



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **130697** (13) **C2**
(51) МПК (2026.01)
C21B 5/00

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

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

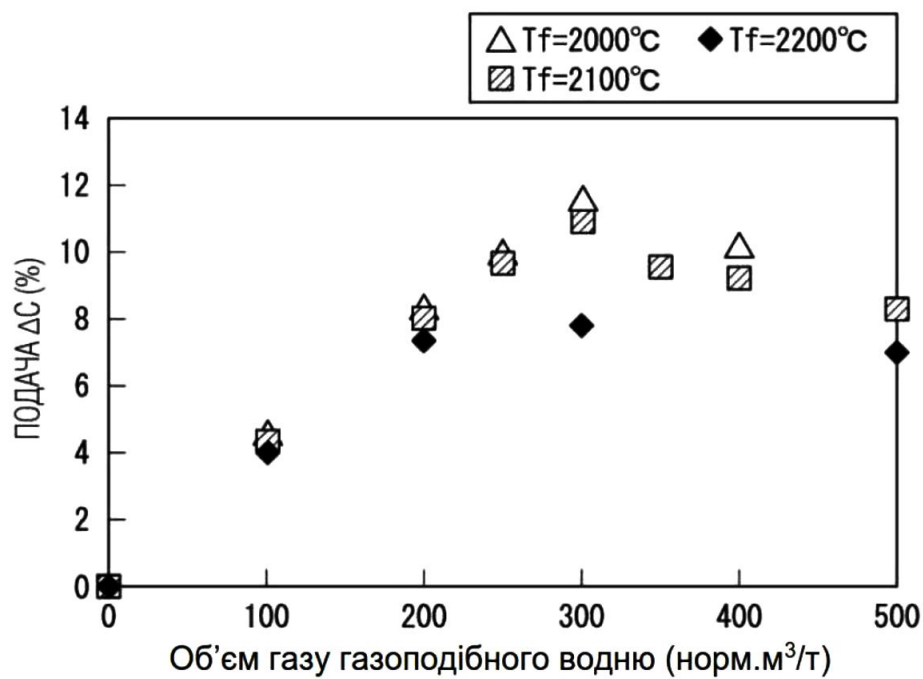
(21) Номер заявки:	а 2022 02179	(72) Винахідник(и):	Сакаї Гіросі (JP), Накано Каору (JP)
(22) Дата подання заявки:	27.11.2020	(73) Володілець (володільці):	НІППОН СТІЛ КОРПОРЕЙШН, 6-1, Marunouchi 2-chome, Chiyoda-ku, Tokyo 1008071, Japan (JP), ДжейЕфІ СТІЛ КОРПОРЕЙШН, 2-3, Uchisaiwai-cho 2-chome, Chiyoda-ku, Tokyo 1000011, Japan (JP), КАБУСІКІ 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:	23.04.2026	(74) Представник:	Бочаров Максим Анатолійович, реєстр. №367
(31) Номер попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції:	2019-216568, 2020-092467	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою:	WO 2019/007908 A1, 10.01.2019 EP 3124626 A1, 01.02.2017 Modeling and simulation of hydrogen injection into a blast furnace to reduce carbon dioxide emissions / YILMAZ CAN ET AL // Journal of Cleaner Production. 2017. Vol. 154. P. 488- 501 WO 2017/134829 A1, 10.01.2017 JP S5887210 A, 25.05.1983 JP H0657315 A, 01.03.1994 UA 115202 C2, 25.09.2017
(32) Дата подання попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції:	29.11.2019, 27.05.2020		
(33) Код держави-учасниці Паризької конвенції, до якої подано попередню заявку:	JP, JP		
(41) Публікація відомостей про заявку:	26.10.2022, Бюл.№ 43		
(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію:	22.04.2026, Бюл.№ 16		
(86) Номер та дата подання міжнародної заявки, поданої відповідно до Договору РСТ	PCT/JP2020/044217, 27.11.2020		

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

Згідно з певним аспектом цього винаходу, представлений спосіб роботи доменної печі, який включає вдування газу, який містить високу концентрацію водню, що містить 80 мол. % або більше газоподібного водню з фурми при: умові, за якої температура вдування газу, який містить високу концентрацію водню, являє собою кімнатну температуру або більш високу, і 300 °C або менше, і об'єм газу газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, становить 200 норм. м³/т або більше і 500 норм. м³/т або менше; умові, за якої температура вдування газу, який містить високу концентрацію водню, є більш високою ніж 300 і 600 °C або менше, і об'єм газу газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, становить 145 норм. м³/т або більше; умові, за якої температура вдування газу, який містить високу концентрацію водню, становить більше ніж 600 і 900 °C або менше, і об'єм газу газоподібного

UA 130697 C2

водню в газі, що має високу концентрацію водню, становить 125 норм. м³/т або більше; або тому подібному.



Фіг. 2

Цей винахід стосується способу роботи доменної печі.

Запитується пріоритет Японської патентної заявки № 2019-216568, поданої в Японії 29 листопада 2019 року, і Японської патентної заявки № 2020-092467, поданої в Японії 27 травня 2020 року, зміст яких включений в цей опис за допомогою посилання.

5 [Рівень техніки]

У сталеливарній промисловості спосіб із використанням доменної печі являє собою основний спосіб виробництва сталі. У доменному процесі матеріали, які містять залізо, для доменної печі (сировинні матеріали, що включають оксид заліза; головним чином піддані спіканню руди; що далі просто називаються «залізовмісними матеріалами») і кокс почергово
10 завантажують шарами в доменну піч зверху доменної печі, і гаряче дуття вдувають у доменну піч з фурми в нижній частині доменної печі. Гаряче дуття реагує з порошкоподібним вугіллем, що вдувається разом з гарячим дуттям, так, що в доменній печі з коксу утворюється високотемпературний відновний газ (тут, здебільшого газоподібний CO). Тобто, гаряче дуття газифікує кокс і порошкоподібне вугілля в доменній печі. Відновний газ підіймається в доменній
15 печі і відновлює залізовмісні матеріали, в той же час нагріваючи залізовмісні матеріали. Залізовмісні матеріали нагріваються і відновлюються відновним газом, в той же час опускаючись вниз у доменній печі. Потім залізовмісні матеріали розплавляються і краплями падають у доменній печі, при цьому з додатковим відновленням за допомогою коксу. Нарешті, залізовмісні матеріали нагромаджуються в горні у вигляді розплавленого чавуна (виливкового чавуна), що включає близько 5 мас. % вуглецю. Розплавлений чавун в горні виводять через лютку і спрямовують на подальшу переробку в процес виплавлення сталі. Відповідно до цього, в доменному процесі вуглецевий матеріал, такий як кокс або порошкоподібне вугілля, використовують як відновник.

Тим часом, в останні роки було потрібне запобігання глобальному потеплінню, і стало
25 соціальною проблемою скорочення викидів діоксиду вуглецю (газоподібного CO₂), який являє собою один із парникових газів. Як описано вище, в доменному процесі як відновник застосовують вуглецевмісний матеріал. Тим самим утворюється велика кількість газоподібного CO₂. Відповідно до цього, сталеливарна промисловість є однією з багатьох галузей промисловості, що створюють викиди газоподібного CO₂, і повинна відповідати вимогам
30 суспільства. Більш конкретно, в роботі доменної печі терміново потрібне додаткове скорочення частки відновника (кількості відновника, що використовується на тонну розплавленого чавуна).

Відновник має функцію, яка полягає в нагріванні шихти всередині печі як джерело тепла, і одна функція полягає у відновленні залізовмісного матеріалу в печі, і ефективність відновлення в печі повинна бути підвищена, щоб скоротити коефіцієнт використання матеріалу. Реакції
35 відновлення в печі можуть бути представлені різними реакційними формулами. Серед цих реакцій відновлення реакція прямого відновлення (рівняння реакції: FeO+C>Fe+CO) коксом являє собою ендотермічну реакцію, що супроводжується високим поглинанням тепла. Відповідно до цього, щоб зменшити скорочення коефіцієнта використання матеріалу, важливо пригнічувати виникнення цієї реакції, наскільки це можливо. Реакція прямого відновлення
40 відбувається в нижній частині доменної печі. Тому, поки залізовмісні матеріали можуть бути в достатній мірі відновлені відновним газом, таким як CO або H₂, до того, як залізовмісні матеріали досягнуть нижньої частини печі, залізовмісні матеріали, які були б учасниками реакції прямого відновлення, можуть бути вже відновлені.

Що стосується того, як існуючий рівень техніки вирішує вищеописані проблеми, наприклад,
45 як розкрито в Патентних Документах 1-6, відомий спосіб вдування відновного газу (газоподібного H₂, коксовий газу (COG), природного газу, комунального газу, і тому подібного) разом з гарячим дуттям з фурми для підвищення ефективності дії відновного газу в печі. У випадку, якщо відновний газ являє собою вуглецевмісний відновний газ (відновний газ, в якому атоми вуглецю містяться в молекулярній структурі газу, наприклад, газоподібний вуглеводень),
50 атоми вуглецю в вуглецевмісному газі в доменній печі стають газоподібним CO, який відновлює залізовмісні матеріали. У випадку, якщо відновний газ являє собою газоподібний водень (газоподібний H₂), газоподібний водень відновлює залізовмісні матеріали. Відповідно до цього, може бути скорочена кількість залізовмісних матеріалів, які є учасниками реакції прямого відновлення. На доповнення, в подальшому описі, якщо це конкретно не обумовлено,
55 «вуглець» і «водень» означає «атом вуглецю» і «атом водню», відповідно.

[Документ попереднього рівня техніки]

[Патентний Документ]

[Патентний Документ 1] Японський патент № 6019893

[Патентний Документ 2] Японський патент № 5987773

60 [Патентний Документ 3] Японський патент № 5050706

[Патентний Документ 4] Японський патент № 5770124

[Патентний Документ 5] Японський патент № 5315732

[Патентний Документ 6] Японський патент № 5851828

[Опис винаходу]

5 [Проблеми, які вирішуються винаходом]

Однак, у способах, розкритих в Патентних Документах 1-6, об'єм відновного газу, що вдувається з фурми, є малим, і ефект скорочення викидів CO_2 є слабким.

Таким чином, цей винахід був створений з урахуванням вищезгаданих проблем, і мета цього винаходу полягає у створенні нового і поліпшеного способу роботи доменної печі, здатного збільшити об'єм газу, який містить високу концентрацію водню, що вдувається з фурми як відновний газ, в той же час підтримуючи стабільну роботу доменної печі, і додатково скоротити викиди CO_2 .

[Засоби вирішення проблеми]

Для вирішення вищезгаданих проблем, згідно з певним аспектом цього винаходу, наданий спосіб роботи доменної печі, який включає вдування газу, який містить високу концентрацію водню, що містить 80 мол. % або більше газоподібного водню, з фурми при: умові, при якій температура вдування газу, який містить високу концентрацію водню, являє собою кімнатну температуру або більше, і 300°C або менше, і об'єм газу газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, становить 200 норм. $\text{м}^3/\text{т}$ або більше, і 500 норм. $\text{м}^3/\text{т}$ або менше; умові, при якій температура вдування газу, який містить високу концентрацію водню, становить більш ніж 300°C , і 600°C або менше, і об'єм газу газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, становить 145 норм. $\text{м}^3/\text{т}$ або більше; умові, при якій температура вдування газу, який містить високу концентрацію водню, становить більш ніж 600°C , і 900°C або менше, і об'єм газу газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, становить 125 норм. $\text{м}^3/\text{т}$ або більше; умові, при якій температура вдування газу, який містить високу концентрацію водню, становить більш ніж 900°C , і 1200°C або менше, і об'єм газу газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, становить 110 норм. $\text{м}^3/\text{т}$ або більше; або умові, при якій температура вдування газу, який містить високу концентрацію водню, становить більш ніж 1200°C , і об'єм газу газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, становить 100 норм. $\text{м}^3/\text{т}$ або більше.

Тут температура вдування газу, який містить високу концентрацію водню може бути кімнатною температурою або більше, і 300°C або менше, і об'єм газу газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, може становити 200 норм. $\text{м}^3/\text{т}$ або більше, і 300 норм. $\text{м}^3/\text{т}$ або менше.

Тут температура вдування газу, який містить високу концентрацію водню, може бути більш ніж 300°C , і 600°C або менше, і об'єм газу газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, може становити 145 норм. $\text{м}^3/\text{т}$ або більше, і 600 норм. $\text{м}^3/\text{т}$ або менше.

На доповнення, температура факела може становити 2050°C або менше.

На доповнення, температура факела може бути встановлена на величину більш ніж 2050°C , і на 2150°C або менше.

На доповнення, температура факела може бути встановлена на величину більш ніж 2150°C , і на 2250°C або менше.

На доповнення, температура вдування газу, який містить високу концентрацію водню, може бути більш ніж 600°C , і становити 1400°C або менше.

На доповнення, у випадку, якщо температура вдування газу, який містить високу концентрацію водню, становить більш ніж 600°C , об'єм газу газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, може становити 1000 норм. $\text{м}^3/\text{т}$ або менше.

На доповнення, у випадку, якщо температура вдування газу, який містить високу концентрацію водню, становить більш ніж 600°C , і об'єм газу газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, становить 400 норм. $\text{м}^3/\text{т}$ або більше, температура факела може бути встановлена на 2050°C або менше.

Згідно з ще одним аспектом цього винаходу, наданий спосіб роботи доменної печі, який включає отримання кореляції об'єму газу і параметра витрати вуглецю, яка являє собою кореляцію між об'ємом газу газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, і параметром витрати вуглецю, що стосується кількості вуглецю, що витрачається, коли температура вдування газу, який містить високу концентрацію водню, що містить 80 мол. % або більше газоподібного водню, представляє попередньо визначене значення, завчасно для кожної температури факела; визначення об'єму газу газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, при якому кількість вуглецю, що витрачається, знижується порівняно з кількістю при поточній роботі, на основі кореляції об'єму газу і параметра витрати вуглецю; і

вдування газу, який містить високу концентрацію водню з фурми при певному об'ємі газу.

На доповнення, кореляція між об'ємом газу газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, і параметром витрати вуглецю може бути отримана для кожної температури вдування газу, який містить високу концентрацію водню.

5 На доповнення, кореляція об'єму газу і зміни падіння тиску, яка являє собою кореляцію між об'ємом газу газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, і величиною зміни падіння тиску відносно базового режиму роботи, коли температура вдування газу, який містить високу концентрацію водню, представляє попередньо визначене значення, може бути отримана завчасно для кожної температури факела, і об'єм газу газоподібного водню в газі, що
10 має високу концентрацію водню, при якому кількість вуглецю, що витрачається, знижена порівняно з величиною при поточній роботі, і величина зміни падіння тиску являє собою значення в межах попередньо визначеного діапазону, яке може бути визначене на основі кореляції об'єму газу і параметра витрати вуглецю і кореляції об'єму газу і зміни падіння тиску.

На доповнення, кореляція об'єму газу і величини зміни температури колошникового газу, яка являє собою кореляцію між об'ємом газу газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, і величиною зміни температури колошникового газу відносно базового режиму роботи, коли температура вдування газу, який містить високу концентрацію водню, представляє попередньо визначене значення, може бути отримана завчасно для кожної температури факела, і об'єм газу газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, при якому кількість вуглецю, що витрачається, знижена порівняно з величиною при
20 поточній роботі, і величина зміни температури колошникового газу являє собою значення в межах попередньо визначеного діапазону, яке може бути визначене на основі кореляції об'єму газу і параметра витрати вуглецю і кореляції об'єму газу і величин зміни температури колошникового газу.

25 [Результати винаходу]

Як описано вище, згідно з вищезгаданим аспектом цього винаходу, можна збільшити об'єм газу газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, що вдується з фурми як відновний газ, в той же час підтримуючи стабільну роботу доменної печі, і додатково скоротити викиди CO₂.

30 [Короткий опис креслень]

Фіг. 1 представляє діаграму для роз'яснення температури вдування газу, який містить високу концентрацію водню.

