутньою.

У моделюванні експлуатації доменної печі використовували описану вище "математичну модель доменної печі". Умови обчислень наведені в таблиці 3. Всі залізовмісні матеріали були спеченими рудами. До того ж, склад спечених руд був Fe_{заг.}: 58,5 %, FeO: 7,5 %, C/S: 1,9 і Al₂O₃: 1,7 %. До того ж, відносно коксу передбачали випадок, коли використовували кокс, що має склад C: 87,2 % і золу: 12,6 % ("% означає "мас. %" у всіх випадках).

Таблиця 3

Умови обчислень

Продуктивність	т/день/м ³	2,71~2,81
Об'єм дуття	Нм ³ /т чавуну	4~1035
Коефіцієнт збагачення дуття киснем	%	7,6~78,9
Гігроскопічна волога повітря	г/Нм ³	5
Температура полум'я	°C	2175~2225

35

У прикладі 1, шляхом проведення моделювання експлуатації доменної печі при зміні типу відновного газу (тобто, значення C/H) і кількості відновного газу, що вдувається (кількість відновного газу, що вдувається на тонну розплавленого заліза), було підтверджено, що кореляція Δ C-відновний газ була присутнім. Як відновний газ використовували COG, що має склад, показаний в таблиці 1, або природний газ, що має склад, показаний в таблиці 2. Відновний газ вдували в доменну піч з фурми, передбаченої в області заплечиків. Об'єм дуття і коефіцієнт збагачення дуття киснем в гарячому дутті були відрегульовані таким чином, щоб температура полум'я була як можна більш сталою (тобто, мала значення в діапазоні, показаному в таблиці 3) при вдуванні відновного газу. Потрібно зазначити, що коефіцієнт збагачення киснем відрегулювали таким чином, щоб температура полум'я була 2085 °C у випадку 8, а коефіцієнт збагачення дуття киснем відрегулювали таким чином, щоб температура полум'я була 2315 °C у разі 9. Крім того, у всіх випадках витрату коксу регулювали таким чином, щоб температура розплавленого заліза була сталою. У умовах, що контролюються витрата пиллоподібного вугілля була 115 кг/т чавуну, а температура дуття була 1000 °C. Результати обчислень показані в таблиці 4 і на фіг. 1.

50

Результати обчислень

	Тип відновного газу	Об'єм відновного газу	Споживання вуглецю у відновному газі	InputΔC
	-	Нм³/т чавуну	кг/т чавуну	%
Випадок 0	Відсутній	0	0	0,0
Випадок 1	COG	88	21	4,0
Випадок 2	COG	191	46	5,6
Випадок 3	COG	244	59	6,1
Випадок 4	Природний газ	55	34	4,9
Випадок 5	Природний газ	106	65	6,6
Випадок 6	Природний газ	141	87	6,2
Випадок 7	Природний газ	173	107	4,2
Випадок 8	COG	195	46	5,6
Випадок 9	COG	193	45	5,4

Як показано в таблиці 4 і на фіг. 1, вдалося підтвердити, що присутня кореляція ΔC-відновний газ. Крім того, було також встановлено, що, якщо C/H у відновному газі становив 0,15 або вище, то кореляцію ΔC-відновний газ однозначно визначали незалежно від типу відновного газу (іншими словами, незалежно від C/H у відновному газі). Шляхом визначення споживання вуглецю у відновному газі, коли InputΔC є заздалегідь заданим цільовим значенням або вище, з використанням кореляції ΔC-відновний газ і визначення кількості відновного газу, що вдувається на основі певного споживання вуглецю у відновному газі, витрата відновного матеріалу може бути зменшена більш надійно, при цьому можуть бути зменшені додаткові викиди CO₂.

2. Приклад 2

У прикладі 2, шляхом моделювання експлуатації доменної печі було підтверджено, що, якщо C/H було нижче 0,15, то кореляція ΔC-відновний газ була присутньою.

