



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **115202** (13) **C2**  
(51) МПК (2017.01)  
**C21B 5/00**  
**C21B 5/06** (2006.01)  
**F27D 17/00**

МІНІСТЕРСТВО  
ЕКОНОМІЧНОГО  
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ  
УКРАЇНИ

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД**

|  |  |
|--|--|
| <b>(21)</b> Номер заявки: <b>а 2016 08588</b>  | <b>(72)</b> Винахідник(и):<br><b>Інада Таканобу (JP),</b><br><b>Сакаї Хіросі (JP),</b><br><b>Удзісава Ютака (JP)</b>   |
| <b>(22)</b> Дата подання заявки: <b>06.01.2015</b>   |  |
| <b>(24)</b> Дата, з якої є чинними права на винахід: <b>25.09.2017</b>   |  |
| <b>(31)</b> Номер попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції: <b>2014-000901</b>                                     | <b>(73)</b> Власник(и):<br><b>НІППОН СТІЛ ЕНД СУМІТОМО МЕТАЛ КОРПОРЕЙШН,</b><br>6-1, Marunouchi 2-chome, Chiyoda-ku, Tokyo 1008071, Japan (JP),<br><b>ДЖЕЙЕФІ СТІЛ КОРПОРЕЙШН,</b><br>2-3, Uchisaiwai-cho 2-chome, Chiyoda-ku, Tokyo 1000011, Japan (JP),<br><b>КАБУСІКІ КАЙСЯ КОБЕ СЕЙКО СЕ (КОБЕ СТІЛ, ЛТД.),</b><br>2-4, Wakinhama-Kaigandori 2-chome, Chuo-ku, Kobe-shi, Hyogo, 6518585, Japan (JP),<br><b>НІССІН СТІЛ КО., ЛТД.,</b><br>4-1, Marunouchi 3-chome, Chiyoda-ku, Tokyo 1008366, Japan (JP),<br><b>НІППОН СТІЛ ЕНД СУМІКІН ІНДЖІНІРІНГ КО., ЛТД.,</b><br>5-1, Osaki 1-chome, Shinagawa-ku, Tokyo 1418604, Japan (JP) |
| <b>(32)</b> Дата подання попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції: <b>07.01.2014</b>                               |  |
| <b>(33)</b> Код держави-учасниці Паризької конвенції, до якої подано попередню заявку: <b>JP</b>                               |  |
| <b>(41)</b> Публікація відомостей про заявку: <b>26.12.2016, Бюл.№ 24</b>  |  |
| <b>(46)</b> Публікація відомостей про видачу патенту: <b>25.09.2017, Бюл.№ 18</b>  |  |
| <b>(86)</b> Номер та дата подання міжнародної заявки, поданої відповідно до Договору РСТ: <b>РСТ/JP2015/050185, 06.01.2015</b> | <b>(74)</b> Представник:<br><b>Мошинська Ніна Миколаївна, реєстр. №115</b>   |
|  | <b>(56)</b> Перелік документів, взятих до уваги експертизою:<br>JP 473607 A, 22.02.1972<br>JP 2011225969 A, 10.11.2011<br>JP 2009221547 A, 01.10.2009<br>JP 2013147692 A, 01.08.2013<br>Pettersson Mikael et al. Final evaluation of the ulcos TGR-BF pilot tests performed at the LKAB experimental blast furnace // Technical contribution to the 6th International Congress on the science and technology of ironmaking-ICSTI. - 2012. - P. 960 - 971   |

**UA 115202 C2****(54) СПОСІБ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДОМЕННОЇ ПЕЧІ****(57) Реферат:**

Представлений спосіб експлуатації доменної печі, який забезпечує можливість різкого зниження викидів CO<sub>2</sub>, і стабільного виробництва передільного чавуну протягом тривалого періоду часу з використанням промислової доменної печі. Спосіб експлуатації доменної печі, в якому залізну руду і кокс вводять зверху печі, і в якому вугільний пил нагнітають через

звичайну фурму, причому спосіб експлуатації доменної печі відрізняється тим, що газ, який містить водень і/або вуглеводень, вдувають через звичайну фурму разом з вугільним пилом; і діоксид вуглецю і водяну пару видаляють з газу доменної печі, що відходить з верху печі, і газ, який відходить з верху печі, потім вдувають в піч з фурми в шахтній секції.

## СПОСІБ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДОМЕННОЇ ПЕЧІ

Галузь техніки, до якої належить винахід

[0001] Даний винахід стосується способу експлуатації доменної печі. Зокрема, він стосується способу експлуатації доменної печі відносно (1) вдування газу з високим вмістом водню через звичайну фурму, (2) вдування колошникового газу через звичайну фурму або через фурму, розміщену на середньому рівні печі, і (3) вдування газу з високим вмістом водню і колошникового газу через звичайну фурму в той час, як ступінь збагачення дуттьового газу киснем становить від 10 % до 40 %.

Рівень техніки

[0002] Для отримання чавуну в доменній печі потрібен вуглецевмісний матеріал, такий як кокс, але зниження величини споживання вуглецевмісного матеріалу на тонну чавуну (що нижче називається "витратою відновника") є головною задачею для скорочення виробничих витрат, і вирішити яку намагались в минулому.

[0003] Наприклад, патентний документ (PLT) 1 має на меті скорочення витрат підвищенням, наскільки можливо, величини споживання дрібного вугілля, яке було непридатне для використання в роботі традиційної доменної печі. PLT 1 розкриває спосіб експлуатації доменної печі, що включає вдування газу з концентрацією кисню 40 % або більше з фурми при звичайній температурі, і спосіб включає вдування в піч частини вугільного пилу, що містить велику фракцію вугілля +2 мм в кількості від 5 до 30 %, і що має максимальний розмір зерен 5 мм у вугільному пилі, з фурми або поблизу фурми. Крім того, в PLT 2 регулюється відношення колошникового газу, що вдувається через фурми в шахті доменної печі, і колошникового газу, що вдувається через нижню фурму (фурми), щоб тим самим узгоджувати величину теплового навантаження з кількістю тепла, що підводиться в доменну піч, в оптимальному режимі, і забезпечувати можливість значного поліпшення споживання коксу і ефективності використання завалки порівняно з відомими значеннями. Крім того, PLT 3 представляє спосіб експлуатації доменної печі вдуванням газоподібного палива разом з вугільним пилом з фурми доменної печі, щоб тим самим забезпечувати горючість вугільного пилу і поліпшувати продуктивність і скорочувати вартість палива (синонімічно з витратою відновника). Крім того, PLT 4 має на меті стабільну високопродуктивну роботу доменної печі, і розкриває спосіб експлуатації доменної печі з вдуванням газу з концентрацією кисню від 30 % до менше 100 % через фурми, і вдуванням попередньо нагрітого газу з шахтної частини на середньому рівні доменної печі, щоб тим самим забезпечувати можливість використання великої кількості вугільного пилу.

[0004] Різноманітні технічні новини, такі як роз'яснені вище, дозволили в значній мірі поліпшити ефективність експлуатації і привели до споживання вуглецевмісних матеріалів на тонну чавуну на рівні нижче 500 кг.

[0005] У доповнення до такого скорочення витрати відновника при роботі доменної печі й іншим поліпшенням вартості виробництва, в недавні роки стало широко поширеним прагнення до зниження викидів діоксиду вуглецю ( $\text{CO}_2$ ), одного з парникових газів, що головним чином викликає глобальне потепління. Сталеливарна промисловість, одна з головних індустріальних галузей, яка стосується викидів  $\text{CO}_2$ , повинна була реагувати на такі суспільні запити. Стало невідкладним додаткове скорочення при експлуатації доменної печі, при якій використовуються великі кількості вуглецевмісних матеріалів при виробництві чавуну і сталі. Японська сталеливарна промисловість намітила цілі навмисних дій, щоб знайти рішення відносно зниження викидів  $\text{CO}_2$ , але на це впливав розвиток нових технологій з розрахунком на майбутнє.