Фіг. 2 представляє графік, який показує кореляцію між об'ємом газу чистого газоподібного водню при кімнатній температурі і відсотковим скороченням ПОДАЧА ΔС (Input ΔС) питомої витрати вуглецю для кожної температури T_f факела.
35

Фіг. 3 представляє графік, який показує кореляцію між об'ємом газу чистого газоподібного водню при 300 °C і відсотковим скороченням ПОДАЧА ΔС питомої витрати вуглецю для кожної температури T_f факела.

Фіг. 4 представляє графік, який показує кореляцію між об'ємом газу чистого газоподібного водню при 350 °C і відсотковим скороченням ПОДАЧА ΔС питомої витрати вуглецю.
40

Фіг. 5 представляє графік, який показує кореляцію між об'ємом газу чистого газоподібного водню при 600 °C і відсотковим скороченням ПОДАЧА ΔС питомої витрати вуглецю для кожної температури T_f факела.

Фіг. 6 представляє графік, який показує кореляцію між об'ємом газу чистого газоподібного водню при 650 °C і відсотковим скороченням ПОДАЧА ΔС питомої витрати вуглецю.
45

Фіг. 7 представляє графік, який показує кореляцію між об'ємом газу чистого газоподібного водню при 900 °C і відсотковим скороченням ПОДАЧА ΔС питомої витрати вуглецю для кожної температури T_f факела.

Фіг. 8 представляє графік, який показує кореляцію між об'ємом газу чистого газоподібного водню при 950 °C і відсотковим скороченням ПОДАЧА ΔС питомої витрати вуглецю.
50

Фіг. 9 представляє графік, який показує кореляцію між об'ємом газу чистого газоподібного водню при 1200 °C і відсотковим скороченням ПОДАЧА ΔС питомої витрати вуглецю для кожної температури T_f факела.

Фіг. 10 представляє графік, який показує кореляцію між об'ємом газу чистого газоподібного водню при 1250 °C і відсотковим скороченням ПОДАЧА ΔС питомої витрати вуглецю.
55

Фіг. 11 представляє графік, який показує кореляцію між об'ємом газу чистого газоподібного водню при кімнатній температурі або об'єму газоподібного водню в газі з високою концентрацією водню, що містить 80 мол. % H₂ і 20 мол. % N₂, при кімнатній температурі і відсотковим скороченням ПОДАЧА ΔС питомої витрати вуглецю.

60 Фіг. 12 представляє графік, який показує кореляцію між об'ємом газу чистого газоподібного

водню при кімнатній температурі і величиною зміни падіння тиску для кожної температури T_f факела.

Фіг. 13 представляє графік, який показує кореляцію між об'ємом газу чистого газоподібного водню при кімнатній температурі і величиною зміни температури колошникового газу для кожної температури T_f факела.

Фіг. 14 представляє графік, який показує кореляцію між об'ємом газу чистого газоподібного водню при 1200 °C і величиною зміни падіння тиску, коли температура T_f факела досягає 2100 °C.

Фіг. 15 представляє графік, який показує кореляцію між температурою чистого газоподібного водню, що вдувається, і об'ємом газу чистого газоподібного водню, необхідного для регулювання відсоткового скорочення ПОДАЧА ДС питомої витрати вуглецю до 10%.

Фіг. 16 представляє графік, який показує кореляцію між температурою чистого газоподібного водню, що вдувається, і об'ємом газу чистого газоподібного водню, необхідного для регулювання відсоткового скорочення ПОДАЧА ДС питомої витрати вуглецю до 20%.

[Варіанти здійснення винаходу]

Нижче будуть детально описані переважні варіанти здійснення цього винаходу з посиланням на супровідні креслення. На доповнення, в цьому варіанті виконання числовий діапазон, представлений з використанням слова «до», являє собою діапазон, що включає числові значення, описані перед і після «до», як нижня межа і верхня межа. Крім того, «частка відновника» передбачає загальну масу відновника, необхідну для отримання 1 тонни розплавленого чавуна. Тому, частка відновника по суті являє собою сукупну масу коксу і порошкоподібного вугілля, необхідну для отримання 1 тонни розплавленого чавуна, і маса вуглецевмісного відновного газу в газі, що має високу концентрацію водню, трактується як не включена в пропорцію відновника. Крім того, «питома витрата вуглецю (подача С)» являє собою вуглець, необхідний для отримання 1 тонни розплавленого чавуна (тобто, кількість вуглецю, що витрачається на тонну розплавленого чавуна). «Відсоткове скорочення ПОДАЧА ДС питомої витрати вуглецю» являє собою відсоткове скорочення питомої витрати вуглецю до базового режиму роботи, який являє собою режим роботи, в якому газ, який містить високу концентрацію водню, не вдувають. При допущенні, що подача С в базовому режимі роботи в одиницях кг/т становить А, і подача С під час роботи в одиницях кг/т становить В, ПОДАЧА ДС виражають наступною формулою:

$$\text{ПОДАЧА ДС} = (A - B) / A \times 100 (\%).$$

Що більше значення відсоткового скорочення ПОДАЧА ДС питомої витрати вуглецю, то меншою є частка відновника, і в більшій мірі скорочуються викиди CO_2 .

<1. Факти, виявлені автором цього винаходу>

Для вирішення вищезгаданих проблем автор цього винаходу зосередив увагу на газі, що має високу концентрацію водню, як відновному газі. Тут газ, який містить високу концентрацію водню, в цьому варіанті здійснення являє собою газ, що містить 80 мол. % або більше газоподібного водню (мол. % газоподібного водню відносно загальної кількості речовин всіх газів, що складають газ, який містить високу концентрацію водню). Газ, який містить високу концентрацію водню, може являти собою чистий газоподібний водень (газ, що має концентрацію газоподібного водню 100 мол. %).

Крім того, автори цього винаходу зосередили увагу на об'ємі газу газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню (далі також просто називається об'ємом газоподібного водню), і температурі вдування газу, який містить високу концентрацію водню. Реакція відновлення залізовмісного матеріалу газоподібним воднем в газі, що має високу концентрацію водню, являє собою ендотермічну реакцію. Щоб компенсувати зниження температури, зумовлене ендотермічною реакцією, можна брати до уваги підвищення температури вдування газоподібного водню. Однак, виявляється виключно складним виявити величину зниження температури всередині печі у випадку, якщо вдувають велику кількість газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, і ступінь компенсації тепла, необхідної залежно від величини зниження температури всередині печі. Тому до цього часу детальне дослідження цього проведено не було. Автори цього винаходу спочатку провели детальне дослідження вищезгаданих обставин. Більш конкретно, по всій печі були виконані з'ясування складу різних газів, таких як газоподібний водень і газоподібний CO , в газі, що має високу концентрацію водню, і швидкості реакції відновлення газом, який містить високу концентрацію водню, при різних температурах вдування, виявлення впливу температури всередині печі, яка змінюється внаслідок теплоти реакції відновлення цими газами, на швидкість реакції відновлення, і впливу складу газу, який змінюється внаслідок реакції відновлення, на швидкість реакції відновлення, і потім визначення кількостей тепла, щоби швидкість реакції відновлення не знижувалася. Для

такого дослідження було потрібне проведення різноманітних випробувань на фактичній установці доменної печі, випробувань із використанням експериментального пристрою, що може вдувати газ всередину доменної печі в умовах всередині доменної печі, в той же час з моделюванням адіабатичних умов з використанням випробувального пристрою на рівні доменної печі, і досліджень, проведених з використанням імітаційної моделі. Автори цього винаходу виконали вищезгадане дослідження з використанням імітаційної моделі, і в результаті встановили, що належний діапазон об'єму газу є для кожної температури вдування.

Тобто, у випадку, якщо температура вдування газу, який містить високу концентрацію водню, становить 600 °C або менше, відсоткове скорочення ПОДАЧА ΔС питомої витрати вуглецю не просто зростає зі збільшенням об'єму газу газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, але слабшає і починає знижуватися, коли до деякого ступеня підвищується об'єм газу. Крім того, об'єм газу газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, коли відсоткове скорочення ПОДАЧА ΔС питомої витрати вуглецю слабшає і починає знижуватися, варіює залежно від температури вдування газу, який містить високу концентрацію водню. З іншого боку, у випадку, якщо температура вдування газу, який містить високу концентрацію водню є більш високою, ніж 600 °C, відсоткове скорочення ПОДАЧА ΔС питомої витрати вуглецю виявляє тенденцію до збільшення зі зростанням об'єму газу. Коли об'єм газу газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, до деякого ступеня збільшується, відсоткове скорочення ПОДАЧА ΔС питомої витрати вуглецю стає, наприклад, таким, що становить 7% або більше. Тому викиди CO₂ можуть бути значно скорочені вдуванням об'єму газу, який містить високу концентрацію водню, в доменну піч, який визначений згідно з об'ємом газоподібного водню в цьому належному діапазоні. Наприклад, як показано в прикладах, що описуються нижче, відсоткове скорочення ПОДАЧА ΔС питомої витрати вуглецю під час роботи доменної печі може бути налаштовано на 7% або більше, і можуть бути значно скорочені викиди CO₂. Автори цього винаходу прийшли до способу роботи доменної печі згідно з цим варіантом здійснення на основі такого знання. Далі варіант здійснення цього винаходу буде описаний більш детально.

<2. Склад газу, який містить високу концентрацію водню>

У способі роботи доменної печі згідно з цим винаходом газ, який містить високу концентрацію водню, вдувають із фурми. Таким чином, спочатку буде описаний склад газу, який містить високу концентрацію водню. Газ, який містить високу концентрацію водню, являє собою газ, що містить 80 мол. % або більше газоподібного водню, як описано вище. Газ, який містить високу концентрацію водню, включає чистий газоподібний водень. Газ, який містить високу концентрацію водню, включає інші газові компоненти, ніж газоподібний водень, наприклад, вищеописаний вуглецевмісний відновний газ (наприклад, газоподібний вуглеводень), газоподібний CO, газоподібний CO₂, газоподібну H₂O, газоподібний N₂, або тому подібні. Однак, загальна концентрація інших газів становить менше ніж 20 мол. %.

Гази, в яких загальна концентрація інших газових компонентів становить 20 мол. % або більше, не прираховані до газу, який містить високу концентрацію водню, згідно з цим варіантом здійснення. Це зумовлено тим, що скорочення кількості газоподібного CO₂ значно зменшується у випадку, якщо концентрація інших газів становить 20 мол. % або більше. Наприклад, оскільки газоподібні вуглеводні, газоподібний CO₂, і газоподібна H₂O серед інших газових компонентів викликають ендотермічну реакцію, коли гази розкладаються на кінці фурми, ефективність відновлення в доменній печі скорочується. З цієї причини зростає кількість залізовмісних матеріалів, які досягають нижньої частини доменної печі, не будучи відновленими. Тому зростає ступінь реакції прямого відновлення коксом. Тому велика кількість відновника потрібна для підтримки температури в доменній печі, і значно зменшується зниження кількості газоподібного CO₂. Наприклад, у випадку, якщо COG (коковий газ), що містить 50 мол. % газоподібного водню, вдувають у доменну піч при об'ємній витраті газу 600 норм. м³/т, газоподібний водень вдувають у доменну піч з об'ємною витратою газу 300 норм. м³/т. В цьому випадку ефект скорочення викидів CO₂ є значно гіршим, ніж коли в доменну піч вдувають чистий газоподібний водень з об'ємною витратою газу 300 норм. м³/т, і не приводить до різкого скорочення викидів CO₂ (наприклад, відсоткове скорочення ПОДАЧА ΔС питомої витрати вуглецю становить ≥7%). На доповнення, як показано в прикладах, що описуються нижче, в прикладі чистого газоподібного водню при кімнатній температурі ефект скорочення викидів CO₂ стає максимальним, коли об'єм газу становить близько 300 норм. м³/т.

<3. Спосіб роботи доменної печі>

Далі буде описаний спосіб роботи доменної печі згідно з цим винаходом. У способі роботи доменної печі згідно з цим варіантом виконання спочатку визначають температуру газу, який містить високу концентрацію водню, що вдувається в межах діапазону від кімнатної

температури або більше.

Тут температура вдування газу, який містить високу концентрацію водню (далі це може бути просто названо «температурою вдування») буде описана з посиланням на Фіг. 1. Фіг. 1 представляє діаграму для роз'яснення температури вдування. Температуру газу, який містить високу концентрацію водню, регулюють, наприклад, в газгольдері 3, що включає нагрівач 5. Тобто, газ, який містить високу концентрацію водню, спрямовують до фурми 2 для вдування гарячого дуття, розміщеної в нижній частині доменної печі 1, після того, як він нагрітий нагрівачем 5 в газгольдері 3, або, коли його залишають ненагрітим при температурі навколишнього середовища. Газ, який містить високу концентрацію водню, що спрямовується до фурми 2, може бути таким, що нагнітається в доменну піч 1 з фурми 2. Більш конкретно, газ, який містить високу концентрацію водню, що спрямовується до фурми 2, змішується (об'єднується) з гарячим дуттям, утвореним в підігрівачі 4 вдування, потім вдувається в доменну піч 1 з фурми 2. Температура вдування являє собою температуру газу, який містить високу концентрацію водню, безпосередньо перед змішуванням з гарячим дуттям, коли гаряче дуття вдувають в доменну піч 1 з фурми 2. При поточній роботі (діючій печі), наприклад, оскільки немає падіння температури від нагрівача 5, який нагріває газ, який містить високу концентрацію водню, поки газ не буде вдуватися в доменну піч 1, задана температура нагрівача 5 може бути відрегульована на температуру вдування. Хоча температура газу, який містить високу концентрацію водню, зростає внаслідок змішування газу, який містить високу концентрацію водню, з гарячим дуттям, температура в цьому випадку не являє собою температуру вдування в цьому варіанті здійснення. Крім того, хоча температура вдування описана в Патентному Документі 1, температура вдування в Патентному Документі 1 відрізняється від температури вдування в цьому варіанті здійснення.

Як показано в прикладах, що описуються нижче, викиди CO_2 можуть бути значно скорочені навіть у випадку, якщо газ, який містить високу концентрацію водню, вдувають із фурми при кімнатній температурі без нагрівання (дивись Фіг. 2). Фіг. 2 представляє графік, який показує кореляцію між об'ємом чистого газоподібного водню при кімнатній температурі і відсотковим скороченням ПОДАЧА ΔC питомої витрати вуглецю для кожної температури T_f факела. Цей графік отриманий моделюванням роботи доменної печі. Подробиці моделювання роботи доменної печі описані в прикладах. Однак, тут використали так звану «Математичну модель доменної печі» з роботи авторів Kouji TAKATANI, Takanobu INADA, Yutaka UJISAWA, «Three-dimensional Dynamic Simulator for Blast Furnace» («Тривимірна динамічна модель для доменної печі»), ISIJ International, того 39 (1999), № 1, стор. 15-22. В цій математичній моделі доменної печі внутрішню ділянку доменної печі поділяють у напрямку висоти, радіальному напрямку і окружному напрямку для створення численних комірок (малих зон), і моделюють поведінку кожного з комірок. Умови моделювання були такими, як описані нижче в прикладах. Як показано в Фіг. 2, у випадку, якщо об'єм газу чистого газоподібного водню при кімнатній температурі становить від 200 до 500 норм. $\text{м}^3/\text{т}$, можна налаштувати відсоткове скорочення ПОДАЧА ΔC питомої витрати вуглецю, наприклад, на 7% або більше. Відсоткове скорочення ПОДАЧА ΔC питомої витрати вуглецю переважно становить 8% або більше. На доповнення, «кімнатна температура» в цьому варіанті виконання означає ненагрітий стан, і, більш конкретно, становить температуру 5°C або більше і 35°C або менше.