У моделюванні експлуатації доменної печі використали описану вище "математичну модель доменної печі". Умови обчислень були такими ж, як і в прикладі 1. К тому ж, передбачали, що використовувалися ті ж залізовмісні матеріали і такий же кокс, як ті, що в прикладі 1.

У прикладі 2, шляхом моделювання експлуатації доменної печі при зміні C/H у відновному газі і кількості відновного газу (кількість відновного газу, що вдувається на тонну розплавленого заліза), що вдувається, було встановлено, що кореляція ΔC-відновний газ присутня. У реальній роботі C/H у відновному газі можна регулювати, наприклад, шляхом змішування COG, що має склад, показаний в таблиці 1, з газоподібним воднем при різному співвідношенні змішування в кожному випадку. Відновний газ вдували в доменну піч з фурми, передбаченої в області заплечиків. Об'єм дуття і коефіцієнт збагачення киснем дуття в гарячому дутті були відрегульовані таким чином, щоб температура полум'я була як можна більш сталою (тобто мала значення в діапазоні, показаному в таблиці 3) при вдуванні відновного газу. Крім того, у всіх випадках витрату коксу регулювали таким чином, щоб температура розплавленого заліза була сталою. Як контрольовані умови, витрата пилоподібного вугілля становила 115 кг/т чавуну, а температура дуття становила 1000 °C. Результати обчислень показані в таблиці 5 і на фіг. 1.

Таблиця 5

Результати обчислень

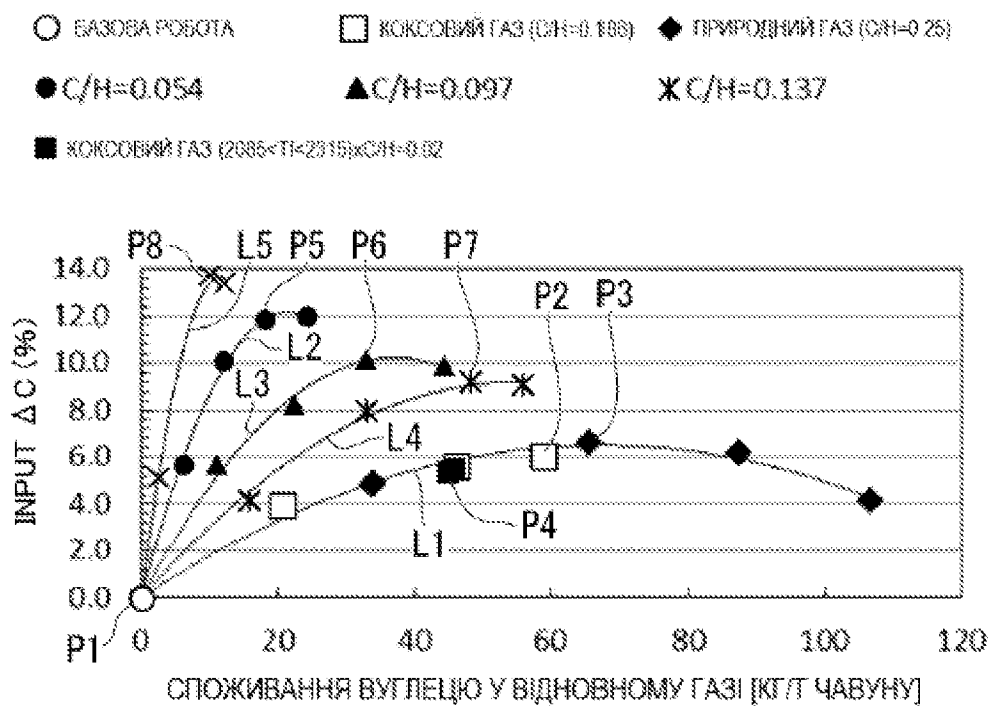
	С/Н у відновному газі	Об'єм відновного газу	Споживання вуглецю у відновному газі	InputΔC
	-	Нм³/т чавуну	кг/т чавуну	%
Випадок 0	-	0	0	0,0
Випадок 1	0,054	99	6,1	5,7
Випадок 2	0,054	199	12,1	10,0
Випадок 3	0,054	294	17,9	11,8
Випадок 4	0,054	396	24,1	11,9
Випадок 5	0,097	99	11,1	5,6
Випадок 6	0,097	199	22,5	8,3
Випадок 7	0,097	292	33,0	10,2
Випадок 8	0,097	393	44,4	9,9
Випадок 9	0,137	98	16,1	4,2
Випадок 10	0,137	199	32,9	8,0
Випадок 11	0,137	293	48,4	9,2
Випадок 12	0,137	340	56,1	9,0
Випадок 13	0,02	99	2,6	5,1
Випадок 14	0,02	390	10,2	13,7
Випадок 15	0,02	473	12,3	13,4