[0006] Однак жоден з патентних документів (PTL) 1-4 не ставив своїми основними цілями скорочення викидів  $\text{CO}_2$ . Вони в недостатній мірі виконують функцію фундаментального скорочення кількості  $\text{CO}_2$ , що виділяється. Таким чином, поки це засновується на існуючих способах експлуатації, навіть якщо розглядати з позиції теплового коефіцієнта корисної дії, нинішня ситуація така, що вже не можна знайти додаткові можливості для істотного скорочення споживання вуглецю.

[0007] У зв'язку з такою ситуацією, в Європі була проведена робота з розробки технології, направленої на значне скорочення споживання вуглецю при експлуатації доменної печі. Тобто, в так званому проєкті "ULCOS" був розроблений доменний процес, оснований на печі з кисневим дуттям, що об'єднує способи відділення і утилізації  $\text{CO}_2$ , відділення  $\text{CO}_2$  від колошникового газу, повторне нагрівання його і повторне вдування в піч через фурми, яка віднедавна передбачається на бічній стінці корпусу печі на середньому рівні доменної печі, або через звичайну фурму (непатентний документ NPLT 1).

[0008] ФІГ. 1 показує технологічну блок-схему вищезгаданого доменного процесу ULCOS. Він являє собою технологічну схему, яка вважається найкращою за ефектом скорочення

споживання вуглецю в доменній печі. Ознаками, в найбільшій мірі відмінними від роботи звичайної доменної печі, є (1) той момент, що не використовується гаряче повітря для дуття через звичайну фурму, але вдуваються кисень і вугільний пил при кімнатній температурі, (2) вдування колошникового газу в доменну піч після відділення  $\text{CO}_2$  з всього колошникового газу для створення "замкнутої рециркуляції газу", і (3) нагрівання рециркульованого газу з колошникового газу до високої температури під час, коли його вдувають через звичайну фурму. Крім того, в ході доменного процесу згідно з ФІГ. 1 ступінь посереднього відновлення руди становить більше 89,7 %. 28 %-ний ступінь скорочення вуглецю досягається для 289 кг/тонну чавуну (tHM) кількості вуглецю (C), завантаженого на тонну чавуну (1 tHM) під час нормальної роботи. Крім того,  $\text{CO}_2$  відділяється від колошникового газу способом вакуумної адсорбції при змінному тиску. Символ "vol" ("об'єм") на ФІГ. 1 показує кількість газу при стандартних умовах.

[0009] Ці ознаки створюють серйозні ризики, коли застосовуються для промислових доменних печей. Тобто, вищезазначений пункт (1) вимагає, щоб велика кількість вугільного пилу вводилася для підтримання температури в зоні горіння перед фурмою при належному значенні. Згідно зі звітом по проекту ULCOS, питома витрата вугільного пилу (витрата вугільного пилу на тонну чавуну) досягала 300 кг/тонну чавуну, і внаслідок цього кількість коксу знижувалася до 200 кг/тонну чавуну і менше. При сучасному рівні техніки експлуатації доменної печі, яка, як правило, має тільки 270 кг/тонну чавуну або більше питомої витрати коксу, неможливо легко створити стабільний експлуатаційний режим. У доповнення, оскільки кисень вдувається при кімнатній температурі, з дуттьовим газом не вноситься ніякий тепловміст. Тому, навіть якщо виникає неполадка в роботі, що приводить до охолодження печі, внутрішня частина печі не може бути швидко нагріта, і важко відновити роботу. Крім того, експлуатація в режимі "замкнутої рециркуляції газу" створює небезпеку рециркуляції слідових елементів, що містяться в газовій фазі, (наприклад вмісної сірки і т.д.) і концентрування їх в доменному процесі. Виникає питання, чи може підтримуватися стабільна експлуатація протягом тривалого періоду часу.

[0010] Таким чином, доменний процес, який проводиться за проектом ULCOS, було б важко застосувати в промисловій доменній печі, в якій виробництво чавуну повинне стабільно продовжуватися протягом тривалого періоду часу, навіть якщо виконання його було можливим на короткий час при проведенні випробування.

[0011] З іншого боку, існує спосіб зниження споживання вуглецю шляхом передачі водню відновної функції, яка являє собою одну з дій вуглецю при роботі доменної печі. Тобто, він являє собою технологічний режим з вдуванням в доменну піч природного газу або коксового газу (який нижче називається "COG"), або іншого відновного газу, що містить водень. Є велика кількість винаходів, які стосуються такого способу експлуатації, але, зокрема, був представлений спосіб перетворення газової суміші з  $\text{CO}_2$  і CO, відділеної від колошникового газу, в метан ( $\text{CH}_4$ ), і знову вдування перетвореного газу в доменну піч з метою скорочення викидів  $\text{CO}_2$  з доменної печі (PLT 5).

[0012] Цим способом відділяють і утилізують  $\text{CO}_2$  (і/або CO) з колошникового газу, додають до нього  $\text{H}_2$  для перетворення його в  $\text{CH}_4$ , потім знову вдувають в доменну піч, але існують такі проблеми, як нова потреба в обладнанні для перетворення в  $\text{CH}_4$ , і та обставина, що якщо просто вдувається  $\text{CH}_4$ , споживання вуглецю в доменній печі не може бути в достатній мірі знижене. Не можна сказати, що роз'яснені спочатку суспільні запити відносно скорочення викидів  $\text{CO}_2$  можуть бути в достатній мірі задоволені.

Список цитованої літератури

Патентна

Джерела інформації:

[0013] PLT 1. Японська Патентна Публікація № H05-86444B2

PLT 2. Японська Патентна Публікація № S52-32323B2

PLT 3. Японська Патентна Публікація № H05-17932A

PLT 4. Японська Патентна Публікація № S63-57704A

PLT 5. Японська Патентна Публікація № 2011-225969A

Непатентна

Джерела інформації:

[0014] NLPT 1. "Final Evaluation of the Ulcoss TGR-BF Pilot Tests Performed at the LKAB Experimental Blast", Pettrsson Mikael, Silkstrom Peter, Eklund Nicklas, Proceedings of 6<sup>th</sup> ICSTI (2012), стор. 960.

Суть винаходу  
Технічна задача

[0015] Істотне скорочення споживання вуглецю в доменній печі є важливим в межах існуючої технології експлуатації. Крім того, стало насущною задачею створення способу експлуатації доменної печі, при якому вона може бути швидко повторно запущена, навіть якщо виникає неполадка, зумовлена охолодженням печі, і який забезпечує можливість стабільного виробництва чавуну без ризику рециркуляції слідових елементів і накопичення їх в доменному процесі. Мета даного винаходу полягає в створенні способу експлуатації доменної печі, здатного значно скоротити викиди  $\text{CO}_2$  і забезпечувати стабільне виробництво чавуну протягом тривалого періоду часу в промисловій доменній печі.

Рішення задачі

[0016] Автори даного винаходу і т. д. виявили, що вдуванням  $\text{CH}_4$ -вмісного газу з високим вмістом водню через звичайну фурму, вдуванням колошникового газу, з якого були видалені оксидні компоненти і  $\text{H}_2\text{O}$ , через фурму, розміщену на середньому рівні печі (яка нижче називається "шахтною фурмою"), і вдуванням  $\text{CH}_4$ -вмісного газу з високим вмістом водню і колошникового газу, з якого були видалені оксидні компоненти і  $\text{H}_2\text{O}$ , через звичайну фурму з проведенням збагачення дуття киснем через звичайну фурму від 10 % до 40 %, можна значно скоротити викиди  $\text{CO}_2$  і стабільно експлуатувати доменну піч протягом тривалого періоду часу. Крім того, "звичайна фурма" являє собою фурму на нижньому рівні печі на стороні нижче шахтної фурми для вдування в доменну піч вугільного пилу або іншого допоміжного палива разом з гарячим повітрям.