Хоча подробиці будуть описані нижче, коли температура вдування знаходиться в межах діапазону кімнатної температури або більше, відсоткове скорочення ПОДАЧА ΔC питомої витрати вуглецю до того ж об'єму газу збільшується, коли температура вдування є більш високою (дивись Фіг. 2-10). Фіг. 3 представляє графік, який показує кореляцію між об'ємом газу чистого газоподібного водню при 300°C і відсотковим скороченням ПОДАЧА ΔC питомої витрати вуглецю для кожної температури T_f факела. Фіг. 4 представляє графік, який показує кореляцію між об'ємом газу чистого газоподібного водню при 350°C і відсотковим скороченням ПОДАЧА ΔC питомої витрати вуглецю. Фіг. 5 представляє графік, який показує кореляцію між об'ємом газу чистого газоподібного водню при 600°C і відсотковим скороченням ПОДАЧА ΔC питомої витрати вуглецю для кожної температури T_f факела. Фіг. 6 представляє графік, який показує кореляцію між об'ємом газу чистого газоподібного водню при 650°C і відсотковим скороченням ПОДАЧА ΔC питомої витрати вуглецю. Фіг. 7 представляє графік, який показує кореляцію між об'ємом газу чистого газоподібного водню при 900°C і відсотковим скороченням ПОДАЧА ΔC питомої витрати вуглецю для кожної температури T_f факела. Фіг. 8 представляє графік, який показує кореляцію між об'ємом газу чистого газоподібного водню при 950°C і відсотковим скороченням ПОДАЧА ΔC питомої витрати вуглецю. Фіг. 9 представляє графік, який показує кореляцію між об'ємом газу чистого газоподібного водню при 1200°C і відсотковим скороченням ПОДАЧА ΔC питомої витрати вуглецю для кожної температури T_f

факела. Фіг. 10 представляє графік, який показує кореляцію між об'ємом газу чистого газоподібного водню при 1250 °C і відсотковим скороченням ПОДАЧА ДС питомої витрати вуглецю.

Ці графіки отримані з описаного вище моделювання роботи доменної печі. Подробиці будуть описані нижче в прикладах. Можна бачити, що відсоткове скорочення ПОДАЧА ДС питомої витрати вуглецю на Фіг. 3-10 є більш високим, ніж відсоткове скорочення ПОДАЧА ДС питомої витрати вуглецю на Фіг. 2. Що вище температура вдування газу, який містить високу концентрацію водню, то вище тепловміст Bosch-газу (змішаного газу з газоподібного азоту, газоподібного водню і газоподібного СО), утвореного в доменній печі. Таким чином, ефективність відновлення стає більш високою. На цій основі вважають, що більш висока температура вдування газу, який містить високу концентрацію водню, буде приводити до більшого значення відсоткового скорочення ПОДАЧА ДС питомої витрати вуглецю. Тому, з міркувань збільшення відсоткового скорочення ПОДАЧА ДС питомої витрати вуглецю, переважно підвищувати температуру газу, який містить високу концентрацію водню, що вдувається. Більш конкретно, переважно визначати температуру вдування в діапазоні більш ніж 300 °C, більш переважно в діапазоні більш ніж 600 °C, і більш переважно в діапазоні більш ніж 900 °C.

Однак, щоб підвищити температуру газу, який містить високу концентрацію водню, що вдувається до рівня більш ніж 600 °C, виникає ситуація, де потрібна реконструкція великомасштабного обладнання. З цієї причини у випадку, якщо складно відрегулювати температуру газу, який містить високу концентрацію водню, що вдувається, на більш високу, ніж 600 °C, на існуючому обладнанні, температура вдування газу, який містить високу концентрацію водню, може бути визначена в межах діапазону від кімнатної температури до 600 °C. З іншого боку, у випадку, якщо температура вдування газу, який містить високу концентрацію водню, може бути підвищена до рівня більш ніж 600 °C на існуючому обладнанні (або з реконструкцією існуючого обладнання), температура вдування газу, який містить високу концентрацію водню, може бути визначена в межах діапазону більш високих температур, ніж 600 °C.

Потім визначають об'єм газу газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню. Тут об'єм газу газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, являє собою величину витрати потоку газоподібного водню на тонну розплавленого чавуна в газі, що має високу концентрацію водню, що вдувається в доменну піч з фурми, і одиницею є норм. м³/т. Коли газ, який містить високу концентрацію водню, являє собою чистий газоподібний водень, об'єм газу газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, дорівнює об'єму газу, який містить високу концентрацію водню. Коли газ, який містить високу концентрацію водню, являє собою змішаний газ, що містить інші гази, ніж газоподібний водень, об'єм газу газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, являє собою кількість, отриману множенням об'єму газу, який містить високу концентрацію водню, в одиницях мол. % на частку газоподібного водню. В умовах дійсної роботи об'єм газу газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, розраховують за значенням, показаним витратоміром, передбаченим на випускному каналі джерела подачі газу, який містить високу концентрацію водню (наприклад, газгольдера) і частці газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, в одиницях мол. %.

У цьому варіанті здійснення об'єм газу визначають класифікацією ситуацій за температурою вдування газу, який містить високу концентрацію водню. Більш конкретно, у випадку, якщо температура вдування являє собою температуру від кімнатної до 300 °C, об'єм газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, визначають у межах діапазону від 200 до 500 норм. м³/т. З іншого боку, у випадку, якщо температура вдування є більш високою, ніж 300 °C, і становить 600 °C або менше, об'єм газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, визначають у межах діапазону 145 норм. м³/т або більше. У випадку, якщо температура вдування газу, який містить високу концентрацію водню, становить величину більш ніж 600 °C, і 900 °C або менше, об'єм газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, визначають в межах діапазону 125 норм. м³/т або більше. У випадку, якщо температура вдування газу, який містить високу концентрацію водню, становить величину більш ніж 900 °C, і 1200 °C або менше, об'єм газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, визначають у межах діапазону 110 норм. м³/т або більше. У випадку, якщо температура вдування газу, який містить високу концентрацію водню, становить величину більш ніж 1200 °C, об'єм газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, визначають у межах діапазону 100 норм. м³/т або більше.

Обґрунтування того, чому ситуації класифікують згідно з температурою вдування таким чином, полягає в тому, що переважний об'єм газу злегка варіює залежно від температури

вдування. На доповнення, в подальшому описі як приклад буде описаний випадок, де газ, який містить високу концентрацію водню, являє собою чистий газоподібний водень. Однак, як показано в Прикладі 1-2, що описується нижче, навіть у випадку, якщо газ, який містить високу концентрацію водню, містить інший газовий компонент, ніж газоподібний водень, кореляція між температурою вдування газу, який містить високу концентрацію водню, і переважним об'ємом газу не змінюється.

Як показано на Фіг. 2 і 3, у випадку, якщо температура вдування газу, який містить високу концентрацію водню, становить величину від кімнатної температури до 300 °C, відсоткове скорочення ПОДАЧА ДС питомої витрати вуглецю збільшується, коли об'єм газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, зростає від 0 в базовому режимі роботи. Тоді, коли об'єм газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, досягає рівня близько 300 норм. м³/т, відсоткове скорочення ПОДАЧА ДС питомої витрати вуглецю досягає піку, і коли об'єм газу газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, додатково підвищується, відсоткове скорочення ПОДАЧА ДС питомої витрати вуглецю починає зменшуватися. Тоді у випадку, якщо об'єм газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, знаходиться в діапазоні від 200 до 500 норм. м³/т, можна відрегулювати відсоткове скорочення ПОДАЧА ДС питомої витрати вуглецю на 7% або більше. На доповнення, у випадку, якщо газ, який містить високу концентрацію водню, являє собою чистий газоподібний водень, об'єм газу газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, являє собою об'єм газу, який містить високу концентрацію водню. Однак, у випадку, якщо газ, який містить високу концентрацію водню, включає інші газові компоненти, ніж газоподібний водень, це значення являє собою кількість, отриману множенням об'єму газу, який містить високу концентрацію водню, на частку газоподібного водню (мол.%).

Реакція відновлення залізовмісних матеріалів газоподібним воднем (тобто, реакція відновлення воднем) являє собою ендотермічну реакцію. З цієї причини у випадку, якщо об'єм газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, перевищує 300 норм. м³/т, вважають, що така ендотермічна реакція часто протікає в печі, і температура всередині печі падає. Крім того, таке зниження температури всередині печі розглядають як скорочення ефективності відновлення відновним газом, що містить газоподібний водень. Щоб запобігти таким скороченням ефективності відновлення, необхідно підвищувати частку відновника для виконання операції. З цієї причини у випадку, якщо об'єм газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, перевищує 300 норм. м³/т, відсоткове скорочення ПОДАЧА ДС питомої витрати вуглецю починає зменшуватися. Тому у випадку, якщо температура вдування становить величину від кімнатної температури до 300 °C, переважно визначати об'єм газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, в межах діапазону від 200 до 400 норм. м³/т, і більш переважно визначати об'єм газу в межах діапазону від 200 до 300 норм. м³/т. В цьому випадку можна відрегулювати відсоткове скорочення ПОДАЧА ДС питомої витрати вуглецю на 8 % або більше.

Як показано на Фіг. 4 і 5, навіть у випадку, якщо температура вдування газу, який містить високу концентрацію водню, становить більш ніж 300 °C, і 600 °C або менше, відсоткове скорочення ПОДАЧА ДС питомої витрати вуглецю збільшується, коли об'єм газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, зростає від 0 норм. м³/т у базовому режимі роботи. Тоді, коли об'єм газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, становить 145 норм. м³/т або більше, відсоткове скорочення ПОДАЧА ДС питомої витрати вуглецю стає таким, що становить 7% або більше. У випадку, якщо температура вдування газу, який містить високу концентрацію водню, становить 600 °C, як показано в Фіг. 5, об'єм газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, становить близько 600 норм. м³/т, і відсоткове скорочення ПОДАЧА ДС питомої витрати вуглецю досягає насичення. Тоді у випадку, якщо температура вдування газу, який містить високу концентрацію водню, становить 350 °C, як показано в Фіг. 4, коли об'єм газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, досягає величини близько 300 норм. м³/т, відсоткове скорочення ПОДАЧА ДС питомої витрати вуглецю досягає піку, і коли об'єм газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, ще більше зростає, відсоткове скорочення ПОДАЧА ДС питомої витрати вуглецю починає зменшуватися.

На доповнення, у випадку, якщо температура вдування газу, який містить високу концентрацію водню, становить 350 °C, складно підтримувати температуру T_f наконечника фурми при 2200 °C, коли об'єм газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, перевищує 600 норм. м³/т. При роботі доменної печі згідно з рівнем техніки температуру T_f факела часто регулюють на значення близько 2200 °C, і у випадку, якщо складно підтримувати температуру T_f факела при 2200 °C, експлуатаційні умови роботи доменної печі згідно з рівнем

техніки будуть змінені.

Обґрунтування того, чому відсоткове скорочення ПОДАЧА ДС питомої витрати вуглецю починає зменшуватися у випадку, якщо температура вдування газу, який містить високу концентрацію водню, становить 350 °С, є таким же, як указано вище. У випадку, якщо температура вдування газу, який містить високу концентрацію водню, становить 600 °С, відсоткове скорочення ПОДАЧА ДС питомої витрати вуглецю не починає зменшуватися в діапазоні об'єму газу аж до 700 норм. м³/т. Однак, коли об'єм газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, становить близько 600 норм. м³/т, ефект скорочення питомої витрати вуглецю досягає насичення. У випадку, якщо температура вдування становить більш ніж 350 °С і 600 °С або менше, є великим тепловміст Bosch-газу. Тому, оскільки вплив теплового ефекту ендотермічної реакції внаслідок реакції відновлення воднем скорочується, вважають малоімовірним падіння температури всередині печі, навіть якщо газоподібного водню вдувають більше, ніж у вищезгаданому випадку. Тому вважається, що, навіть коли в доменну піч вдувають велику кількість газоподібного водню, температура всередині печі не так легко знижується, і ефективність відновлення найшвидше не скорочується. На цій основі відсоткове скорочення ПОДАЧА ДС питомої витрати вуглецю вважають таким, що досягнуло насичення. Більше того: у випадку, якщо об'єм газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, становить від 300 до 600 норм. м³/т, відсоткове скорочення ПОДАЧА ДС питомої витрати вуглецю становить 10 % або більше.

Як показано на Фіг. 6 і 7, навіть у випадку, якщо температура вдування становить більш ніж 600 °С і 900 °С або менше, відсоткове скорочення ПОДАЧА ДС питомої витрати вуглецю збільшується, коли об'єм газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, зростає від 0 норм. м³/т в базовому режимі роботи. Тоді у випадку, якщо об'єм газу газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, знаходиться в межах діапазону 125 норм. м³/т або більше, відсоткове скорочення ПОДАЧА ДС питомої витрати вуглецю становить 7 % або більше. Зокрема, у випадку, якщо об'єм газу газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, знаходиться в межах діапазону 180 норм. м³/т або більше, відсоткове скорочення ПОДАЧА ДС питомої витрати вуглецю становить 10% або більше. Крім того, коли об'єм газу газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, зростає, знижується швидкість збільшення відсоткового скорочення ПОДАЧА ДС питомої витрати вуглецю (підвищення величини відсоткового скорочення ПОДАЧА ДС питомої витрати вуглецю відносно зростання величини об'єму газу). Однак, відсоткове скорочення ПОДАЧА ДС питомої витрати вуглецю не починає зменшуватися. Ця поведінка явно відрізняється від ситуації, коли температура вдування газу, який містить високу концентрацію водню, становить 600 °С або менше. Фіг. 7 представляє графік, який показує кореляцію між об'ємом газу газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, і відсотковим скороченням ПОДАЧА ДС питомої витрати вуглецю у випадку, якщо температура вдування газу, який містить високу концентрацію водню (тут чистого газоподібного водню), становить 900 °С. Таку ж тенденцію, як на Фіг. 7, спостерігали навіть у випадку, якщо температура вдування газу, який містить високу концентрацію водню, становила 650 °С. Наприклад, як показано на Фіг. 6, у випадку, якщо температура вдування газу, який містить високу концентрацію водню, становить 650 °С, і об'єм газу газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, становить 125 норм. м³/т або більше, відсоткове скорочення ПОДАЧА ДС питомої витрати вуглецю становить 7,0 % або більше.

Як описано вище, оскільки реакція відновлення, що викликається газоподібним воднем, є ендотермічною реакцією, коли об'єм газу газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, до деякого ступеня збільшується, відсоткове скорочення ПОДАЧА ДС питомої витрати вуглецю починає зменшуватися. Однак, якщо температура вдування газу, який містить високу концентрацію водню, становить більш ніж 600 °С, тепловміст Bosch-газу, що генерується в доменній печі, стає надзвичайно високим. Таким чином, може бути забезпечена теплота реакції, необхідна для реакції відновлення. На цій основі вважається, що, навіть коли об'єм газу газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, зростає, відсоткове скорочення ПОДАЧА ДС питомої витрати вуглецю не починає зменшуватися, але продовжує збільшуватися. Така поведінка спостерігається у випадку, якщо температура вдування газу, який містить високу концентрацію водню, є більш високою, ніж 600 °С. Тому з міркувань додаткового збільшення відсоткового скорочення ПОДАЧА ДС питомої витрати вуглецю, верхню межу об'єму газу газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, окремо не регулюють. Однак, коли об'єм газу газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, зростає, знижується швидкість збільшення відсоткового скорочення ПОДАЧА ДС питомої витрати вуглецю. Тому передбачають, що ефект зниження питомої

витрати вуглецю досягає піку при певному об'ємі газу. У цьому випадку об'єм газу допускають таким, що становить приблизно 1000 норм. м³/т. Тому об'єм газу газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, може становити 1000 норм. м³/т або менше.