Як показано в таблиці 5 і на фіг. 1, вдалося встановити наявність кореляції ΔC-відновний газ. Крім того, було також встановлено, що, якщо С/Н у відновному газі було нижче 0,15, кореляція ΔC-відновний газ змінювалася залежно від С/Н у відновному газі. Відповідно, вибирають кореляцію, яка відповідає С/Н у відновному газі, а також споживання вуглецю у відновному газі, коли InputΔC є заданим цільовим значенням або вище, визначають з використанням вибраної кореляції. Шляхом визначення кількості відновного газу, що вдувається, на основі певного споживання вуглецю у відновному газі можна більш надійно зменшити витрату відновного матеріалу і додатково зменшити викиди CO₂.

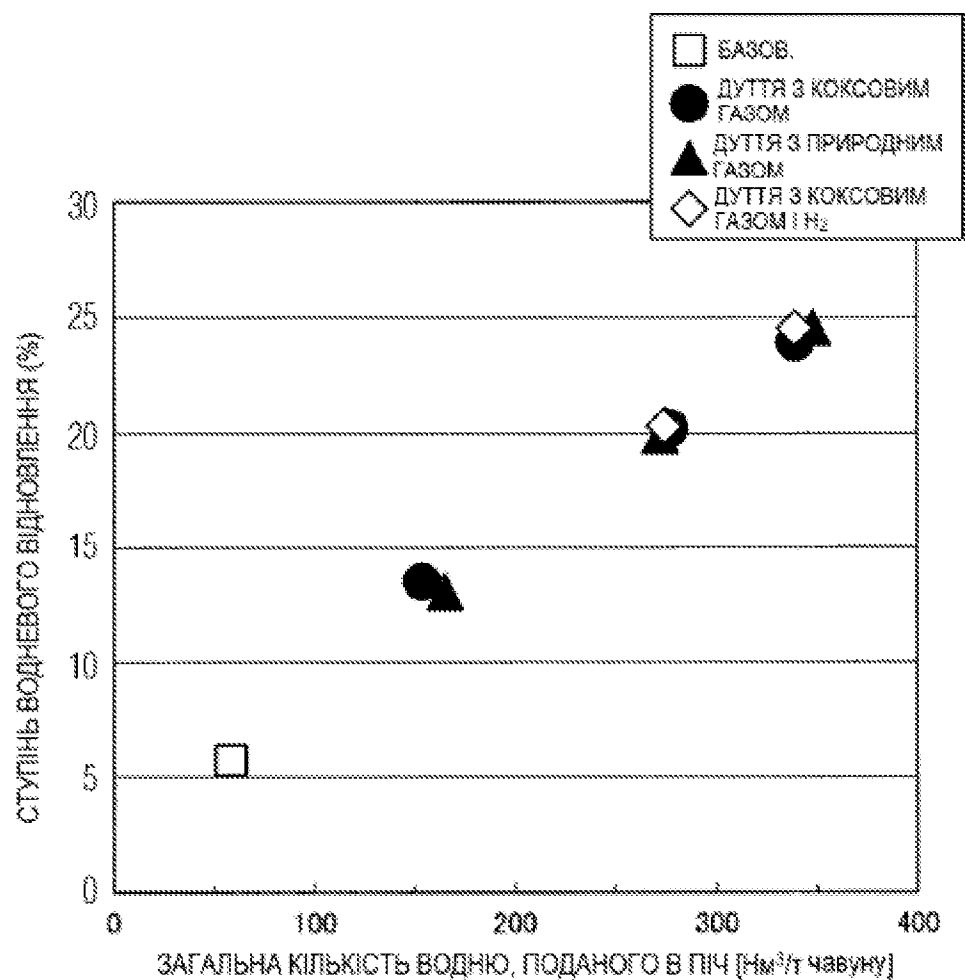
ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