[0017] Даний винахід був виконаний на основі цього виявленого факту для рішення вищезгаданої задачі, і його суть полягає в наступному:

[0018] (1) Спосіб експлуатації доменної печі, в якому залізну руду і кокс завантажують через верх печі, і вугільний пил вдувають через звичайну фурму,

що включає

вдування дуття, що містить щонайменше одне з водню і вуглеводню, через звичайну фурму разом з вугільним пилом, і

вдування в доменну піч газу, що включає колошниковий газ доменної печі, з якого видалені діоксид вуглецю і пару, через шахтну фурму.

(2) Спосіб експлуатації доменної печі згідно з пунктом (1), що додатково включає вдування в доменну піч дуття, що складається з колошникового газу доменної печі, з якого видалені діоксид вуглецю і пара, через звичайну фурму.

(3) Спосіб експлуатації доменної печі згідно з пунктом (1) або (2), в якому дуття через звичайну фурму збагачене киснем внаслідок збагачення киснем не менше ніж на 10 %, і не більше ніж на  $Y\%$ , що показується в наступній формулі:

$Y = 0,079 \times \text{CH}_4 + 32$ , де  $\text{CH}_4$  означає кількість метану в об. % в газі, що вдувається через звичайну фурму.

(4) Спосіб експлуатації доменної печі згідно з будь-яким з пунктів (1)-(3), в якому витрата газу, що містить щонайменше одне з водню і вуглеводню, становить 30 норм.м<sup>3</sup>/тонну чавуну або більше.

(5) Спосіб експлуатації доменної печі згідно з будь-яким з пунктів (1)-(4), в якому колошниковий газ, що вдувається з шахтної фурми, вдувається з шахтної фурми і при витраті 400 норм.м<sup>3</sup>/тонну чавуну або менше, при температурі від 600 °C до 1000 °C.

(6) Спосіб експлуатації доменної печі згідно з будь-яким з пунктів (1)-(5), в якому витрата колошникового газу, що вдувається з шахтної фурми, становить 100 норм.м<sup>3</sup>/тонну чавуну або більше.

(7) Спосіб експлуатації доменної печі згідно з будь-яким з пунктів (1)-(6), в якому газ, що містить щонайменше одне з водню і вуглеводню, що вдувається через звичайну фурму, містить метан.

(8) Спосіб експлуатації доменної печі згідно з пунктом (7), в якому газ, який містить метан, включає щонайменше одне з коксового газу і природного газу.

Переважні результати винаходу

[0019] Представлений спосіб експлуатації доменної печі для значного скорочення викидів  $\text{CO}_2$  і для стабільного виробництва чавуну протягом тривалого періоду часу в промисловій доменній печі.

Короткий опис креслень

[0020] ФІГ. 1 представляє вигляд, що показує технологічну блок-схему доменного процесу ULCOS.

ФІГ. 2 представляє вигляд, що показує взаємозалежність між витратою газу, що вдувається через звичайну фурму (COG і природного газу) (норм.м<sup>3</sup>/тонну чавуну) і споживанням вуглецю (кг/тонну чавуну).

ФІГ. 3 представляє вигляд, що показує коротко процес (Умова А+Умова В).

5 ФІГ. 4 представляє вигляд, що показує зміну споживання вуглецю (кг/тонну чавуну), пов'язану з вдуванням рециркульованого газу з шахтної фурми під час того, як споживання COG, що вдувається через звичайну фурму, доводиться до 95 (норм.м<sup>3</sup>/тонну чавуну) в процесі (Умова А+Умова В).

10 ФІГ. 5 представляє вигляд, що показує споживання вуглецю (кг/тонну чавуну) під час додаткового вдування будь-якого одного з вугільного пилу, COG або природного газу через звичайну фурму в доменну піч, яка працює в стандартному режимі без Умови В, і споживання вуглецю (кг/тонну чавуну) під час додаткового вдування будь-якого одного з вугільного пилу, COG або природного газу через звичайну фурму в процесі (Умова А+Умова В).

ФІГ. 6 представляє вигляд, що показує узагальнення процесу (Умова А+Умова В+Умова С).

15 ФІГУРИ 7 представляють вигляди, що показують взаємозалежність між параметрами роботи доменної печі у випадку регулювання споживання COG, що вдувається через звичайну фурму, на значення 95 (норм.м<sup>3</sup>/тонну чавуну) в процесі (Умова А+Умова В+Умова С). ФІГ. 7А показує взаємозв'язок між ступенем збагачення киснем і споживанням вуглецю (кг/тонну чавуну). ФІГ. 7В показує взаємозв'язок між ступенем збагачення киснем і питомою витратою коксу (кг/тонну чавуну) і взаємозв'язок між ступенем збагачення киснем (%) і кількістю дуття рециркульованого газу через звичайну фурму (норм.м<sup>3</sup>/тонну чавуну). ФІГ. 7С показує взаємозв'язок між ступенем збагачення киснем і кількістю рециркульованого газу з колошникового газу (%).

20 ФІГУРИ 8 представляють вигляди, що показують взаємозалежність між параметрами роботи доменної печі у випадку регулювання споживання природного газу, що вдувається через звичайну фурму, на значення 95 (норм.м<sup>3</sup>/тонну чавуну) в процесі (Умова А+ Умова В+Умова С). ФІГ. 8А показує взаємозв'язок між ступенем збагачення киснем і споживанням вуглецю (кг/тонну чавуну). ФІГ. 8В показує взаємозв'язок між ступенем збагачення киснем і кількістю коксу (кг/тонну чавуну) і взаємозв'язок між ступенем збагачення киснем (%) і кількістю дуття рециркульованого газу через звичайну фурму (норм.м<sup>3</sup>/тонну чавуну). ФІГ. 8С показує взаємозв'язок між ступенем збагачення киснем і кількістю рециркульованого газу з колошникового газу (%).

25 ФІГ. 9 представляє графік, що показує взаємозалежність між кількістю COG і споживанням вуглецю у випадку зміни кількості дуття COG, що вдувається через звичайну фурму, додаткового вдування колошникового газу через звичайну фурму без нагрівання колошникового газу в процесі "Умова С", і підвищення ступеню збагачення киснем дуття через звичайну фурму в процесі (Умова А+Умова В).

30 ФІГ. 10 представляє графік, що показує взаємозалежність між кількістю природного газу і споживанням вуглецю у випадку зміни кількості природного газу, що вдувається через звичайну фурму, додаткового вдування колошникового газу через звичайну фурму без нагрівання колошникового газу в процесі "Умова С", і підвищення ступеню збагачення киснем дуття через звичайну фурму в процесі (Умова А+Умова В).

Опис варіантів здійснення винаходу

45 [0021] Щоб скоротити викиди CO<sub>2</sub> в процесі виробництва чавуну, необхідно зменшити величину завантаження вуглецю, необхідного для виробництва чавуну в доменній печі. Як роз'яснювалося вище, головна роль вуглецю в доменній печі полягає в підведенні тепла для відновлення і розплавлення залізної руди (нижче "залізна руда" використовується як загальний термін для агломерату руди, котунів, отриманих окомпонуванням залізної руди, або інших матеріалів з джерел руди). У даному винаході споживання вуглецю скорочується заміною вуглецевого відновника воднем для частини відновлення.