Як показано на Фіг. 8 і 9, навіть у випадку, якщо температура вдування становить більш ніж 900 °C і 1200 °C або менше, відсоткове скорочення ПОДАЧА ΔС питомої витрати вуглецю збільшується, коли об'єм газу газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, підвищується від 0 норм. м³/т в базовому режимі роботи. Тоді у випадку, якщо об'єм газу газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, знаходиться в межах діапазону 110 норм. м³/т або більше, відсоткове скорочення ПОДАЧА ΔС питомої витрати вуглецю становить 7% або більше. Зокрема, у випадку, якщо об'єм газу газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, знаходиться в межах діапазону 150 норм. м³/т або більше, відсоткове скорочення ПОДАЧА ΔС питомої витрати вуглецю становить 10 % або більше. Крім того, подібно ситуації, де температура вдування газу, який містить високу концентрацію водню, стає більш ніж 600 °C, і 900 °C або менше, коли об'єм газу газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, зростає, швидкість збільшення відсоткового скорочення ПОДАЧА ΔС питомої витрати вуглецю зменшується. Однак, відсоткове скорочення ПОДАЧА ΔС питомої витрати вуглецю не починає зменшуватися. Фіг. 9 представляє графік, який показує кореляцію між об'ємом газу газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, і відсотковим скороченням ПОДАЧА ΔС питомої витрати вуглецю у випадку, якщо температура вдування газу, який містить високу концентрацію водню (тут чистого газоподібного водню), становить 1200 °C. Таку ж тенденцію, як на Фіг. 9, спостерігали також у випадку, якщо температура вдування газу, який містить високу концентрацію водню, становила 950 °C. Наприклад, як показано на Фіг. 8, у випадку, якщо температура вдування газу, який містить високу концентрацію водню, становить 950 °C, і об'єм газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, становить 110 норм. м³/т, відсоткове скорочення ПОДАЧА ΔС питомої витрати вуглецю становить 7,0 % або більше.

Тому, з міркувань додаткового збільшення відсоткового скорочення ПОДАЧА ΔС питомої витрати вуглецю, верхню межу об'єму газу газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, окремо не налаштовують. Однак, у випадку, якщо об'єм газу газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, становить близько 1000 норм. м³/т, передбачається, що ефект скорочення питомої витрати вуглецю досягає піку. Тому об'єм газу газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, може становити 1000 норм. м³/т або менше.

На доповнення, згідно з моделюванням роботи доменної печі, у випадку, якщо температура вдування газу, який містить високу концентрацію водню, становить 1200 °C, і об'єм газу газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, становить 800 норм. м³/т або більше, газовий об'єм порошкоподібного вугілля стає таким, що дорівнює 0, і можна додатково зменшити питому витрату вуглецю скороченням витрати коксу. Як правило, в роботі доменної печі скорочення витрати коксу спричиняє збільшення падіння тиску, приводячи до нестабільної роботи. Тут падіння тиску являє собою різницю між тиском біля наконечника фурми (випускного каналу фурми), іншими словами, тиском всередині печі на вихідному каналі фурми, і тиском на верху печі, і значенням, що виключає падіння тиску в трубопроводі від компресора до наконечника фурми. При дійсній роботі падіння тиску вимірюють манометром, розміщеним на ділянці стінки печі. Однак, як показано на Фіг. 14, в роботі доменної печі в умовах високої концентрації водню, як в цьому варіанті виконання, в'язкість газу і густина газу в печі значно знижуються. Тому питання відносно збільшення падіння тиску, коли скорочується витрата коксу, вирішується, і падіння тиску є таким, що не виникає проблеми відносно стабільної роботи при дійсній експлуатації. На доповнення, Фіг. 14 представляє графік, який показує кореляцію між об'ємом газу чистого газоподібного водню при 1200 °C і величиною зміни падіння тиску всередині печі, коли температура факела досягає 2100 °C, який отриманий моделюванням роботи доменної печі. Падіння тиску при нормальній роботі становить близько 85 кПа як стандартне значення. Згідно з Фіг. 14, можна бачити, що падіння тиску становить менше, ніж 85 кПа, в умовах роботи згідно з цим варіантом виконання.

Як показано на Фіг. 10, навіть у випадку, якщо температура вдування є більш високою, ніж 1200 °C, відсоткове скорочення ПОДАЧА ΔС питомої витрати вуглецю збільшується, коли об'єм газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, зростає від 0 норм. м³/т в базовому режимі роботи. Тоді у випадку, якщо об'єм газу газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, знаходиться в межах діапазону 100 норм. м³/т, відсоткове скорочення ПОДАЧА ΔС питомої витрати вуглецю становить 7% або більше. Крім того, подібно ситуації, де температура вдування газу, який містить високу концентрацію водню, стає більш

ніж 600 °C, і 900 °C або менше, коли об'єм газу газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, зростає, зменшується швидкість підвищення відсоткового скорочення ПОДАЧА ΔС питомої витрати вуглецю. Однак, відсоткове скорочення ПОДАЧА ΔС питомої витрати вуглецю не починає зменшуватися. Тому, з міркувань додаткового збільшення відсоткового скорочення ПОДАЧА ΔС питомої витрати вуглецю, верхню межу об'єму газу газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, окремо не регулюють. Однак, у випадку, якщо об'єм газу газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, становить близько 1000 норм. м³/т, передбачається, що ефект зниження питомої витрати вуглецю досягає піку. Тому об'єм газу газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, може становити 1000 норм. м³/т або менше.

Верхня межа температури вдування не є конкретно обмеженою, наскільки навколишнє середовище дозволяє перевищення температури вдування газу, який містить високу концентрацію водню, значення в 600 °C. Однак, як показано на Фіг. 15 і 16, ефект скорочення питомої витрати вуглецю майже не змінюється в діапазоні, де температура вдування газу, який містить високу концентрацію водню, знаходиться від більш ніж 1200 °C до близько 1400 °C. На доповнення, Фіг. 15 і 16 представляють графіки, які показують кореляцію між температурою газу, який містить високу концентрацію водню, що вдувається, і об'ємом чистого газоподібного водню, необхідним для регулювання відсоткового скорочення ПОДАЧА ΔС питомої витрати вуглецю на 10 % або 20 %. Температура T_f факела була відрегульована на 2100 °C. Ці графіки отримані з'ясуванням кореляції між Фіг. 2-10 з кореляцією температури вдування чистого газоподібного водню і об'ємом газу газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, необхідним для налаштування відсоткового скорочення ПОДАЧА ΔС питомої витрати вуглецю на 10 % або 20 %. Тому температура вдування газу, який містить високу концентрацію водню, може становити 1400 °C або менше. Тобто, температура вдування газу, який містить високу концентрацію водню, може становити, наприклад, більш ніж 600 °C і 1400 °C або менше.

Далі, газ, який містить високу концентрацію водню, вдувають з фурми при визначених температурі вдування і об'ємі газу. Відповідно до цього, відсоткове скорочення ПОДАЧА ΔС питомої витрати вуглецю може бути налаштовано, наприклад, на 7 % або більше, і можуть бути значно скорочені викиди CO₂. На доповнення, фурма для вдування газу, який містить високу концентрацію водню, являє собою, наприклад, фурму для вдування гарячого дуття, розміщену в нижній частині печі. Цей варіант виконання описаний на основі припущення, що газ, який містить високу концентрацію водню, вдувають із фурми для вдування гарячого дуття. Однак, фурма для вдування газу, який містить високу концентрацію водню, цим не обмежена. Ще один приклад фурми являє собою так звані шахтні фурми, розміщені на шахтній ділянці. Газ, який містить високу концентрацію водню, може бути таким, що нагнітається в доменну піч з будь-якої з таких фурм, або може вдуватися в доменну піч з обох фурм. У випадку, якщо газ, який містить високу концентрацію водню, вдувають у доменну піч з численних фурм, загальний об'єм газу газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, що вдувається з кожної фурми, відповідає визначеному вище об'єму газу.

На доповнення, належним регулюванням температури вдування газоподібного водню, об'єму газу, температури T_f факела, і тому подібних, в умовах цього варіанта здійснення, можлива робота з належним збереженням температури колошникового газу. На цій основі немає необхідності у вдуванні попередньо нагрітого газу і в попередньому нагріванні шихти всередині печі, які проводять для підтримання температури колошникового газу, але це може бути виконано окремо.

<4. Приклади модифікації>

(4.1. Приклад 1 модифікації)

Далі будуть описані різні приклади модифікації способу роботи доменної печі. У Прикладі 1 модифікації температуру T_f факела витримують при 2050 °C або менше. Тут температура факела являє собою температуру всередині печі на кінцевій частині наконечника фурми, повернутій всередину печі, і також буде називатися «температурою T_f наконечника фурми». При дійсній роботі температуру T_f факела розраховують як теоретичну температуру горіння на наконечнику фурми згідно з рівнянням Ламма, описаним у виданні «Ironmaking Handbook» (фірма Chijinshokan Co., Ltd.), Akitoshi SHIGEMI.

Як показано на Фіг. 2, 3, 5, 7 і 9, відсоткове скорочення ПОДАЧА ΔС питомої витрати вуглецю у випадку, якщо температура T_f факела становить 2050 °C або менше (2000 °C на Фіг. 2, 3, 5, 7 і 9), є більш високим, ніж відсоткове скорочення ПОДАЧА ΔС питомої витрати вуглецю у випадку, якщо температура T_f факела становить більш ніж 2050 °C (2100 °C на Фіг. 2, 3, 5, 7 і 9). Таким чином, в Прикладі 1 модифікації температуру T_f факела підтримують при

2050 °C або менше. Відповідно до цього, може бути додатково збільшене відсоткове скорочення ПОДАЧА ΔС питомої витрати вуглецю. На доповнення, як показано на Фіг. 7 і 9, у випадку, якщо температура вдування газу, який містить високу концентрацію водню, становить більш ніж 600 °C, і у випадку, якщо об'єм газу газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, становить 400 норм. м³/т або більше, помітно проявляється ця тенденція. Тому у випадку, якщо температура вдування газу, який містить високу концентрацію водню, становить більш ніж 600 °C, і об'єм газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, становить 400 норм. м³/т або більше, температура T_f факела може бути відрегульована на 2050 °C або менше.

Тут, оскільки температура вдування газу, який містить високу концентрацію водню, є більш низькою, ніж температура гарячого дуття, температура T_f факела знижується при вдуванні в доменну піч газу, який містить високу концентрацію водню. Щоб налаштувати температуру T_f факела на бажану температуру, тобто, для підвищення температури T_f факела, необхідно підвищувати коефіцієнт збагачення киснем для виконання операції. Тут гаряче дуття, що вдувається в доменну піч, являє собою газ, який включає повітря. Гаряче дуття може включати гігроскопічну вологу і збагачений кисень, на доповнення до повітря. Коефіцієнт збагачення киснем приблизно являє собою об'ємне відношення кисню в гарячому дутті до загального об'єму гарячого дуття, і «коефіцієнт збагачення киснем (%)» = $\frac{\text{об'єм дуття (величина витрати потоку)} [\text{норм.м}^3/\text{хвилину}] \times 0,21 + \text{кількість збагаченого кисню} [\text{норм.м}^3/\text{хвилину}]}{\text{об'єм вдування} [\text{норм.м}^3/\text{хвилину}] + \text{кількість збагаченого кисню} [\text{норм.м}^3/\text{хвилину}]} \times 100 - 21$. При дійсній роботі коефіцієнт збагачення киснем регулюють зміною величини витрати потоку збагаченого кисню в одиницях норм. м³/т, і величини витрати потоку повітря, без зміни величини витрати потоку кисню, яка являє собою загальну величину витрати потоку в одиницях норм. м³/т і кисню в гарячому дутті. Це потрібно для витримування по можливості постійною кількості чавуна, що випускається (кількості чавуна, який випускається щодня, з розрахунку на м³ внутрішнього об'єму печі). Тому, коли коефіцієнт збагачення киснем зростає, знижується величина витрати потоку гарячого дуття. Внаслідок цього скорочується кількість Bosch-газу.

Тому, коли температура T_f факела є більш високою, кількість Bosch-газу скорочується. Тоді, коли кількість Bosch-газу скорочується, знижується тепловміст Bosch-газу. Тому температура всередині печі виявляє тенденцію до зниження внаслідок теплового ефекту ендотермічної реакції, що відбувається внаслідок реакції відновлення воднем. Тоді, щоби запобігти такому зниженню температури всередині печі, необхідно провести роботу, в якій підвищують частку відновника. На цій основі вважається, що відсоткове скорочення ПОДАЧА ΔС питомої витрати вуглецю у випадку, якщо температура T_f факела становить 2050 °C або менше, є більш високим, ніж відсоткове скорочення ПОДАЧА ΔС питомої витрати вуглецю у випадку, якщо температура T_f факела становить більш ніж 2050 °C.

На доповнення, з міркувань теплопередачі на розплавлений чавун і займистості порошкоподібного вугілля, температура T_f факела переважно становить 2000 °C або більше. Однак, якщо відсоткове скорочення ПОДАЧА ΔС питомої витрати вуглецю може бути достатньо високим, і частка порошкоподібного вугілля (порошкоподібного вугілля, що використовується на тонну розплавленого чавуна) може бути в достатній мірі скорочена, температура T_f факела може бути нижчою 2000 °C. Наприклад, якщо відсоткове скорочення ПОДАЧА ΔС питомої витрати вуглецю може бути збережено, навіть якщо температура T_f факела становить нижче 2000 °C, і можлива стабільна робота, температура T_f факела може бути відрегульована на більш низьке значення, ніж 2000 °C. Наприклад, в цьому відношенні, як описано вище, у випадку, якщо температура вдування газу, який містить високу концентрацію водню, становить 1200 °C, і об'єм газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, становить 800 норм. м³/т або більше, об'єм газу порошкоподібного вугілля становить 0 (тобто, кількість порошкоподібного вугілля становить 0). У цьому випадку, оскільки немає необхідності враховувати згоряння порошкоподібного вугілля, відсоткове скорочення ПОДАЧА ΔС питомої витрати вуглецю можна підтримувати, навіть коли температура T_f факела становить менше ніж 2000 °C, і стає можливою стабільна робота. Тому температура T_f факела може бути налаштована на значення нижче 2000 °C. Тобто, якщо об'єм газу порошкоподібного вугілля може бути налаштований на 0 внаслідок підвищення температури вдування газу, який містить високу концентрацію водню, і збільшення об'єму газу, температура T_f факела може бути відрегульована на значення нижче 2000 °C.

(4-2. Приклад 2 модифікації)

У Прикладі 2 модифікації температуру T_f факела підтримують більш високою, ніж 2050 °C, і нижче, ніж 2150 °C. Згідно з Прикладом 1 модифікації, відсоткове скорочення ПОДАЧА ΔС питомої витрати вуглецю може бути збільшено регулюванням температури T_f факела на

2050 °C або менше. З іншого боку, коли температуру T_f факела знижують, існує можливість скорочення величини спалювання порошкоподібного вугілля. Тобто, коли температура T_f факела знижується, порошкоподібне вугілля швидше всього не згоряє. У випадку, якщо порошкоподібне вугілля сповільнює горіння, або у випадку, якщо роботу виконують зі збільшенням частки порошкоподібного вугілля, додатково підвищується можливість зниження швидкості згорання порошкоподібного вугілля. Коли зменшується швидкість згорання порошкоподібного вугілля, температура всередині печі знижується. Таким чином, може бути необхідним виконання роботи, в якій відповідно підвищена частка відновника. З цієї позиції в Прикладі 2 модифікації температуру T_f факела підтримують більш ніж 2050 °C і нижче 2150 °C. Відповідно до цього, можна зберігати швидкість згорання порошкоподібного вугілля, і може бути пригнічене зниження температури всередині печі.

(4-3. Приклад 3 модифікації)

У Прикладі 3 модифікації температуру T_f факела підтримують більш ніж 2150 °C. При експлуатації доменної печі згідно з рівнем техніки температуру T_f факела часто налаштовують на 2200 °C. Тому регулюванням температури T_f факела на значення більш ніж 2150 °C роботу можна проводити без значної зміни умов роботи, типових для експлуатації доменної печі згідно з прототипом. На доповнення, з міркувань захисту обладнання фурми, температура T_f факела переважно становить 2250 °C або менше.