1. Спосіб експлуатації доменної печі, в якому відновний газ, що містить атоми водню і атоми вуглецю, вдувають в доменну піч, який включає:
отримання кореляції між споживанням вуглецю у відновному газі і InputΔC шляхом обчислення споживання вуглецю у відновному газі і зменшення InputΔC в питомому споживанні вуглецю відносно базової роботи для роботи, при якій відновний газ вдувають в доменну піч за умов, що молярне співвідношення С/Н атомів вуглецю і атомів водню у відновному газі та кількість відновного газу, який вдувають на тонну чавуну, є різними;
визначення витрати вуглецю у відновному газі, коли зменшення InputΔC в питомій витраті вуглецю є заданим цільовим значенням або вище, на основі кореляції, отриманої для С/Н; і регулювання кількості відновного газу, що вдувають в доменну піч, на основі певної витрати вуглецю у відновному газі і частки вуглецю у відновному газі.
2. Спосіб експлуатації доменної печі за п. 1, в якому молярне співвідношення С/Н атомів вуглецю і атомів водню у відновному газі становить 0,15 або вище.
3. Спосіб експлуатації доменної печі за п. 2, в якому кореляцію представляють квадратичним виразом витрати вуглецю у відновному газі.
4. Спосіб експлуатації доменної печі за п. 3, в якому кореляція представлена як $Y=a_1X^2+b_1X+c_1$ (де X представляє витрату вуглецю у відновному газі, Y представляє зменшення InputΔC в питомій витраті вуглецю, при цьому всі коефіцієнти a₁, b₁ і c₁ представляють значення, які не залежать від молярного співвідношення С/Н).
5. Спосіб експлуатації доменної печі за п. 4, в якому витрату вуглецю у відновному газі встановлюють в діапазоні від 21 до 107 кг/т чавуну.
6. Спосіб експлуатації доменної печі за п. 4 або 5, в якому витрату вуглецю у відновному газі встановлюють в діапазоні від 21 до 65 кг/т чавуну.