50 [0022] Однак при експлуатації доменної печі, яка відновлює і розплавляє залізну руду у високотемпературній зоні печі, яка самостійно формується тільки завалкою сировинних матеріалів зверху і виконанням дуття через звичайну фурму простим вдуванням газу, що має високий вміст водню через звичайну фурму, нелегко підтримувати стабільне виробництво чавуну. Додатково, важео досягти фундаментального скорочення споживання вуглецю.

55 [0023] Тому автори даного винаходу зосередили увагу на додаванні наступних приватних технологій в існуючу технологію експлуатації доменної печі, щоб подолати вищезгадані проблеми. Тобто, вони зосередили увагу на наступних умовах від (А) до (С):

(А) Вдування газу, що містить щонайменше одне з водню або вуглецю, через звичайну фурму.

По швидкості відновлення руди газом газоподібний  $H_2$  перевершує навіть газоподібний  $CO$ . Газ, що містить щонайменше один з  $CH_4$  або інших вуглеводнів, які містять велику кількість водню, і водень, вдувають в доменну піч так багато, наскільки можливо.

(В) Нагрівання колошникового газу, з якого були видалені  $CO_2$  й інші оксидні компоненти і пара ( $H_2O$ ), і вдування його з шахтної фурми.

Колошниковий газ, в якому висока частка газу, що має відновну здатність, отримують видаленням оксидних компонентів і пари з колошникового газу, і отриманий колошниковий газ використовують повторно. Нагріванням отриманого колошникового газу до належної температури і знову вдуванням його з шахтної фурми всередину доменної печі (що нижче називається "рециркуляцією колошникового газу"), можна підвищити ступінь утилізації пічного відновного газу.

Крім того,

(С) вдування колошникового газу через звичайну фурму без нагрівання колошникового газу і підвищення ступеню збагачення киснем дуття через звичайну фурму.

[0024] При вдуванні колошникового газу через звичайну фурму важливо підтримувати теоретичну температуру газу, генерованого внаслідок згоряння в зоні горіння перед фурмою (що нижче називається просто "температурою полум'я") в належному діапазоні. З цих міркувань переважно не нагрівають колошниковий газ і створюють ступінь збагачення киснем дуття через звичайну фурму на рівні від 10 % до 40 %. Внаслідок цього можна підтримувати температуру полум'я в межах належного діапазону, в той же час підвищуючи вміст відновного газу як компонента пічного газу. Крім того, вже більше не потрібно підвищувати кількість вугільного пилу, що нагнітається, для коректування температури полум'я, і можна уникнути екстремального падіння питомої витрати коксу.

[0025] Потрібно зазначити, що значення  $X$  ступеню збагачення киснем (%) показує концентрацію кисню, збагаченого відносно нормального дуття. Наприклад, величина концентрації кисню, збагаченого відносно звичайного дуття (повітря (концентрація кисню приблизно 21 %)) виражається наступною формулою:

$$X(\%) = (0,21 \times V_b / 60 + V_o / 60) / (V_b + V_o / 60) \times 100 - 21,$$

де  $V_o$ : величина витрати потоку кисню (норм.м<sup>3</sup>/година)

$V_b$ : загальна витрата через звичайну фурму, включаючи величину витрати потоку колошникового газу (норм.м<sup>3</sup>/хв)

Тут продуктивність доменної печі напряму залежить від кількості кисню, що вдувається в доменну піч (що називається "кількістю кисню, що вдувається"). Коли проводять підвищення ступеню збагачення киснем в таких умовах, що продуктивність зберігається постійною, то щоб зробити кількість кисню, що вдувається, постійною, загальною практикою є коректування кількості дуття на пониження.

[0026] Крім того, верхня межа значення ступеню збагачення киснем обмежується присутністю або відсутністю ерозії фурми, і також змінюється згідно складу газу, що вдувається. Тобто, склад газу, що вдувається, зумовлює зміну верхньої межі ( $Y\%$ ) ступеню збагачення киснем, що приводить до ерозії фурми внаслідок підвищення температури, на іншій. Та обставина, що це, як правило, пропорційно вмісту  $CH_4$  відносно складу газу охолоджувального середовища в газі, і що ця взаємозалежність виражається наступною формулою, було підтверджене авторами даного винаходу і т. д.

$$Y = 0,079 \times CH_4 + 32,$$

де,  $Y$ : верхня межа ступеню збагачення киснем (%)

$CH_4$  в формулі: кількість метану в об. %, що міститься у газі, що вдувається

Крім того, якщо ступінь збагачення киснем робиться надмірним, не тільки стає вірогідною можливість виникнення ерозії фурми, але також фокус горіння на траєкторії надмірно зміщується у бік стінки, викликаючи недостатню передачу тепла на стовп шихти або збільшення втрати тепла біля бічної стінки, і ефект завантаженого матеріалу також стає нестабільним. Дотриманням вищезгаданих умов можна досягати мети даного винаходу.

Приклади

[0027] Далі будуть роз'яснені приклади даного винаходу, але даний винахід ними не обмежується.

[0028] Експлуатація доменної печі була змодельована на основі числового аналізу доменної печі для вивчення ефектів даного винаходу. Для такого моделювання, наприклад, використовували так звану "математичну модель доменної печі", показану авторами K. Takatani, T. Inada, і Y. Ujisawa в ISIJ International, том 39, (1999), стор. 15 і наступ.

[0029] Приклад 1

У Прикладі 1, по-перше, автори даного винаходу детально досліджували вищезгадану Умову А "вдування газу, що містить щонайменше один з водню і вуглеводню, через звичайну фурму".

[0030] Таблиця 1 показує стандартні параметри під час роботи доменної печі (об'єм печі 5300 м<sup>3</sup>), в яку нагнітають вугільний пил через звичайну фурму. Розглядається експлуатація вдуванням СН<sub>4</sub>-вмісного газу з високим вмістом водню. Якщо температуру СН<sub>4</sub> підвищують до 800 °С або більше, він розкладається під дією тепла, внаслідок чого утворюється газоподібний водень, і газоподібний водень діє як відновник, так що виходить ефект зниження споживання вуглецю.

[0031] СН<sub>4</sub>-вмісний газ містить не тільки водень, але також велику кількість водню в стані СН<sub>4</sub> або інших вуглеводнів, так що можна забезпечити його дію як відновний матеріал. У цей час концентрація СН<sub>4</sub> переважно становить 25 % або більше. Обґрунтування цього полягає в тому, що якщо концентрація СН<sub>4</sub> становить менше 25 %, то навіть якщо підвищується ступінь збагачення киснем, горіння в зоні згорання перед фурмою приводить до скорочення можливостей коректування температури полум'я, і вплив Умов (В) і (С) на підвищення ступеню утилізації пічного відновного газу стає незадовільним.

[0032] Як СН<sub>4</sub>-вмісний газ може бути використаний COG з високим вмістом водню, природний газ з високим вмістом СН<sub>4</sub>, або побутовий газ, або сланцевий газ і синтетичний газ, що містить будь-яку частку його, й інші існуючі гази, що містять СН<sub>4</sub>. Склад COG змінюється залежно від умов обробки відхідного газу і умов експлуатації коксової печі, і відрізняється на кожному сталеплавильному заводі. Діапазон складу, як правило, становить СН<sub>4</sub>: від 25 до 38 %, і Н<sub>2</sub>: від 47 до 59 %.