(4-4. Приклад 4 модифікації)

Як показано на Фіг. 2-10, існує певна кореляція між об'ємом газу газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, і відсотковим скороченням ПОДАЧА ΔC питомої витрати вуглецю. Так, в Прикладі 4 модифікації кореляцію «об'єм газу-відсоткове скорочення питомої витрати вуглецю», яка являє собою кореляцію між об'ємом газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, і відсотковим скороченням ПОДАЧА ΔC питомої витрати вуглецю, отримують завчасно.

Наприклад, відсоткове скорочення ПОДАЧА ΔC питомої витрати вуглецю для кожного з декількох об'ємів газу отримують моделюванням роботи доменної печі, в якому відображена поточна робота доменної печі, що включає температуру газу, який містить високу концентрацію водню, що вдувається. Конкретний метод може бути таким, як в прикладах, які описуються нижче.

Потім значення, отримані вищезгаданим методом, наносять на графік на площині, де горизонтальна вісь представляє об'єм газу газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, в одиницях норм. м³/т, і вертикальна вісь представляє відсоткове скорочення ПОДАЧА ΔC (%) питомої витрати вуглецю. Потім з цих графіків може бути отримана апроксимуюча крива, наприклад, методом найменших квадратів, і апроксимуюча крива, і більш конкретно, реляційне відношення, може бути використана як вищеописана кореляція «об'єм газу-відсоткове скорочення питомої витрати вуглецю». Переважно отримувати кореляцію обсягу газу і відсоткового скорочення питомої витрати вуглецю для кожної температури T_f факела.

Потім об'єм газу, при якому відсоткове скорочення ПОДАЧА ΔC питомої витрати вуглецю є більш високим, ніж значення при поточній роботі, тобто, об'єм газу, при якому величина витрати вуглецю знижена, визначають на основі отриманої вище кореляції об'єму газу і відсоткового скорочення питомої витрати вуглецю. Потім газ, який містить високу концентрацію водню, вдувають із фурми при певному об'ємі газу. Відповідно до цього, може бути надійно збільшене відсоткове скорочення ПОДАЧА ΔC питомої витрати вуглецю.

Тут переважно отримувати кореляцію обсягу газу і відсоткового скорочення питомої витрати вуглецю завчасно для кожної температури вдування газу, який містить високу концентрацію водню. Відповідно до цього, навіть у випадку, якщо температура вдування коливається, може бути легко визначений бажаний об'єм газу газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню. Тобто, навіть у випадку, якщо температура вдування не є постійною, можна легко визначати об'єм газу газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, при якому відсоткове скорочення ПОДАЧА ΔC питомої витрати вуглецю стає більш високим.

(4-5. Приклад 5 модифікації)

Фіг. 12 представляє графік, який показує для кожної температури T_f факела кореляцію між об'ємом чистого газоподібного водню при кімнатній температурі в одиницях норм. м³/т і величиною зміни падіння тиску в одиницях кПа відносно базового режиму роботи, який являє собою роботу, в якій газ, який містить високу концентрацію водню, не вдувають. Цей графік отриманий з моделювання роботи доменної печі. Подробиці будуть описані в прикладах. Тут падіння тиску являє собою різницю між тиском на наконечнику фурми (вихідному каналі

фурми), іншими словами, тиском всередині печі на вихідному каналі фурми, і тиском на верху печі, і значенням, що виключає падіння тиску в трубопроводі від компресора до наконечника фурми. При дійсній роботі падіння тиску вимірюють манометром, розміщеним на ділянці стінки печі. Величина зміни падіння тиску відносно базового режиму роботи являє собою значення, отримане відніманням падіння тиску під час базового режиму роботи від падіння тиску під час певної роботи. Переважно, щоб падіння тиску було майже таким же, як при базовому режимі роботи, або мало значення нижче, ніж при базовому режимі роботи, з міркувань обмеження тиску вдування, запобігання прориву газів, і тому подібного. Фіг. 12 показує вищезгадану кореляцію у випадку, якщо використовують чистий газоподібний водень при кімнатній температурі. Вищезгадана кореляція також може бути отримана у випадку, якщо застосовують газ, який містить високу концентрацію водню, інший, ніж чистий газоподібний водень. На доповнення, вищезгадана кореляція може бути отримана, навіть коли температура вдування газу, який містить високу концентрацію водню, є більш високою, ніж кімнатна температура.

Як зрозуміло з Фіг. 12, існує певна кореляція між об'ємом газу газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, і величиною зміни падіння тиску. Наприклад, у випадку, якщо об'єм газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, зростає, знижується температура T_f факела, як описано вище. Щоб відрегулювати температуру факела на бажану температуру, необхідно підвищувати коефіцієнт збагачення киснем для виконання операції. При дійсній роботі коригують коефіцієнт збагачення киснем, в той же час з утриманням кількості чавуна, що випускається, при попередньо визначеній величині зміною витрати потоку збагаченого кисню в одиницях норм. $\text{м}^3/\text{т}$ і величини витрати потоку повітря, без зміни величини витрати потоку кисню, яка являє собою загальну величину витрати потоку збагаченого кисню і кисню в гарячому дутті в одиницях норм. $\text{м}^3/\text{т}$. Тому, коли коефіцієнт збагачення киснем підвищується, витрата потоку гарячого дуття знижується. Внаслідок цього скорочується кількість Bosch-газу. Іншими словами, у випадку, якщо температура T_f факела низька, кількість Bosch-газу зростає. Внаслідок цього існує можливість того, що падіння тиску стане більшим, ніж при базовому режимі роботи. Однак, коли додатково збільшують об'єм газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, знижуються в'язкість газу і густина газу в печі, і падіння тиску скорочується. Тоді зменшення падіння тиску, викликане зниженням в'язкості газу і густини газу, компенсує зростання падіння тиску, зумовлене збільшенням кількості Bosch-газу, і в результаті падіння тиску скорочується.

У Прикладі 5 модифікації спочатку завчасно отримують кореляцію обсягу газу і відсоткового скорочення питомої витрати вуглецю, подібно до Прикладу 4 модифікації. Більше того: отримують кореляцію об'єму газу і зміни падіння тиску, яка являє собою кореляцію між об'ємом газу і величиною зміни падіння тиску відносно базового режиму роботи.

Наприклад, величину зміни падіння тиску для кожного з декількох об'ємів газу отримують моделюванням роботи доменної печі, в якому відображена поточна робота доменної печі, що включає температуру газу, який містить високу концентрацію водню, що вдувається. Конкретний метод може бути таким, як в прикладах, які описуються нижче.

Потім значення, отримані вищезгаданим методом, наносять на графік на площині, де горизонтальна вісь представляє об'єм газу газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, в одиницях норм. $\text{м}^3/\text{т}$, і вертикальна вісь представляє Δ падіння тиску, яка являє собою величину зміни падіння тиску в одиницях кПа. Потім з цих графіків може бути отримана апроксимуюча крива, наприклад, методом найменших квадратів, і апроксимуюча крива (більш конкретно, реляційне відношення, що показує апроксимуючу криву) може бути використана як вищеописана кореляція «об'єм газу-зміна падіння тиску». Кореляцію об'єму газу і зміни падіння тиску переважно отримують для кожної температури T_f факела.

Тоді відсоткове скорочення ПОДАЧА ДС питомої витрати вуглецю є більш високим, ніж при поточній роботі, тобто, кількість вуглецю, що витрачається, знижується, і визначають об'єм газу, в якому зміна величини падіння тиску являє собою значення в межах попередньо визначеного діапазону, на основі кореляції об'єму газу і зміни падіння тиску. Тут попередньо визначений діапазон являє собою, наприклад, від близько -50 до +5 кПа, але цим не обмежений. Потім газ, який містить високу концентрацію водню, вдувають із фурми при певному об'ємі газу. Відповідно до цього, відсоткове скорочення ПОДАЧА ДС питомої витрати вуглецю може бути більш надійно збільшено, тоді як величину зміни падіння тиску регулюють на значення в межах попередньо визначеного діапазону.

(4-6. Приклад 6 модифікації)

Фіг. 13 представляє графік, який показує кореляцію між об'ємом газу чистого газоподібного водню в одиницях норм. $\text{м}^3/\text{т}$ при кімнатній температурі і величиною зміни температури колошникового газу відносно базового режиму роботи в одиницях $^{\circ}\text{C}$ для кожної температури T_f

факела. Цей графік отриманий моделюванням роботи доменної печі. Подробиці будуть описані в прикладах. Тут температура колошникового газу являє собою температуру колошникового газу печі (головним чином CO_2 , N_2 , CO , що не прореагував, або тому подібних), що виводяться з верху доменної печі, і при дійсній роботі виміряна термометром, розміщеним на висхідному трубопроводі. Величина зміни температури колошникового газу відносно базового режиму роботи являє собою значення, отримане відніманням температури колошникового газу під час базового режиму роботи від температури колошникового газу під час певної операції. Температура колошникового газу переважно є майже такою ж, як в базовому режимі роботи, з міркувань обмежень обладнання на верху печі і ефективної роботи, і, як приклад, переважно в межах діапазону близько $\pm 20^\circ\text{C}$ від температури колошникового газу в базовому режимі роботи. Фіг. 13 показує вищезгадану кореляцію у випадку, якщо використовують чистий газоподібний водень при кімнатній температурі. Вищезгадана кореляція також може бути отримана у випадку, якщо застосовують газ, який містить високу концентрацію водню, інший, ніж чистий газоподібний водень. На доповнення, вищезгадана кореляція може бути отримана, навіть коли температура вдування газу, який містить високу концентрацію водню, є більш високою, ніж кімнатна температура.

Як зрозуміло з Фіг. 13, існує певна кореляція між об'ємом газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, і величиною зміни температури колошникового газу. Наприклад, у випадку, якщо об'єм газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, підвищують, температура T_f факела знижується, як описано вище. Щоб відрегулювати температуру T_f факела на бажану температуру, необхідно збільшувати коефіцієнт збагачення киснем для виконання операції. При дійсній роботі коригують коефіцієнт збагачення киснем зміною витрати потоку повітря в одиницях норм. $\text{м}^3/\text{т}$, без зміни величини витрати потоку кисню в одиницях норм. $\text{м}^3/\text{т}$. Тому, коли коефіцієнт збагачення киснем підвищується, витрата потоку гарячого дуття знижується. Внаслідок цього скорочується кількість Bosch-газу. Іншими словами, у випадку, якщо температура T_f факела підвищується, кількість Bosch-газу знижується. З цієї причини зростає коефіцієнт теплового потоку, що виражається відношенням (теплоємність шихти всередині печі, що опускається на одиницю часу)/(теплоємність Bosch-газу, що підіймається на одиницю часу). Внаслідок цього температура газу всередині печі, яка підвищується всередині печі, виявляє тенденцію до зниження, і в результаті температура колошникового газу виявляє тенденцію до зниження. Внаслідок цього існує можливість того, що температура колошникового газу стане більш низькою, ніж при базовому режимі роботи. Однак, коли додатково збільшують об'єм газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, температура всередині печі знижується внаслідок ендотермічної реакції, як описано вище, приблизно при 300 норм. $\text{м}^3/\text{т}$ як граничному значенні, і ефективність відновлення починає знижуватися. Щоб запобігти такому зниженню ефективності відновлення, роботу виконують зі збільшенням частки відновника. Однак, коли частка відновника зростає, кількість тепла, що підводиться в піч, збільшується, і температура колошникового газу виявляє тенденцію до підвищення. Тому температура колошникового газу починає зростати.

У Прикладі 6 модифікації спочатку завчасно отримують кореляцію обсягу газу і відсоткового скорочення питомої витрати вуглецю, подібно до Прикладу 4 модифікації. Більше того: отримують кореляцію об'єму газу і температури колошникового газу, яка являє собою кореляцію між об'ємом газу і величиною зміни температури колошникового газу відносно базового режиму роботи.

Наприклад, величину зміни температури колошникового газу для кожного з декількох об'ємів газу отримують моделюванням роботи доменної печі, в якому відображена поточна робота доменної печі, що включає температуру газу, який містить високу концентрацію водню, що вдувається. Конкретний метод може бути таким, як в прикладах, які описуються нижче.

Потім значення, отримані вищезгаданим методом, наносять на графік на площині, де горизонтальна вісь представляє об'єм газу газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, в одиницях норм. $\text{м}^3/\text{т}$, і вертикальна вісь представляє в одиницях $\text{кПа } \Delta$ температури колошникового газу, яка являє собою величину зміни температури колошникового газу в одиницях $^\circ\text{C}$. Потім з цих графіків може бути отримана апроксимуюча крива, наприклад, методом найменших квадратів, і апроксимуюча крива, більш конкретно, реляційне відношення, що показує апроксимуючу криву, може бути використана як вищеописана кореляція «об'єм газу-величина зміни температури колошникового газу». Кореляцію об'єму газу і величини зміни температури колошникового газу переважно отримують для кожної температури T_f факела.

Тоді об'єм газу, при якому відсоткове скорочення ПОДАЧА ΔC питомої витрати вуглецю є більш високим, ніж при поточній роботі, тобто, кількість вуглецю, що витрачається, знижується, і при якому величина зміни температури колошникового газу являє собою значення в межах

попередньо визначеного діапазону, визначають на основі кореляції об'єму газу і зміну відсоткового скорочення питомої витрати вуглецю, і кореляції об'єму газу і величини зміни температури колошникового газу. Тут попередньо визначений діапазон являє собою, наприклад, від близько -20 до +20 °С, але цим не обмежений. Потім газ, який містить високу концентрацію водню, вдувають з фурми при певному об'ємі газу. Відповідно до цього, відсоткове скорочення ПОДАЧА ΔС питомої витрати вуглецю може бути більш надійно збільшено, тоді як величину зміни температури колошникового газу регулюють на значення в межах попередньо визначеного діапазону.

Тут, у вищезгаданих Прикладах 4-6 модифікації, параметр в парі з об'ємом газу газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, не обов'язково обмежений величиною відсоткового скорочення ПОДАЧА ΔС питомої витрати вуглецю. Тобто, параметр в парі з об'ємом газу газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, може бути будь-яким параметром, що стосується кількості вуглецю, що витрачається, тобто, будь-якого параметру витрати вуглецю. Це зумовлено тим, що, якщо кількість вуглецю, що витрачається, знижується, можуть бути скорочені викиди CO₂. Приклади такого параметра витрати вуглецю включають конкретну витрату вуглецю, частку відновника, величину відсоткового скорочення відновника, і тому подібні, на доповнення до відсоткового скорочення ПОДАЧА ΔС питомої витрати вуглецю. Величина відсоткового скорочення відновника являє собою величину відсоткового скорочення відновника відносно базового режиму роботи, і метод розрахунку є таким же, як метод розрахунку відсоткового скорочення ПОДАЧА ΔС питомої витрати вуглецю.

Крім того, Приклад 5 модифікації і Приклад 6 модифікації можуть бути об'єднані між собою. Відповідно до цього, відсоткове скорочення ПОДАЧА ΔС питомої витрати вуглецю може бути більш надійно збільшене, тоді як величину зміни падіння тиску і величину зміни температури колошникового газу регулюють на значення в межах попередньо визначених діапазонів.

[Приклади]

Далі будуть описані приклади цього варіанта виконання. У цьому варіанті здійснення проведенням моделювання роботи доменної печі було підтверджено, що відсоткове скорочення ПОДАЧА ΔС питомої витрати вуглецю збільшується за допомогою способу роботи доменної печі згідно з цим варіантом здійснення, тобто, викиди CO₂ скорочені.

<1. Приклад 1: перевірка у випадку, якщо температура вдування газу, який містить високу концентрацію водню, являє собою температуру від кімнатної температури до 600 °С>

Як описано вище, кореляція між об'ємом газу газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, і відсотковим скороченням ПОДАЧА ΔС питомої витрати вуглецю показує різну поведінку при температурі вдування 600 °С як граничної. Таким чином, в Прикладі 1 виконали перевірку у випадку, якщо температура вдування газу, який містить високу концентрацію водню, становила 600 °С або менше.