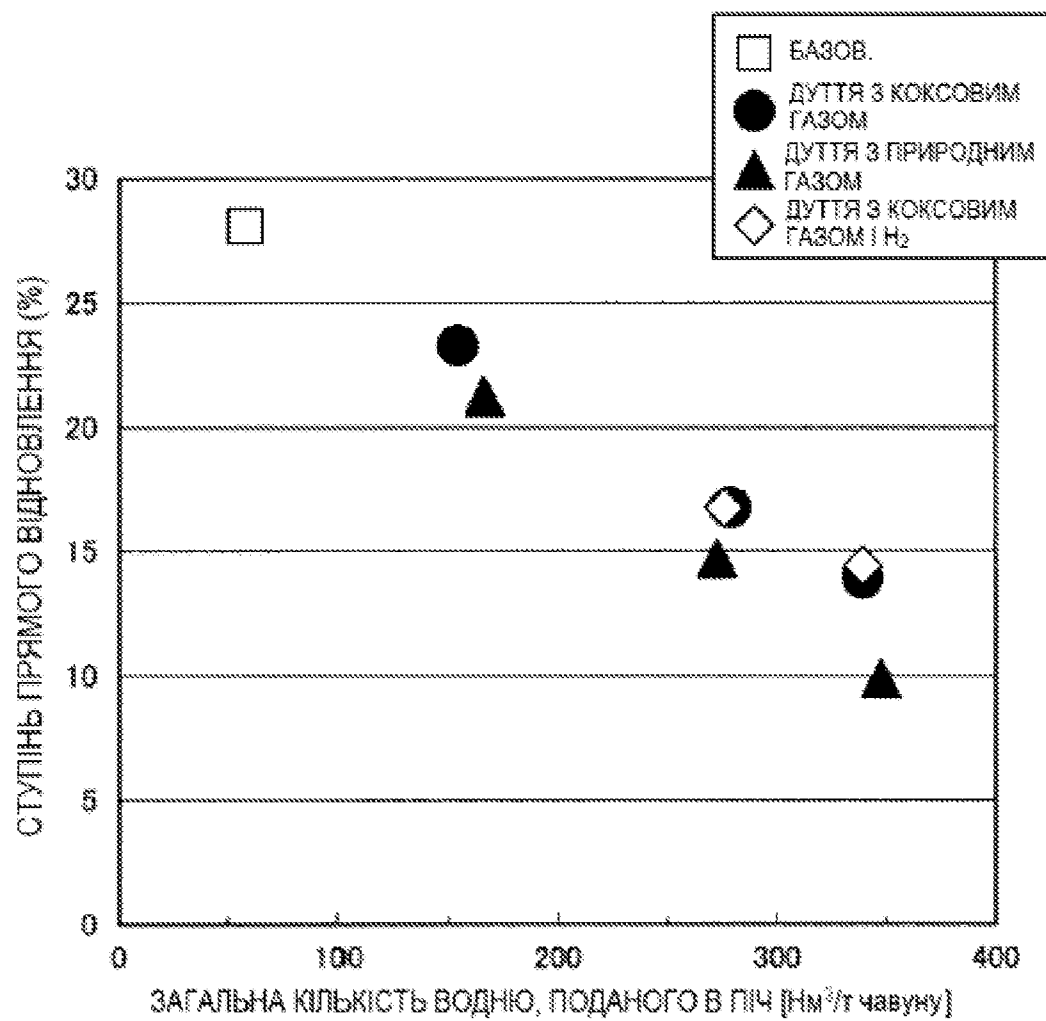
7. Спосіб експлуатації доменної печі за п. 1, в якому молярне співвідношення C/H атомів вуглецю і атомів водню у відновному газі становить вище 0 і нижче 0,15.
8. Спосіб експлуатації доменної печі за п. 7, в якому молярне співвідношення C/H атомів вуглецю і атомів водню у відновному газі становить 0,13 або нижче.
- 5 9. Спосіб експлуатації доменної печі за п. 7 або 8, в якому молярне співвідношення C/H атомів вуглецю і атомів водню у відновному газі становить 0,10 або нижче.
- 10 10. Спосіб експлуатації доменної печі за будь-яким з пп. 7-9, в якому кореляція представлена як $Y=a_2X^2+b_2X+c_2$ (де X представляє витрату вуглецю у відновному газі, Y представляє зменшення InputΔC в питомій витраті вуглецю, при цьому щонайменше один з коефіцієнтів a_2 , b_2 і c_2 представляє функцію, що включає в себе молярне співвідношення C/H як змінну величину).
- 15 11. Спосіб експлуатації доменної печі за будь-яким з пп. 1-10, в якому, коли відновний газ вдувають в доменну піч, температуру полум'я регулюють, щоб вона була 2000 °C або вищою.
12. Спосіб експлуатації доменної печі за п. 11, в якому для того, щоб регулювати температуру
- 15 полум'я, щоб вона була 2000 °C або вищою, регулюють щонайменше одне з витрати дуття або коефіцієнта збагачення дуття киснем в гарячому дутті.
13. Спосіб експлуатації доменної печі за будь-яким з пп. 1-12, в якому відновний газ вибирають з групи, яка складається з коксового газу, природного газу, підданого риформінгу колошникового газу (BFG), комунального газу, змішаного з них газу, а також водневого змішаного газу,
- 20 отриманого шляхом змішування з ними газоподібного водню.



Фиг. 1



Фіг. 2



Фіг. 3