[0033]

Таблиця 1

|                                 |                     |                           |                              |
|---------------------------------|---------------------|---------------------------|------------------------------|
| Продуктивність*                 | 11350 тонн/день     | Об'єм дуття               | 7650 норм.м <sup>3</sup> /хв |
| Температура чавуну*             | 1520 °С             | Температура дуття*        | 1200 °С                      |
| Питома витрата коксу            | 340 кг/тонна чавуну | Ступінь збагачення киснем | 3,40 %                       |
| Питома витрата вугільного пилу* | 146 кг/тонна чавуну | Вологість дуття           | 25 г/норм.м <sup>3</sup>     |
| Питома витрата відновника       | 486 кг/тонна чавуну | Температура полум'я*      | 2155 °С                      |
| Споживання вуглецю              | 419 кг/тонна чавуну |                           |                              |

(відмічені «\*» характеристики розглядаються як фіксовані значення в подальшому моделюванні експлуатації)

[0034] У цьому відношенні для відновлення і розплавлення залізної руди внутрішню частину доменної печі підтримують при високій температурі у відновній атмосфері. Якщо в неї вдувають COG, або природний газ, або інший СН<sub>4</sub>-вмісний газ, вуглеводні, які містяться, піддаються піролізу під дією тепла, і утворюється пилоподібна сажа. Існує небезпека забивання сажею порожнин між частинками грудкуватого коксу як заповнювального матеріалу й інших джерел вуглецю, і сплавлення грудок руди, і тому зниження газопроникності всередині печі. Тому переважно вдувати вищезазначені гази тільки в зону, де в доменній печі формується окислювальна атмосфера, тобто, зону горіння перед звичайною фурмою. Таким чином, бажано вдувати COG, або природний газ, або інший СН<sub>4</sub>-вмісний газ, через звичайну фурму нарівні з гарячим газом або вугільним пилом.

[0035] Склад COG або природного газу дещо розрізняється залежно від вихідного матеріалу вугілля або від виробничої ділянки, але при моделюванні експлуатації використовуються величини вмісту, показані в Таблиці 2-1 і Таблиці 2-2 як типові значення. Крім того, експлуатаційні параметри були прогнозовані розрахунком з використанням методу, що передбачає постійну питому витрату вугільного пилу, і коректування питомої витрати коксу і кількості дуття так, щоб отримати продуктивність і температури чавуну, показані в Таблиці 1. Крім того, це ґрунтується на допущенні, що температура полум'я, яка розглядається як важлива з практичного досвіду при проектуванні умов експлуатації, підтримується постійним регулюванням ступеню збагачення киснем.

[0036]



Таблиця 2-1

|                            | CH <sub>4</sub> (об. %) | H <sub>2</sub> (об. %) | CO (об. %) | N <sub>2</sub> (об. %) |
|----------------------------|-------------------------|------------------------|------------|------------------------|
| Склад коксового газу (COG) | 37                      | 48                     | 12         | 3                      |
| Склад природного газу      | 100                     | 0                      | 0          | 0                      |

Таблиця 2-2

|                       | Вуглець (ваг%) | Водень (ваг%) |
|-----------------------|----------------|---------------|
| Склад вугільного пилу | 82             | 4             |

[0037] Взаємозв'язок між витратою газу (COG або природного газу), що вдувається через звичайну фурму (норм.м<sup>3</sup>/тонну чавуну), і споживанням вуглецю (кг/тонну чавуну) була отримана моделюванням експлуатації доменної печі в умовах згідно з Таблицею 2-1 і Таблицею 2-2. Це співвідношення показане в ФІГ. 2. Тут споживання вуглецю (кг/тонну чавуну) означає величину питомої витрати вуглецю, тобто, кількість вуглецю, завантаженого або що вдувається у вигляді коксу, вугільного пилу, COG або природного газу, на тонну чавуну. Воно являє собою кількість, безпосередньо пов'язану з викидами CO<sub>2</sub>, супроводжуваними виробництвом чавуну. Згідно з цією фігурою, буде зрозуміло, що споживання вуглецю знижується відповідно до підвищення споживання COG або споживання природного газу. Це зумовлюється тим, що водень, який міститься у великій кількості в COG або в природному газі, сприяє відновленню залізної руди, і не допускається збільшення необхідної кількості вуглецю.

[0038] Крім того, в Прикладі 1 автори даного винаходу детально досліджували експлуатацію доменної печі, що включає вищезгадану Умову А, і, крім того, вищезгадана Умова В "нагрівання колошникового газу, з якого були видалені оксидні компоненти і пара, і вдування його з шахтної фурми".

[0039] ФІГ. 3 показує коротко процес (Умова А+Умова В). Основними компонентами колошникового газу, що випускається з верху доменної печі, є CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> і H<sub>2</sub>O (пара), але пару видаляють охолодженням в існуючому процесі обробки для очищення відпрацьованого газу. З іншого боку, CO<sub>2</sub> залишається в колошниковому газі, але якщо його видаляють, відновна здатність колошникового газу відносно руди в значній мірі поновлюється. Технологія відділення і утилізації CO<sub>2</sub> з газу вже була розроблена, так що достатнім є впровадження існуючої технології для відділення і видалення CO<sub>2</sub> в систему роботи доменної печі, щоб тим самим виконувати процес (Умова А+Умова В).

[0040] Також можна нагнітати високотемпературний газ з високим вмістом водню з шахтної фурми, в доповнення до колошниковому газу, з якого були видалені оксидні компоненти і H<sub>2</sub>O. COG є легкодоступним на сталеплавильних заводах, так що переважне застосування COG. Однак, якщо з шахтної фурми вдувають CH<sub>4</sub>, запобігаються сажеві відкладення і придушується відновлення залізної руди, так що переважним є вдування COG, в якому було модифіковано вміст CH<sub>4</sub>, і т. д. Склад модифікованого COG являє собою, наприклад, H<sub>2</sub>: 68 %, CH<sub>4</sub>: 5 %, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>: 1 %, CO: 17 %, N<sub>2</sub>: 2 %, і H<sub>2</sub>O: 7 %. Для забезпечення відновної здатності колошникового газу, що нагнітається з шахтної фурми, температуру газу переважно підтримують на рівні 750 °C або більше. Крім того, щоб підвищити частку компонента, що має відновну здатність, переважно нагнітати модифікований COG після видалення вологи.

[0041] Для дослідження переважного ефекту процесу (Умова А+Умова В) автори даного винаходу провели модельне прогнозування дії колошникового газу, що вдувається після видалення CO<sub>2</sub> і H<sub>2</sub>O з шахтної фурми в умовах нагнітання вугільного пилу через звичайну фурму, і вдування COG або природного газу. Тут сприятливим є з'ясування положення, в якому колошниковий газ після видалення CO<sub>2</sub> і H<sub>2</sub>O вдувають в доменну піч в місце, де активно розвивається відновлення газом. Це положення встановлюють на місце, відповідне температурі печі 1100 °C, розрахованої під час нормальної роботи, показаної в Таблиці 1. Існуючі доменні печі не мають отворів, через які газ нагнітається в таке положення, так що шахтна фурма передбачається по-новому.

[0042] Вищезгадане моделювання було виконане при рециркуляції колошникового газу в умовах згідно з Таблицею 3. У Таблиці 3 "рециркульований газ" означає рециркульований газ при рециркуляції колошникового газу, який використовується для моделювання. Прогнозовані значення параметрів під час роботи були зроблені стандартними параметрами таким же чином, як у випадку Таблиці 1.