<1-1. Модель і умови розрахунку, використані для моделювання>

Як моделювання роботи доменної печі застосовували так звану «Математичну модель доменної печі» з роботи авторів Kouji TAKATANI, Takanobu INADA, Yutaka UJISAWA, «Three-dimensional Dynamic Simulator for Blast Furnace» («Тривимірна динамічна модель для доменної печі»), ISIJ International, томо 39 (1999), № 1, стор. 15-22. В цій математичній моделі доменної печі внутрішню ділянку доменної печі поділяють у напрямку висоти, радіальному напрямку і окружному напрямку для створення численних комірок (малих зон), і моделюють поведінку кожного з комірок.

У математичній моделі доменної печі об'єм газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, задають як кількість газу, який містить високу концентрацію водню, що вдувається з фурми. Для цього об'єм газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, задають як кількість, отриману множенням об'єму газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, на пропорцію газоподібного водню в одиницях мол. %. Температуру газу, який містить високу концентрацію водню, що вдувається настроюють як температуру газу, який містить високу концентрацію водню, коли газ, який містить високу концентрацію водню, вдувають з фурми. Температуру T_f факела розраховують як результат обліку теплоти згоряння різних газів, тепловмісту вдування, температури коксу, що надходить у наконечник фурми (вихідний канал фурми), теплових ефектів різних реакцій, і тому подібних. Падіння тиску розраховують із використанням рівняння Ергуна як падіння тиску на шарі наповнювача всередині печі. Температуру колошникового газу розраховують як температуру газу в найбільш зовнішньому шарі (найбільш верхньому шарі) шихти всередині печі.

Умови розрахунку показані в Таблиці 1. Витрата коксу в Таблиці 1 являє собою кількість коксу, що використовується на тонну розплавленого чавуна. На доповнення, Таблиця 2 показує характеристики базового режиму роботи, в якому газ, який містить високу концентрацію водню,

- не вдувають. Як показано в Таблицях 1 і 2, в цьому прикладі температура T_f факела була налаштована на будь-яку з 2000 °C, 2100 °C або 2200 °C. Крім того, об'єм газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, був заданий від 0 до 600 норм. м³/т. На доповнення, об'єм дуття, коефіцієнт збагачення киснем і об'єм газу РС (порошкоподібного вугілля) були відрегульовані так, що кількість чавуна, що випускається, і температура розплавленого чавуна були постійними у всіх операціях.

Таблиця 1

Умови розрахунку

Кількість чавуна, що випускається	т/день/м ³	Близько 2,7 (постійна)
Температура розплавленого чавуна	°C	від 1535 до 1540
Об'єм дуття	норм.м ³ / хвилину	Регульований
Коефіцієнт збагачення киснем	%	Регульований
Температура на фурмі	°C	2000, 2100, 2200
Об'єм газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню	норм.м ³ /т	від 0 до 600
Температура вдування газу, який містить високу концентрацію водню	°C	від 25 до 600
Витрата коксу	кг/т	300 (постійна)
об'єм газу порошкоподібного вугілля	тонн/годину	Регульований

Таблиця 2

Характеристики базового режиму роботи при температурах на фурмі 2000 °C, 2100 °C і 2200 °C

		2000 °C	2100 °C	2200 °C
Кількість чавуна, що випускається	т/день/м ³	2,74	2,74	2,74
Об'єм дуття	норм.м ³ / хвилину	9440	7800	6300
Коефіцієнт збагачення киснем	%	1,2	4,8	9,2
Об'єм газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню	норм.м ³ /т	0	0	0
Витрата коксу	кг/т	306,6	306,6	306,6
Кількість порошкоподібного вугілля	кг/т	201,4	200,1	200,2
Температура розплавленого чавуна	°C	1537	1536	1536

- На доповнення, всі залізовмісні матеріали являли собою піддані спіканню руди. На доповнення, склад підданих спіканню руд був Fe(загал.): 58,5%, FeO: 7,5%, C/S: 1,9, і Al₂O₃: 1,7%. Крім того, відносно коксу, розглядали випадок, де застосовували склад з C: 87,2%, і зола: 12,6%. На доповнення, всі з вищезгаданих «%» представляють «мас.%».
- <1-2. Приклад 1-1: випадок, де температура вдування газу, який містить високу концентрацію водню, являє собою температуру від кімнатної до 600 °C, і газ, який містить високу концентрацію водню, являє собою чистий газоподібний водень>
- У Прикладі 1-1 кореляція між об'ємом газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, і відсоткового скорочення ПОДАЧА ΔC питомої витрати вуглецю розраховували з використанням газу, який містить високу концентрацію водню, як чистого газоподібного водню, в умовах, що температура вдування газу, який містить високу концентрацію водню, становила 600 °C або менше. Результати показані на Фіг. 2-5.
- Як показано на Фіг. 2-5, було знайдено, що в діапазоні, де температура вдування становить температуру від кімнатної або вище і 600 °C або менше, відсоткове скорочення ПОДАЧА ΔC питомої витрати вуглецю не просто збільшується при підвищенні об'єму газу, але досягає насичення і починає знижуватися, коли об'єм газоподібного повітря збільшується до деякого ступеня. Таким чином, було знайдено, що об'єм газу, коли відсоткове скорочення ПОДАЧА ΔC питомої витрати вуглецю досягає насичення і починає зменшуватися, злегка відрізняється залежно від температури вдування. Тобто, було знайдено, що для кожної температури вдування є належний діапазон об'єму газу. Належний діапазон становив від 200 до 500 норм. м³/т у випадку, якщо температура вдування становила температуру від кімнатної до 300 °C, і становив 145 норм. м³/т або більше, коли температура вдування була більш ніж 300 °C,

і 600 °С або менше. На доповнення, як показано на Фіг. 4 і 5, було знайдено, що відсоткове скорочення ПОДАЧА ДС питомої витрати вуглецю не просто збільшується при підвищенні об'єму газу, але досягає насичення при об'ємі газу близько 600 норм. м³/т, коли температура вдування становить 600 °С, і починає зменшуватися зі збільшенням об'єму газу, при піковому значенні об'єму газу близько 300 норм. м³/т, коли температура вдування становить 350 °С. Крім того, у випадку, якщо температура вдування становить більш ніж 300 °С, і 600 °С або менше, і об'єм газу знаходиться в межах належного діапазону 145 норм. м³/т або більше, можна відрегулювати відсоткове скорочення ПОДАЧА ДС питомої витрати вуглецю на 7% або більше. Крім того, як показано на Фіг. 2-5, також було знайдено, що відсоткове скорочення ПОДАЧА ДС питомої витрати вуглецю відносно того ж об'єму газу варіює залежно від температури T_f факела, і є найбільшим, коли температура T_f факела становить 2000 °С. Обґрунтування того, чому відбувається таке явище, є таким, як описано вище.

Тому вдуванням газу, який містить високу концентрацію водню, в доменну піч згідно зі способом роботи доменної печі відповідно до цього варіанта виконання, відсоткове скорочення ПОДАЧА ДС питомої витрати вуглецю може бути збільшено, і можуть бути значно скорочені викиди CO₂.

<1-3. Приклад 1-2>

У Прикладі 1-2 було підтверджено, що навіть якщо газ, який містить високу концентрацію водню, містить інший газовий компонент, ніж газоподібний водень, можлива така ж робота, як у випадку чистого газоподібного водню. Більш конкретно, газ з 80 мол. % H₂-20 мол. % N₂, що складається з 80 мол. % газоподібного водню і 20 мол. % газоподібного азоту, розглядали як газ, який містить високу концентрацію водню. Тоді моделювання роботи доменної печі виконували таким же чином, як в Прикладі 1, при температурі вдування, налаштованій на 25 °С, і температурі T_f факела, налаштованій на 2100 °С. Результати показані на Фіг. 11. Фіг. 11 показує порівняння між розрахунковим результатом для чистого газоподібного водню (100 мол. % H₂-газу) і результатом розрахунку для газу з 80 мол. % H₂-20 мол. % N₂. На доповнення, горизонтальна вісь в Фіг. 11 представляє значення, отримане перетворенням величини витрати потоку змішаного газу в чистий газоподібний водень, тобто, значення, отримане множенням величини витрати потоку газу з 80 мол. % H₂-20 мол. % N₂, на 80 мол. %. Як зрозуміло з Фіг. 11, було знайдено, що для газу з 80 мол. % H₂-20 мол. % N₂ належний діапазон об'єму газу, перетворений в чистий газоподібний водень, є таким же, як для чистого газоподібного водню, і тільки злегка знижується фактична вартість. Тому було знайдено, що навіть коли газ, який містить високу концентрацію водню, містить інший газовий компонент, ніж газоподібний водень, можлива така ж робота, як у разі чистого газоподібного водню. На доповнення, також було знайдено, що відсоткове скорочення ПОДАЧА ДС питомої витрати вуглецю може бути збільшено, хоча ефект злегка знижується.

<1-4. Приклад 1-3>

У Прикладі 1-3 як газ, який містить високу концентрацію водню, застосовували чистий газоподібний водень при кімнатній температурі, і отримали величину зміни падіння тиску відносно кожного з декількох об'ємів газу (величину зміни падіння тиску відносно базового режиму роботи). Фіг. 12 показує результати. Як зрозуміло з Фіг. 12, було знайдено, що існує певна кореляція між об'ємом чистого газоподібного водню і величиною зміни падіння тиску. Наприклад, було знайдено, що є можливість того, що падіння тиску буде великим відносно базового режиму роботи у випадку, якщо температура T_f факела є низькою. Однак, падіння тиску зменшується, коли об'єм чистого газоподібного водню збільшується. Більш конкретно, у випадку, якщо температура T_f факела становить 2000 °С, і об'єм газу становить від 100 до 150 норм. м³/т, падіння тиску збільшується приблизно на 10-20 кПа, порівняно з базовим режимом роботи. Це значення знаходиться за межами попередньо визначеного діапазону, описаного вище. Однак, коли об'єм газу зростає до 200 норм. м³/т або більше, падіння тиску є майже таким же або меншим, ніж значення для базового режиму роботи. Обґрунтування того, чому відбувається таке явище, є таким, як описано вище. Тому було знайдено, що можна запобігти підвищенню падіння тиску і збільшити одиницю відсоткового скорочення ПОДАЧА ДС питомої витрати вуглецю, в той же час з виконанням стабільної роботи, отриманням кореляції об'єму газу і зміни падіння тиску, яка являє собою кореляцію між об'ємом газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, і величиною зміни падіння тиску відносно базового режиму роботи, коли температура вдування являє собою попередньо визначене значення, завчасно для кожної температури T_f факела, і визначенням об'єму газоподібного водню в газі, який містить високу концентрацію водню, при якому величина витрати вуглецю скорочується порівняно з поточною роботою, і величина зміни падіння тиску являє собою значення в межах попередньо визначеного діапазону, на основі кореляції об'єму газу і параметра витрати

вуглецю і кореляції об'єму газу і зміни падіння тиску.

Тоді було знайдено, що можна пригнічувати підвищення падіння тиску і збільшити відсоткове скорочення ПОДАЧА ΔC питомої витрати вуглецю, в той же час виконуючи стабільну роботу, як показано на Фіг. 12, в умовах, що чистий газоподібний водень при кімнатній температурі використовують як газ, який містить високу концентрацію водню, і об'єм газу становить 200 норм. м³/т або більше, і 500 норм. м³/т або менше. Було знайдено, що, коли об'єм газу зростає до 200 норм. м³/т у разі чистого газоподібного водню при кімнатній температурі або більше, і 300 °C або менше, падіння тиску є майже таким же, як значення в базовому режимі роботи. Подібним чином, було знайдено, що можна запобігти збільшенню падіння тиску і збільшити відсоткове скорочення ПОДАЧА ΔC питомої витрати вуглецю, в той же час з виконанням стабільної роботи у випадку, якщо об'єм чистого газоподібного водню при температурі більш ніж 300 °C і 600 °C або менше становить 145 норм. м³/т або більше, навіть у випадку, якщо об'єм газу чистого газоподібного водню при температурі більш ніж 600 °C і 900 °C або менше становить 125 норм. м³/т або більше, навіть у випадку, якщо об'єм газу чистого газоподібного водню при температурі більш ніж 900 °C і 1200 °C або менш становить 110 норм. м³/т або більше, і навіть у випадку, якщо об'єм газу чистого газоподібного водню при температурі більш ніж 1200 °C становить 100 норм. м³/т або більше.

Тому було знайдено, що можна збільшити відсоткове скорочення ПОДАЧА ΔC питомої витрати вуглецю, в той же час налаштовуючи величину зміни падіння тиску на значення в межах попередньо визначеного діапазону, вдуванням газу, який містить високу концентрацію водню, в доменну піч згідно зі способом роботи доменної печі відповідно до цього варіанта здійснення.

<1-5. Приклад 1-4>

У Прикладі 1-4 чистий газоподібний водень при кімнатній температурі використали як газ, який містить високу концентрацію водню, і отримували величину зміни температури колошникового газу відносно кожного з декількох об'ємів газу (величину зміни температури колошникового газу відносно базового режиму роботи). Фіг. 13 показує результати. Як зрозуміло з Фіг. 13, було знайдено, що існує певна кореляція між об'ємом чистого газоподібного водню і величиною зміни температури колошникового газу. Наприклад, було знайдено, що коли зростає температура T_f факела, температура колошникового газу знижується порівняно з базовим режимом роботи. Більш конкретно, у випадку, якщо температура T_f факела становить 2100 °C, і об'єм газу становить від 250 до 300 норм. м³/т, величина зміни температури колошникового газу являє собою значення поза межами вищепри описаного попередньо визначеного діапазону. Однак, якщо об'єм газу скорочується до 200 норм. м³/т, величина зміни температури колошникового газу стає значенням в межах попередньо визначеного діапазону. Обґрунтування того, чому відбувається таке явище, є таким, як описано вище. Тому у випадку, якщо особливе значення має ефективність роботи або тому подібне, об'єм газу може бути відрегульований з урахуванням кореляції об'єму газу чистого газоподібного водню і величиною зміни температури колошникового газу. Тому було знайдено, що можна запобігти зниженню ефективності роботи отриманням кореляції об'єму чистого газоподібного водню і величини зміни температури колошникового газу, яка являє собою кореляцію між об'ємом чистого газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, і величиною зміни температури колошникового газу відносно базового режиму роботи, коли температура вдування являє собою попередньо визначене значення, завчасно для кожної температури T_f факела, і визначенням об'єму газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, при якому величина витрати вуглецю скорочується порівняно з поточною роботою, і величина зміни температури колошникового газу являє собою значення в межах попередньо визначеного діапазону, на основі кореляції об'єму газу і параметра витрати вуглецю і кореляції об'єму газу і зміни температури колошникового газу.

<2. Приклад 2: перевірка у випадку, якщо температура вдування газу, який містить високу концентрацію водню, становить більш ніж 600 °C>

У Прикладі 2 був перевірений випадок, де температура вдування газу, який містить високу концентрацію водню, є більш високою, ніж 600 °C.

<2-1. Модель і умови розрахунку, використана для моделювання>

У моделюванні роботи доменної печі використовували таку ж «математичну модель доменної печі», як в Прикладі 1. Умови розрахунку показані в Таблиці 3. Як показано в Таблиці 3, умови розрахунку були майже такими ж, як в Прикладі 1, але витрата коксу відрізнялася від величини в Прикладі 1. Тобто, в Прикладі 2 витрата коксу була постійною при 300 кг/т у випадку, якщо об'єм газу порошкоподібного вугілля був більшим, ніж 0 тонн/годину, і витрата коксу змінювалася у випадку, якщо об'єм газу порошкоподібного вугілля становив

0 тонн/годину (тобто, у випадку, якщо кількість порошкоподібного вугілля становила 0). Тобто, у випадку, якщо об'єм газу порошкоподібного вугілля становив 0 тонн/годину, температуру печі регулювали згідно з витратою коксу.