[0043]

Таблиця 3

|   |  |
|---|--|
| Ступінь рециркуляції колошникового газу з шахтної фурми | від 0 до 30 %                                    |
| Витрата рециркульованого газу з шахтної фурми           | від 100 до 600 норм.м <sup>3</sup> /тонну чавуну |
| Температура дуття рециркульованого газу з шахтної фурми | від 400 до 1000 °C                               |
| Витрата COG через звичайну фурму                        | 95 норм.м <sup>3</sup> /тонну чавуну             |

[0044] ФІГ. 4 представляє графік, отриманий моделюванням експлуатації з виконанням рециркуляції колошникового газу в умовах згідно з Таблицею 3, і показує зміну споживання вуглецю (кг/тонну чавуну), що супроводжує підвищення витрати рециркульованого газу через шахтну фурму при фіксованому споживанні COG, що нагнітається через звичайну фурму, на рівні 95 норм.м<sup>3</sup>/тонну чавуну. Як буде зрозуміло з ФІГ. 4, при підвищенні витрати рециркульованого газу через шахтну фурму можна скоротити споживання вуглецю (кг/тонну чавуну). Тобто, вміст вуглецю, що знову надходить в піч з рециркульованим газом, не є вуглицем, що завантажується ззовні в систему доменної печі, так що рециркуляція колошникового газу на основі даного винаходу може підвищувати ефективність утилізації відновного газу і зменшувати споживання вуглецю (кг/тонну чавуну).

[0045] Однак ефект зниження споживання вуглецю в доменній печі за допомогою рециркульованого газу схильний до насичення, якщо витрата рециркульованого газу з шахтної фурми надмірно зростає. Це стає зрозумілим з того факту, що, навіть якщо збільшення кількості відновного газу в печі перевищує необхідний рівень, швидкість реакції відновлення залізної руди не може бути підвищена. З іншого боку, навіть відносно течії матеріалу в печі надмірний відновний газ в печі підвищує небезпеку флюїдизації ущільненого шару в печі, або посилення падіння тиску, що приводить до явища проскакування по виникаючим каналам. Тому, щоб надійно отримати ефект скорочення споживання вуглецю в доменній печі і забезпечити стабільну роботу в умовах здійснення даного винаходу, переважно встановлювати нижню межу витрати рециркульованого газу при 100 норм.м<sup>3</sup>/тонну чавуну, і встановлювати верхню межу витрати рециркульованого газу при 400 норм.м<sup>3</sup>/тонну чавуну.

[0046] Крім того, ФІГ. 4 показує результати дослідження температури дуття рециркульованого газу, що нагнітається через шахтну фурму всередину печі. Згідно з ФІГ. 4, чим вище робиться температура рециркульованого газу, що вдувається з шахтної фурми, тим вище ефект скорочення споживання вуглецю (кг/тонну чавуну). Це зумовлюється не тільки ефектом повторного використання відновного газу, але і ефектом збільшення кількості тепла, що надходить в доменну піч з тепловмістом рециркульованого газу. Однак, що слід би відмітити, так це той момент, що якщо температура рециркульованого газу падає нижче приблизно 600 °C, ефект скорочення споживання вуглецю (кг/тонну чавуну) майже не виявляється. Це явище зумовлюється тією обставиною, що, якщо має місце надмірне зниження температури дуття, стає помітним шкідливий вплив як істотного зниження розподілу температури в доменній печі, так і порушення ходу реакції відновлення.

[0047] Тому при рециркуляції колошникового газу температура, коли нагнітають колошниковий газ з шахтної фурми всередину доменної печі, переважно становить щонайменше 600 °C. Крім того, верхню межу температури переважно доводять до 1000 °C або нижче, де немає небезпеки розм'якшення-розплавлення залізної руди в печі, і ускладнення протіканню відновлення газом.

[0048] Для подальшого дослідження переважного ефекту процесу (Умова А+Умова В) автори даного винаходу вивчили зміну споживання вуглецю (кг/тонну чавуну) у випадку нагнітання відповідно тільки одного вугільного пилу, COG і вугільного пилу, і природного газу і вугільного пилу, через звичайну фурму в процесі (Умова А+Умова В). По-перше, вони розглядали експлуатацію доменної печі з використанням стандартного способу при параметрах, показаних в Таблиці 1, таким чином, щоб відповідно вдувати COG, природний газ і вугільний пил через звичайну фурму в умовах згідно з Таблицею 4, так, що кількість відновного матеріалу, що вводиться через звичайну фурму (сукупна кількість вуглецю С і водню Н<sub>2</sub>), ставала по суті постійною. Автори даного винаходу порівнювали ступінь скорочення споживання вуглецю (кг/тонну чавуну) при рециркуляції колошникового газу з шахтної фурми в умовах 400 норм.м<sup>3</sup>/тонну чавуну, 800 °C. У той же час автори даного винаходу досліджували збагачення киснем дуття для нагнітання COG, природного газу і вугільного пилу через звичайну фурму всередину доменної печі так, що температура полум'я ставала постійною.

[0049]

Таблиця 4

|               | Витрата (*)                          | Витрата відновника     | Вміст H <sub>2</sub> у відновникові |
|---------------|--------------------------------------|------------------------|-------------------------------------|
| Вугільний пил | 84 кг/тонну чавуну                   | 7,4 кмоль/тонну чавуну | 23 мол. %                           |
| COG           | 95 норм.м <sup>3</sup> /тонну чавуну | 7,3 кмоль/тонну чавуну | 71 мол. %                           |
| Природний газ | 50 норм.м <sup>3</sup> /тонну чавуну | 6,7 кмоль/тонну чавуну | 67 мол. %                           |

(\*): витрата, додана до питомої кількості вугільного пилу 146 кг/тонну чавуну згідно з Таблицею 1

[0050] Результати вищезгаданої роботи показані в ФІГ. 5. ФІГ. 5 показує споживання вуглецю (кг/тонну чавуну), коли проводиться додаткове вдування будь-якого одного з вугільного пилу, COG, або природного газу через звичайну фурму в доменну піч, яка працює в стандартному режимі без Умови В, і споживання вуглецю (кг/тонну чавуну), коли проводиться додаткове вдування будь-якого одного з вугільного пилу, COG, або природного газу через звичайну фурму в доменну піч, яка працює в стандартному режимі в процесі (Умова А+Умова В). У ФІГ. 5 поєднанням роботи при нагнітанні COG або природного газу з високим вмістом водню через звичайну фурму з рециклінгом колошникового газу виразно виявляється ефект скорочення споживання вуглецю (кг/тонну чавуну). Цей ефект зумовлюється тією характеристикою, що відносно відновлення залізної руди газоподібний H<sub>2</sub> діє при вищій швидкості реакції, ніж газоподібний CO. Умова В, при якій використовується ця характеристика, показана як така, що забезпечує спеціальний ефект крім Умови А.

[0051] Таким чином, рециркуляція колошникового газу в даному винаході виявляє особливі дії крім (Умови А+Умови В). Тобто, в експлуатації з вдуванням COG або природного газу з високим вмістом водню через звичайну фурму рециркуляцію колошникового газу з шахтної фурми є особливо ефективною для зниження споживання вуглецю (кг/тонну чавуну).

[0052] Приклад 2

Потім автори даного винаходу досліджували експлуатацію доменної печі з додатковим додаванням до вищезгаданих (Умови А+Умови В) Умови С "вдування колошникового газу через звичайну фурму без нагрівання і підвищення ступеню збагачення киснем дуття".

[0053] ФІГ. 6 коротко показує процес (Умова А+Умова В+Умова С). Умова С згідно з даним винаходом стимулює скорочення споживання вуглецю (кг/тонну чавуну) в доповнення до (Умови А+Умови В). Об'єднанням з Умовою С можна підтримувати умови згоряння в положенні горіння перед фурмою в доменній печі в належному діапазоні, і досягати питомої витрати коксу на рівні, здатному забезпечувати реальну роботу при існуючій експлуатаційній технології.

[0054] Як було роз'яснено вище, значення верхньої межі ступеню збагачення киснем обмежується наявністю ерозії фурми, і змінюється згідно зі складом газу, що вдувається. У випадку даного прикладу з вдуванням тільки COG, що містить CH<sub>4</sub>: 37 %, з фурми, якщо ступінь збагачення киснем становить 35 %, температура зовні фурми надмірно підвищується і викликає ерозію фурми. З іншого боку, у випадку Прикладу, що роз'яснюється пізніше з вдуванням природного газу, що містить CH<sub>4</sub>: приблизно 100 %, з фурми, якщо ступінь збагачення киснем становить 40 %, відбувається ерозія фурми. Таким чином, верхня межа (Y%) ступеню збагачення киснем внаслідок підвищення температури розрізняється залежно від складу газу, що вдувається. Це пропорційно вмісту CH<sub>4</sub> в складі газу охолоджувального середовища в газі. Взаємозв'язок представляється наступною формулою:

$$Y = 0,079 \times CH_4 + 32$$

(де Y: верхня межа ступеню збагачення киснем (%))

CH<sub>4</sub>: кількість метану в об. %, що міститься у газі, який вдувається

[0055] Автори даного винаходу вивчили параметри експлуатації для вдування COG-вмісного газу через звичайну фурму в умовах, показаних в Таблиці 5, і досліджували зміну споживання вуглецю (кг/тонну чавуну) згідно зі ступенем збагачення киснем (від 10 % до 35 %) в умовах, в яких фіксована температура полум'я. Крім того, на середньому рівні доменної печі була передбачена шахтна фурма, витрата рециркульованого газу з шахтної фурми була встановлена на 200 норм.м<sup>3</sup>/тонну чавуну і 400 норм.м<sup>3</sup>/тонну чавуну, і температура дуття рециркульованого газу з шахтної фурми була відрегульована на 800 °С. Крім того, витрата вугільного пилу, що нагнітається через звичайну фурму, в цьому прикладі була відрегульована таким же чином, як значення, показане в Таблиці 1.

[0056]

Таблиця 5

|  |   |
|--|---|
| Витрата COG (звичайна фурма)                             | COG 95 норм.м <sup>3</sup> /тонну чавуну  |
| Витрата рециркульованого газу (шахтна фурма)             | 200 норм.м <sup>3</sup> /тонну чавуну;<br>400 норм.м <sup>3</sup> /тонну чавуну |
| Витрата рециркульованого газу (звичайна фурма)           | Кількість, необхідна для підтримання температури полум'я при 2155 °C            |
| Температура дуття рециркульованого газу (шахтна фурма)   | 800 °C  |
| Температура дуття рециркульованого газу (звичайна фурма) | Звичайна температура (25 °C)  |
| Ступінь збагачення киснем (звичайна фурма)               | від 15 до 40 %  |

[0057] ФІГУРИ 7 представляють вигляди, що показують взаємозалежність між параметрами роботи доменної печі у випадку регулювання споживання COG, що вдувається через звичайну фурму, на значення 95 (норм.м<sup>3</sup>/тонну чавуну) в процесі (Умова А+Умова В+Умова С), в умовах згідно з Таблицею 5. ФІГ. 7А показує взаємозв'язок між ступенем збагачення киснем і споживанням вуглецю (кг/тонну чавуну). Частка газоподібного N<sub>2</sub> (азоту) в пічному газі падає разом з підвищенням ступеню збагачення киснем, тоді як концентрація відновних компонентів, тобто, H<sub>2</sub> і CO, зростає, так що посилюється ефект від дії рециркуляції колошникового газу за Умови В згідно з даним винаходом. ФІГ. 7В показує взаємозв'язок між ступенем збагачення киснем і питомою витратою коксу (кг/тонну чавуну), і взаємозв'язок між ступенем збагачення киснем (%) і кількістю дуття рециркульованого газу через звичайну фурму (норм.м<sup>3</sup>/тонну чавуну). Вдуванням частини рециркульованого газу при звичайній температурі через звичайну фурму в належній кількості можна підтримувати температуру полум'я без підвищення питомої витрати вугільного пилу, і можна досягати питомої витрати коксу в фактичному діапазоні, здатному забезпечувати стабільну роботу, на рівні 270 кг/тонну чавуну або більше, в той же час скорочуючи споживання вуглецю (кг/тонну чавуну) в доменній печі до близько 380 кг/тонну чавуну. Це відповідає скороченню приблизно на 9 % відносно часу нормальної роботи згідно з Таблицею 1.

[0058] ФІГ. 7С показує взаємозв'язок між ступенем збагачення киснем (%) і кількістю рециркульованого газу з колошникового газу (%). Кількість рециркульованого газу з колошникового газу (%) означає об'ємну частку (%) кількості дуття відновного газу через звичайну фурму і шахтної фурми відносно сукупної кількості колошникового газу. Нарівні зі зростанням ступеню збагачення киснем підвищується витрата відновного газу через звичайну фурму, і температура полум'я підтримується постійною (2155 °C). Тут даний винахід не обмежується рівнем питомої витрати коксу при експлуатації доменної печі.

[0059] Звичайно при експлуатації доменної печі для забезпечення виділення тепла біля дна печі загальною практикою є регулювання умов дуття так, щоб температура горіння перед фурмою ставала постійною при приблизно 2155 °C. Якщо експлуатація проводиться в умовах, де температура полум'я знижується, в довгостроковому періоді це приводить до зниження тепла печі і температури чавуну, і будуть виникати проблеми з випусканням плавки, охолодження, й інші серйозні експлуатаційні неполадки. При роботі з вдуванням COG або природного газу з фурми падає тепловміст ввідного газу внаслідок ендотермічної реакції, супроводжуючої розкладання основного компонента CH<sub>4</sub>, і вдування холодного повітря в доменну піч, і температура полум'я знижується.

[0060] Для компенсації цього є ефективним збагачення дуття киснем. Крім того, основними компонентами колошникового газу є CO і H<sub>2</sub>, так що рециркульований газ з колошникового газу не згоряє перед фурмою і вдувається охолоджувальним повітрям, і тим самим тепловміст ввідного газу падає, і знижується температура полум'я. У цьому випадку також можна підвищити ступінь збагачення киснем відповідно до витрати рециркульованого газу для відшкодування нестачі тепла. Якщо проводиться підвищення ступеню збагачення киснем, щоб зробити продуктивність постійною, витрату знижують, і кількість кисню, що вводиться в піч регулюють так, щоб вона ставала постійною. Внаслідок цього, нарівні з підвищенням ступеню збагачення киснем, скорочується кількість N<sub>2</sub> в пічному газі, і відносно цього підвищується концентрація CO, H<sub>2</sub> або іншого відновного газу. Це приводить до посилення ефекту дії рециркуляції колошникового газу в Умові В.

[0061] Приклад 3

ФІГУРИ 8 показують взаємозалежність між параметрами роботи доменної печі у випадку регулювання споживання природного газу, що вдувається через звичайну фурму, на значення

- 95 (норм.м<sup>3</sup>/тонну чавуну) в процесі (Умова А+Умова В+Умова С). Тут експлуатаційні умови в процесі (Умова А+Умова В+Умова С) згідно з ФІГ. 8 показані в Таблиці 6. За винятком заміни газу, що вдувається з COG на природний газ, регулювання кількості дуття рециркульованого газу з шахтної фурми на 400 норм.м<sup>3</sup>/тонну чавуну, і регулювання температури дуття на 800 °С, умови є такими ж, як умови, досліджені в Таблиці 5.
- 5 [0062]

Таблиця 6

|  |  |
|--|--|
| Витрата природного газу(звичайна фурма)                  | 95 норм.м <sup>3</sup> /тонна чавуну                                 |
| Витрата рециркульованого газу (шахтна фурма)             | 400 норм.м <sup>3</sup> /тонна чавуну                                |
| Витрата рециркульованого газу (звичайна фурма)           | Кількість, необхідна для підтримання температури полум'я при 2155 °С |
| Температура дуття рециркульованого газу (шахтна фурма)   | 800 °С   |
| Температура дуття рециркульованого газу (звичайна фурма) | Звичайна температура (25 °С)   |
| Ступінь збагачення киснем (звичайна фурма)               | Від 15 до 40 %   |