5 Як описано вище, у випадку, якщо підвищується температура вдування газу, який містить високу концентрацію водню, і зростає об'єм газу, об'єм газу порошкоподібного вугілля може становити 0 тонн/годину. У цьому випадку скороченням витрати коксу можна додатково знизити питому витрату вуглецю. На доповнення, об'єм газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, був налаштований на величину від 0 до 1000 норм. м³/т. На доповнення, температура вдування газу, який містить високу концентрацію водню, була налаштована на 10 величину більш ніж 600 °C, і 1400 °C або менше. Крім того, характеристики базового режиму роботи, при якому газ, який містить високу концентрацію водню, не вдували, були такими ж, як в Прикладі 1. Інші умови були такими ж, як в Прикладі 1. Наприклад, об'єм вдування, коефіцієнт збагачення киснем і газовий об'єм РС (порошкоподібного вугілля) були відрегульовані так, що кількість чавуна, що випускається, і температура розплавленого чавуна були постійними у всіх 15 операціях. Залізовмісні матеріали являли собою піддані спіканню руди, використані в Прикладі 1.

Таблиця 3

Умови розрахунку

Кількість чавуна, що випускається	т/день/м ³	Близько 2,7 (постійна)
Температура розплавленого чавуна	°C	від 1535 до 1540
Об'єм дуття	норм.м ³ / хвилину	Регульований
Коефіцієнт збагачення киснем	%	Регульований
Температура на фурмі	°C	2000, 2100, 2200
Об'єм газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню	норм.м ³ /т	від 0 до 1000
Температура вдування газу, який містить високу концентрацію водню	°C	більш ніж 600 і 1400 або менш
Витрата коксу	кг/т	300 (постійна у випадку, якщо об'єм газу порошкоподібного вугілля становить більше 0 тонн/годину)
об'єм газу порошкоподібного вугілля	тонн/годину	Регульований

20 <2-2. Приклад 2-1: випадок, де температура вдування газу, який містить високу концентрацію водню, становить більш ніж 600 °C, і газ, який містить високу концентрацію водню, являє собою чистий газоподібний водень>

У Прикладі 2-1 кореляція обсягу чистого газоподібного водню і відсоткового скорочення ПОДАЧА ДС питомої витрати вуглецю розраховували з використанням газу, який містить високу концентрацію водню, як чистого газоподібного водню. Результати показані на Фіг. 6-10.

25 Як показано на Фіг. 6-10, було знайдено, що відсоткове скорочення ПОДАЧА ДС питомої витрати вуглецю збільшується, коли об'єм чистого газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, зростає від 0 норм. м³/т у базовому режимі роботи. Більше того: коли об'єм чистого газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, збільшується, знижується швидкість збільшення відсоткового скорочення ПОДАЧА ДС питомої витрати 30 вуглецю (величина підвищення відсоткового скорочення ПОДАЧА ДС питомої витрати вуглецю відносно одиниці величини зростання кількості об'єму газу). Однак, відсоткове скорочення ПОДАЧА ДС питомої витрати вуглецю не починає зменшуватися. Ця поведінка явно відрізняється від випадку, де температура вдування газу, який містить високу концентрацію водню, становила 600 °C або менше.

35 На доповнення, діапазон, де відсоткове скорочення ПОДАЧА ДС питомої витрати вуглецю становило 7 % або більше, відрізнявся залежно від температури вдування газу, який містить високу концентрацію водню. Більш конкретно, у випадку, якщо температура вдування була більш ніж 600 °C, і 900 °C або менше, і у випадку, якщо об'єм газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, був в межах діапазону 125 норм. м³/т або більше, відсоткове скорочення ПОДАЧА ДС питомої витрати вуглецю становило 7 % або більше. На доповнення, 40 у випадку, якщо температура вдування була більш ніж 900 °C, і 1200 °C або менше, і у випадку, якщо об'єм газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, був в межах діапазону 110 норм. м³/т або більше, відсоткове скорочення ПОДАЧА ДС питомої витрати

вуглецю становило 7% або більше. У випадку, якщо температура вдування була більш ніж 1200 °С, і у випадку, якщо об'єм газоподібного водню в газі, що має високу концентрацію водню, був у межах діапазону 100 норм. м³/т або більше, відсоткове скорочення ПОДАЧА ΔС питомої витрати вуглецю становило 7 % або більше.

5 <2-3. Інші випробування>

Таке ж випробування, як в Прикладах 1-3 і 1-4, провели при температурі вдування чистого газоподібного водню, налаштованій на 900 °С. У результаті, навіть у випадку, якщо температура вдування чистого газоподібного водню була 900 °С, було підтверджено, що існує певна кореляція між об'ємом газу чистого газоподібного водню і величиною зміни падіння тиску або

10 величиною зміни температури колошникового газу.
Тому можна збільшити відсоткове скорочення ПОДАЧА ΔС питомої витрати вуглецю, в той же час налаштовуючи величину зміни температури колошникового газу на значення в межах попередньо визначеного діапазону вдуванням газу, який містить високу концентрацію водню, в доменну піч відповідно до способу роботи доменної печі згідно з цим варіантом виконання.

15 Хоча вище був детально описаний переважний варіант здійснення цього винаходу з посиланням на супровідні креслення, цей винахід таким прикладом не обмежується. Очевидно, що фахівці, які мають звичайну кваліфікацію в технічній галузі, до якої належить цей винахід, можуть уявити собі різні зміни або варіації в межах галузі технічної ідеї, описаної в пунктах формули винаходу, і, природно, зрозуміти, що вони також належать до технічної галузі цього

20 винаходу.

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

1. Спосіб роботи доменної печі, який включає вдування газу, який містить високу концентрацію водню, що містить 80 мол. % або більше газоподібного водню з фурми на основі параметра питомої витрати вуглецю ПОДАЧА ΔС, який являє собою відсоткове скорочення питомої витрати вуглецю до базового режиму роботи, який являє собою режим роботи, в якому газ, який містить високу концентрацію водню, не вдувають, за умови, за якої температуру вдування газу, який містить високу концентрацію водню, встановлюють як кімнатну температуру або більше і

30 300 °С або менше, і об'єм газу газоподібного водню в газі, який містить високу концентрацію водню, встановлюють 200 норм. м³/т або більше і 500 норм. м³/т або менше.
2. Спосіб роботи доменної печі, який включає вдування газу, який містить високу концентрацію водню, що містить 80 мол. % або більше газоподібного водню з фурми на основі параметра питомої витрати вуглецю ПОДАЧА ΔС, який являє собою відсоткове скорочення питомої

35 витрати вуглецю до базового режиму роботи, який являє собою режим роботи, в якому газ, який містить високу концентрацію водню, не вдувають, за умови, за якої температуру вдування газу, який містить високу концентрацію водню, встановлюють більше ніж 300 і 600 °С або менше, і об'єм газу газоподібного водню в газі, який містить високу концентрацію водню, встановлюють 145 норм. м³/т або більше.

40 3. Спосіб роботи доменної печі, який включає вдування газу, який містить високу концентрацію водню, що містить 80 мол. % або більше газоподібного водню з фурми на основі параметра питомої витрати вуглецю ПОДАЧА ΔС, який являє собою відсоткове скорочення питомої витрати вуглецю до базового режиму роботи, який являє собою режим роботи, в якому газ, який містить високу концентрацію водню, не вдувають, за умови, за якої температуру вдування газу, який містить високу концентрацію водню, встановлюють більше ніж 600 і 900 °С або менше,

45 і об'єм газу газоподібного водню в газі, який містить високу концентрацію водню, встановлюють 125 норм. м³/т або більше.
4. Спосіб роботи доменної печі, який включає вдування газу, який містить високу концентрацію водню, що містить 80 мол. % або більше газоподібного водню з фурми на основі параметра питомої витрати вуглецю ПОДАЧА ΔС, який являє собою відсоткове скорочення питомої

50 витрати вуглецю до базового режиму роботи, який являє собою режим роботи, в якому газ, який містить високу концентрацію водню, не вдувають, за умови, за якої температуру вдування газу, який містить високу концентрацію водню, встановлюють 110 норм. м³/т або більше.

55 5. Спосіб роботи доменної печі, який включає вдування газу, який містить високу концентрацію водню, що містить 80 мол. % або більше газоподібного водню з фурми на основі параметра питомої витрати вуглецю ПОДАЧА ΔС, який являє собою відсоткове скорочення питомої

60 витрати вуглецю до базового режиму роботи, який являє собою режим роботи, в якому газ, який містить високу концентрацію водню, не вдувають, за умови, за якої температуру вдування газу,

17. Спосіб роботи доменної печі за п. 5, за яким у випадку, якщо температуру вдування газу, який містить високу концентрацію водню, встановлюють більше ніж 1200 °С, і об'єм газу газоподібного водню в газі, який містить високу концентрацію водню, встановлюють 400 норм. м³/т або більше, температуру факела встановлюють на 2050 °С або менше.

5 18. Спосіб роботи доменної печі за п. 11, за яким у випадку, якщо температуру вдування газу, який містить високу концентрацію водню, встановлюють більше ніж 1200 і 1400 °С або менше, і об'єм газу газоподібного водню в газі, який містить високу концентрацію водню, встановлюють 400 норм. м³/т або більше, температуру факела встановлюють на 2050 °С або менше.

10 19. Спосіб роботи доменної печі за п. 12, за яким у випадку, якщо температуру вдування газу, який містить високу концентрацію водню, встановлюють більше ніж 600 і 900 °С або менше, і об'єм газу газоподібного водню в газі, який містить високу концентрацію водню, встановлюють 400 норм. м³/т або більше, температуру факела встановлюють на 2050 °С або менше.

15 20. Спосіб роботи доменної печі за п. 13, за яким у випадку, якщо температуру вдування газу, який містить високу концентрацію водню, встановлюють більше ніж 900 і 1200 °С або менше, і об'єм газу газоподібного водню в газі, який містить високу концентрацію водню, встановлюють 400 норм. м³/т або більше, температуру факела встановлюють на 2050 °С або менше.

20 21. Спосіб роботи доменної печі за п. 14, за яким у випадку, якщо температуру вдування газу, який містить високу концентрацію водню, встановлюють більше ніж 1200 °С або менше, і об'єм газу газоподібного водню в газі, який містить високу концентрацію водню, встановлюють 400 норм. м³/т або більше, температуру факела встановлюють на 2050 °С або менше.

25 22. Спосіб роботи доменної печі, який включає вдування газу, який містить високу концентрацію водню, що містить 80 мол. % або більше газоподібного водню з фурми на основі параметра питомої витрати вуглецю ПОДАЧА ΔС, який являє собою відсоткове скорочення питомої витрати вуглецю до базового режиму роботи, який являє собою режим роботи, в якому газ, який містить високу концентрацію водню, не вдувають, за яким:

30 отримують кореляцію об'єму газу і параметра витрати вуглецю, яка являє собою кореляцію між об'ємом газу газоподібного водню в газі, який містить високу концентрацію водню, і параметром витрати вуглецю, що стосується кількості вуглецю, що витрачається, коли температура вдування газу, який містить високу концентрацію водню, що містить 80 мол. % або більше газоподібного водню, являє собою попередньо визначене значення, завчасно для кожної температури факела;

визначають об'єм газу газоподібного водню в газі, який містить високу концентрацію водню, при якому кількість вуглецю, що витрачається, знижується порівняно з кількістю при поточній роботі, на основі кореляції об'єму газу і параметра витрати вуглецю; і

35 вдувають газ, який містить високу концентрацію водню, з фурми в об'ємі газу, визначеному на зазначеному етапі визначення.

23. Спосіб роботи доменної печі за п. 22,

за яким кореляцію об'єму газу і параметра витрати вуглецю отримують для кожної температури вдування.

40 24. Спосіб роботи доменної печі за п. 22 або 23, який додатково включає:

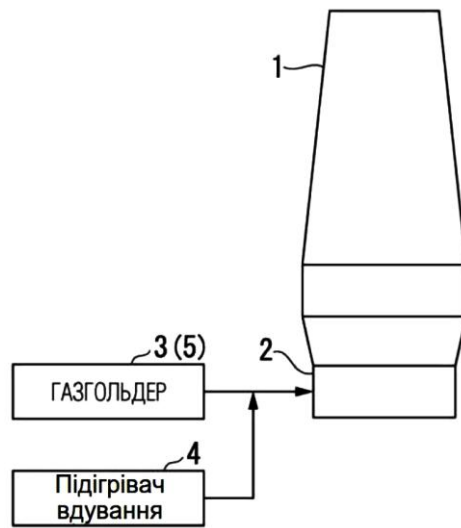
отримання, для кожної температури факела, кореляції об'єму газу і зміни падіння тиску, яка являє собою кореляцію між об'ємом газу газоподібного водню в газі, який містить високу концентрацію водню, і величиною зміни падіння тиску відносно базового режиму роботи, коли температура вдування являє собою попередньо визначене значення, і

45 визначення на основі зазначених кореляції об'єму газу і параметра витрати вуглецю і кореляції об'єму газу і зміни падіння тиску, об'єму газу газоподібного водню в газі, який містить високу концентрацію водню, при якому кількість вуглецю, що витрачається, знижується порівняно зі значенням при поточній роботі, а величина зміни падіння тиску являє собою значення в межах попередньо визначеного діапазону.

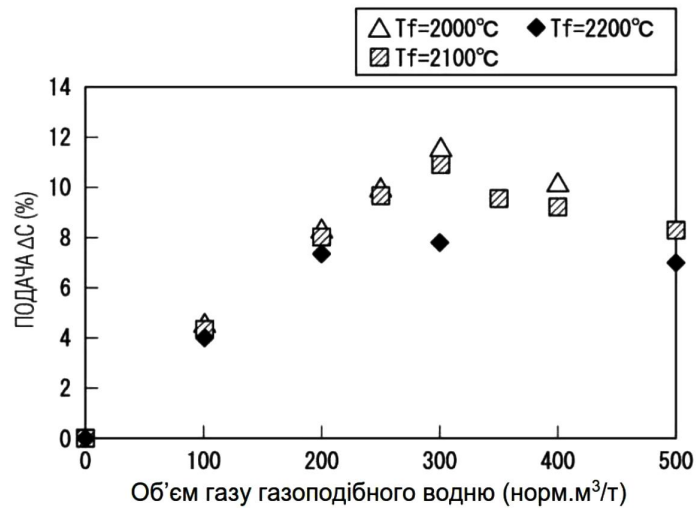
50 25. Спосіб роботи доменної печі за будь-яким із пп. 22-24, який додатково включає:

отримання, для кожної температури факела, кореляції об'єму газу і величини зміни температури колошникового газу, яка являє собою кореляцію між об'ємом газу газоподібного водню в газі, який містить високу концентрацію водню, і величиною зміни температури колошникового газу відносно базового режиму роботи, коли температура вдування являє собою попередньо визначене значення, і

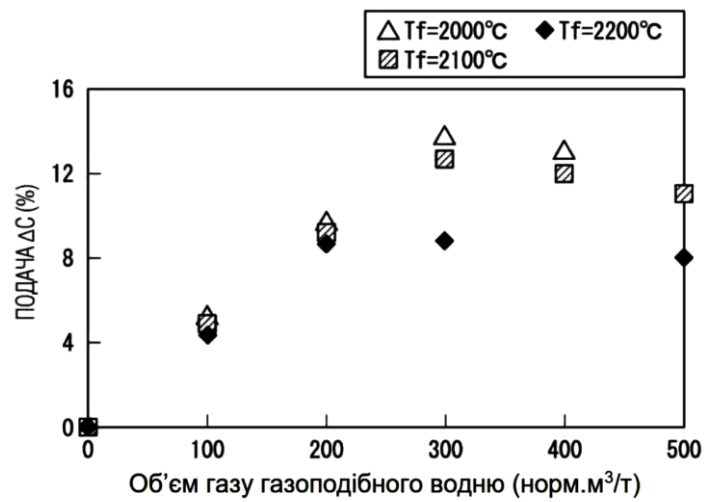
55 визначення на основі зазначених кореляції об'єму газу і параметра витрати вуглецю і кореляції об'єму газу і зміни температури колошникового газу, об'єму газу газоподібного водню в газі, який містить високу концентрацію водню, при якому кількість вуглецю, що витрачається, знижується порівняно зі значенням в поточній роботі, і величина зміни температури колошникового газу являє собою значення в межах попередньо визначеного діапазону.



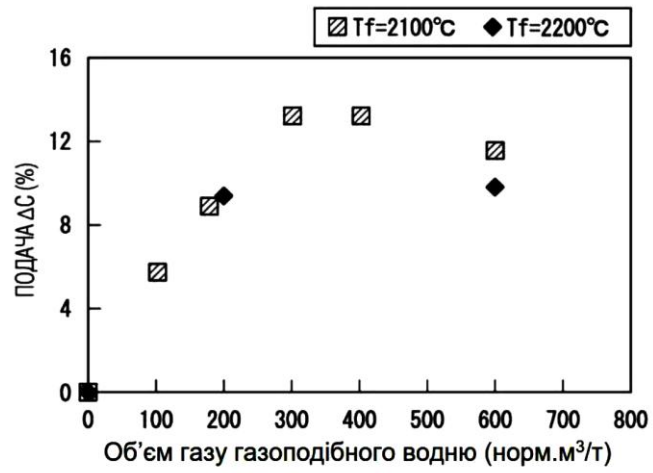
Фіг. 1



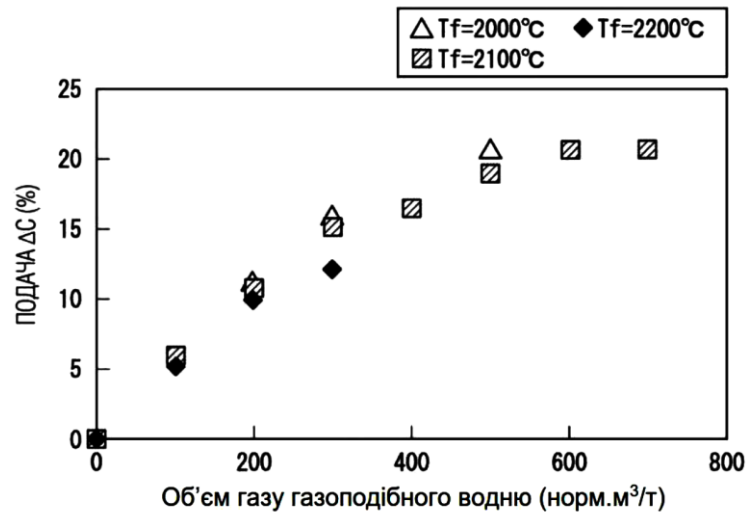
Фіг. 2



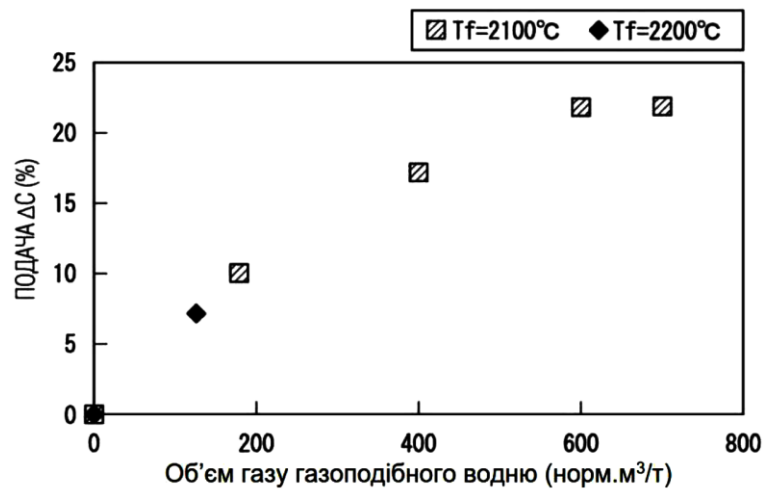
Фіг. 3



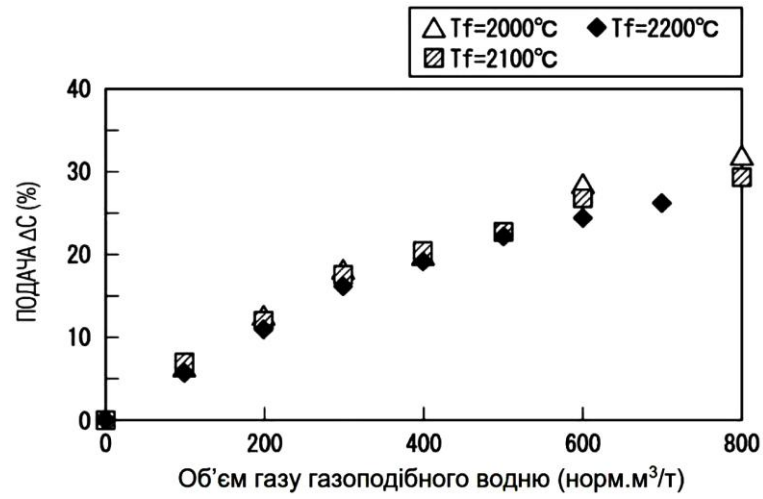
Фіг. 4



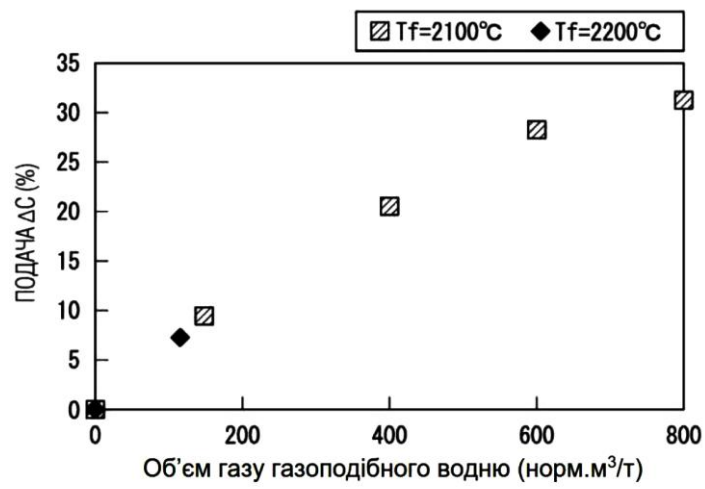
Фіг. 5



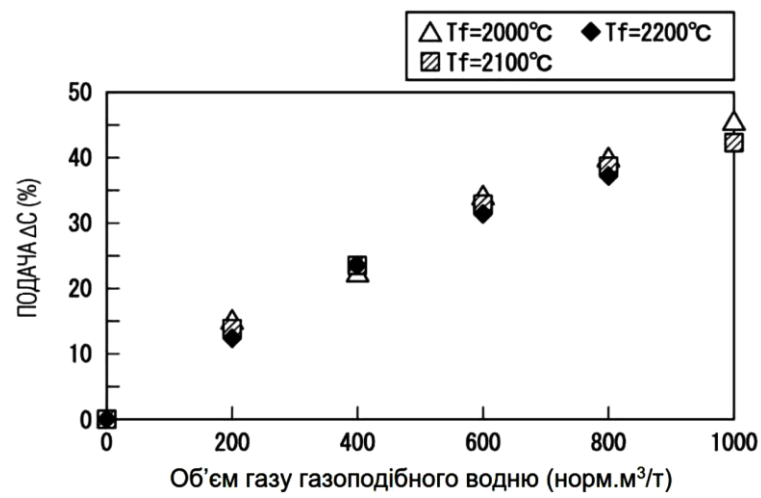
Фіг. 6



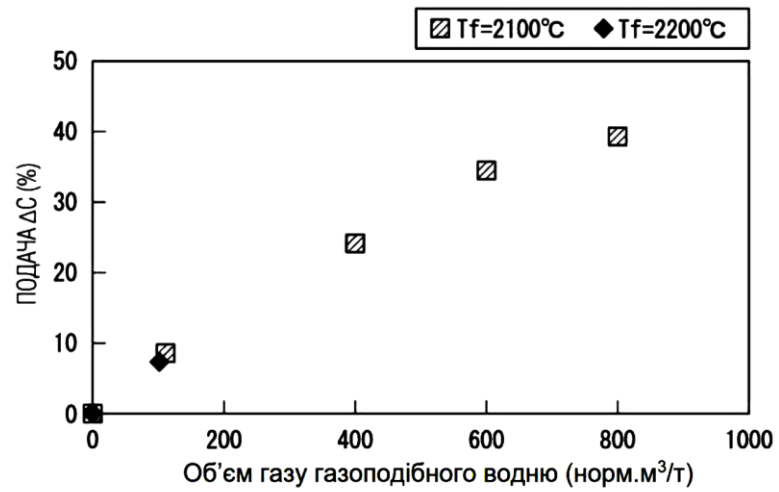
Фіг. 7



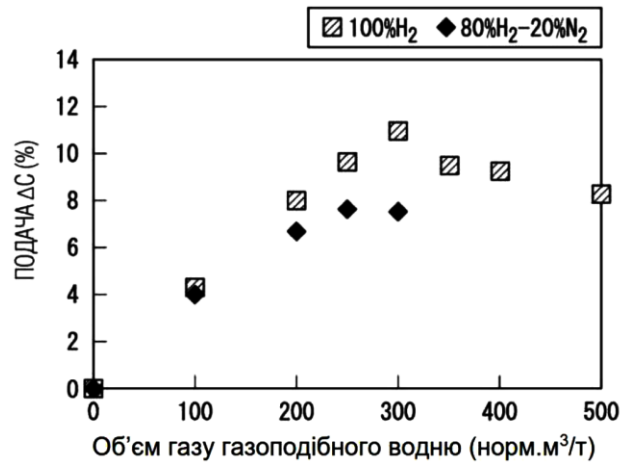
Фіг. 8



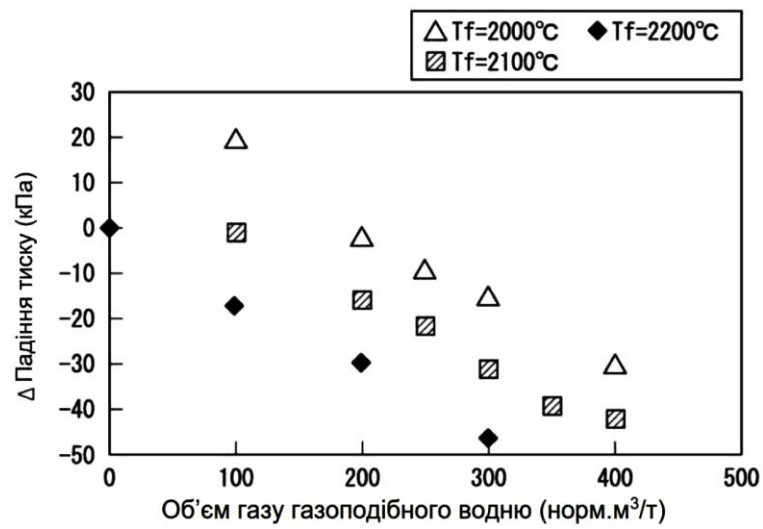
Фіг. 9



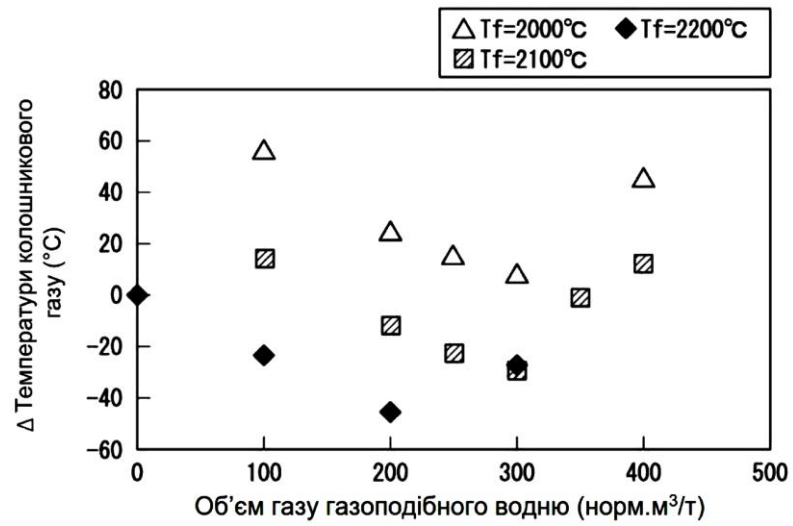
Фіг. 10



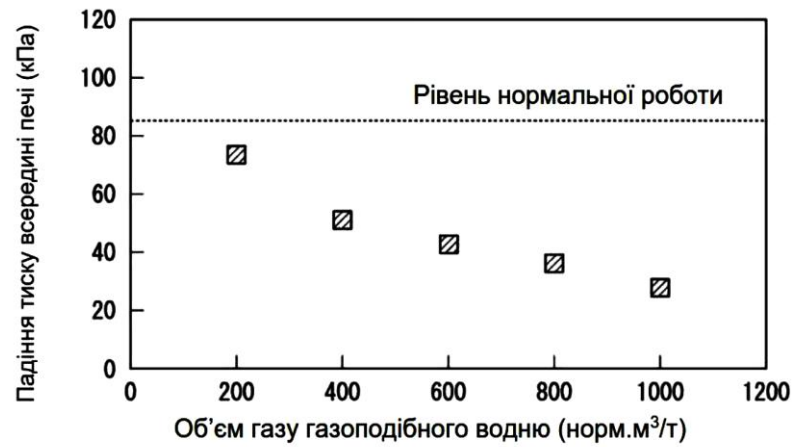
Фіг. 11



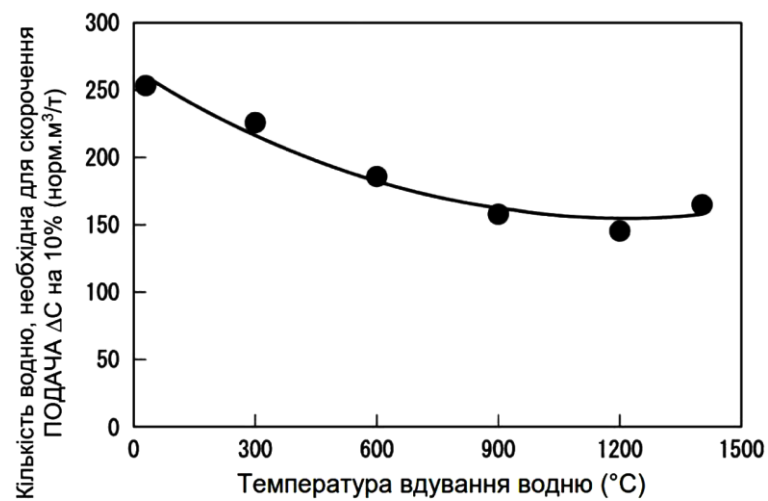
Фіг. 12



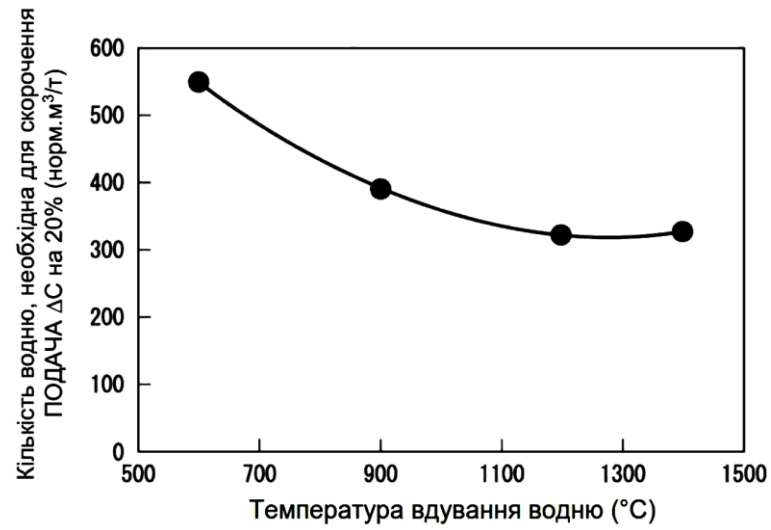
Фиг. 13



Фиг. 14



Фиг. 15



Фиг. 16