- [0063] ФІГ. 8А показує взаємозв'язок між ступенем збагачення киснем і споживанням вуглецю (кг/тонну чавуну). ФІГ. 8В показує взаємозв'язок між ступенем збагачення киснем і питомою витратою коксу (кг/тонну чавуну), і взаємозв'язок між ступенем збагачення киснем (%) і кількістю дуття рециркульованого газу через звичайну фурму (норм.м<sup>3</sup>/тонну чавуну). ФІГ. 8С показує взаємозв'язок між ступенем збагачення киснем і кількістю рециркульованого газу з колошникового газу (%). У цьому випадку доменна піч повинна діяти при рівні питомої витрати коксу 250 кг/тонну чавуну або менше, але доведенням ступеню збагачення киснем до 40 % можна скоротити споживання вуглецю в доменній печі до близько 350 кг/тонну чавуну. Це відповідає зниженню приблизно на 15 % відносно часу нормальної експлуатації згідно з Таблицею 1.
- 10 15

[0064] Приклад 4

- У Прикладі 4 автори даного винаходу досліджували ефект у випадку зміни кількості COG або природного газу, що вдувається через звичайну фурму в процесі (Умова А+Умова В), і додаткового нагнітання колошникового газу через звичайну фурму без нагрівання і підвищення ступеню збагачення дуття киснем через звичайну фурму в процесі "Умова С".
- 20

- [0065] ФІГ. 9 показує один приклад зміни кількості COG, що нагнітається через звичайну фурму в доменну піч, відрегульовану на питому витрату коксу в процесі (Умова А+Умова В) так, що температура чавуну не зменшується нижче 1520 °С, відміченими в Таблиці 1 зірочками параметрами, щоб забезпечити роботу доменної печі в стабільному стані. Як показано в ФІГ. 9, коли витрату при рециркуляції колошникового газу з шахтної фурми регулюють на 400 норм.м<sup>3</sup>/тонну чавуну в Умові В, істотного поліпшення в споживанні вуглецю не спостерігається при кількості, що вдувається через звичайну фурму COG, на рівні менше 30 норм.м<sup>3</sup>/тонну чавуну. Це зумовлюється тим фактом, що кількість, яка вдувається через звичайну фурму COG, є дуже малою, і ефект посилення від рециркуляції Н<sub>2</sub> не може виявлятися в достатній мірі. З іншого боку, якщо кількість, що вдувається через звичайну фурму COG, встановлюють на 30 норм.м<sup>3</sup>/тонну чавуну або більше, споживання вуглецю може бути значно поліпшене нарівні з підвищенням кількості дуття COG.
- 25 30 35

- [0066] Коли ступінь збагачення киснем дуття через звичайну фурму підвищують до 35 %, і одночасно роблять кількість колошникового газу, який нагнітається через звичайну фурму, такою, що становить 225 норм.м<sup>3</sup>/тонну чавуну в Умові С, то якщо кількість COG, що вдувається через звичайну фурму, становить менше 30 норм.м<sup>3</sup>/тонну чавуну, то таким же чином, як Умова В, не можна помітити значного поліпшення споживання вуглецю. Це зумовлюється дуже малою кількістю дуття, і ефект посилення від рециркуляції Н<sub>2</sub> не може виявлятися в достатній мірі. З іншого боку, коли кількість, що вдувається через звичайну фурму COG, встановлюють на 30 норм.м<sup>3</sup>/тонну чавуну або більше, споживання вуглецю може бути значно поліпшене в процесі (Умова А+Умова В) відповідно до підвищення кількості дуття COG. Потрібно зазначити, що в кожній умові чим більше підвищується витрата, тим більше може бути знижене споживання вуглецю.
- 40 45

[0067] ФІГ. 10 показує один приклад зміни кількості дуття природного газу через звичайну фурму в доменну піч, відрегульовану на питому витрату коксу в процесі (Умова А+Умова В) так,

що температура чавуну не падає нижче 1520 °С, відміченими в Таблиці 1 зірочками параметрами, щоб забезпечити роботу доменної печі в стабільному стані. Як у випадку нагнітання СОГ через звичайну фурму, коли витрату колошникового газу при рециркуляції через шахтну фурму встановлюють на 400 норм.м<sup>3</sup>/тонну чавуну в Умові В, при питомій витраті природного газу, що вдувається через звичайну фурму, менше 30 норм.м<sup>3</sup>/тонну чавуну, істотного поліпшення в споживанні вуглецю не спостерігається. Однак, коли підвищують ступінь збагачення киснем дуття через звичайну фурму до 40 %, і одночасно доводять кількість колошникового газу, що вдувається через звичайну фурму, до 175 норм.м<sup>3</sup>/тонну чавуну в Умові С, то якщо кількість природного газу, що вдувається через звичайну фурму, встановлюють на 30 норм.м<sup>3</sup>/тонну чавуну або більше, споживання вуглецю може бути значно поліпшене нарівні з підвищенням кількості дуття. Потрібно зазначити, що кількість застосовного природного газу не обмежується, але спричиняє зростання виробничих витрат, так що можна регулювати кількість застосовного природного газу в діапазоні, що забезпечує попередньо заданий ефект.

[0068] Як було роз'яснено вище, в майбутньому, якщо технологія експлуатації поліпшиться, і мінімальний рівень питомої витрати коксу, який забезпечує стабільну роботу, ще більше знизиться, стане можливим більш визначено застосовувати даний винахід (для підвищення ступеню збагачення киснем) і для значного зниження споживання вуглецю в доменній печі. Потрібно зазначити, що були роз'яснені переважні варіанти здійснення даного винаходу, але даний винахід не обмежується цими прикладами. Фахівцеві, що має звичайну кваліфікацію в технічній галузі, якої стосується даний винахід, буде зрозуміло, що різноманітні зміни або варіації могли б бути зроблені в межах технічної ідеї, описаної в пунктах формули винаходу. Природно, вони будуть розумітися як такі, що входять в технічну область даного винаходу.

Промислова застосовність

[0069] Згідно з даним винаходом, можна створити спосіб експлуатації доменної печі, здатний знизити викиди СО<sub>2</sub> і отримувати рідкий метал в промисловій доменній печі стабільно протягом тривалого періоду часу.

#### ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

1. Спосіб експлуатації доменної печі, в якому залізну руду і кокс завантажують через верх печі, і вугільний пил вдувають через звичайну фурму, який включає:

вдування дуття, що містить щонайменше одне з водню і вуглеводню, через звичайну фурму разом з вказаним вугільним пилом,

вдування в доменну піч газу, що включає колошниковий газ доменної печі, з якого видалені діоксид вуглецю і пара, через шахтну фурму, і

вдування згаданого колошникового газу через звичайну фурму без нагрівання і підвищення ступеня збагачення киснем газу, що вдувають через звичайну фурму.

2. Спосіб за п. 1, який додатково включає вдування в доменну піч дуття, що складається з колошникового газу доменної печі, з якого видалені діоксид вуглецю і пара, через звичайну фурму доменної печі.

3. Спосіб за п. 1 або 2, в якому вказане дуття звичайної фурми збагачують киснем, при цьому збагачення киснем становить не менше ніж на 10 % і не більше ніж на Y %, яке показують в наступній формулі:

$Y = 0,079 \times CH_4 + 32$ , де CH<sub>4</sub> означає кількість метану в об. % в газі, що вдувають через звичайну фурму.

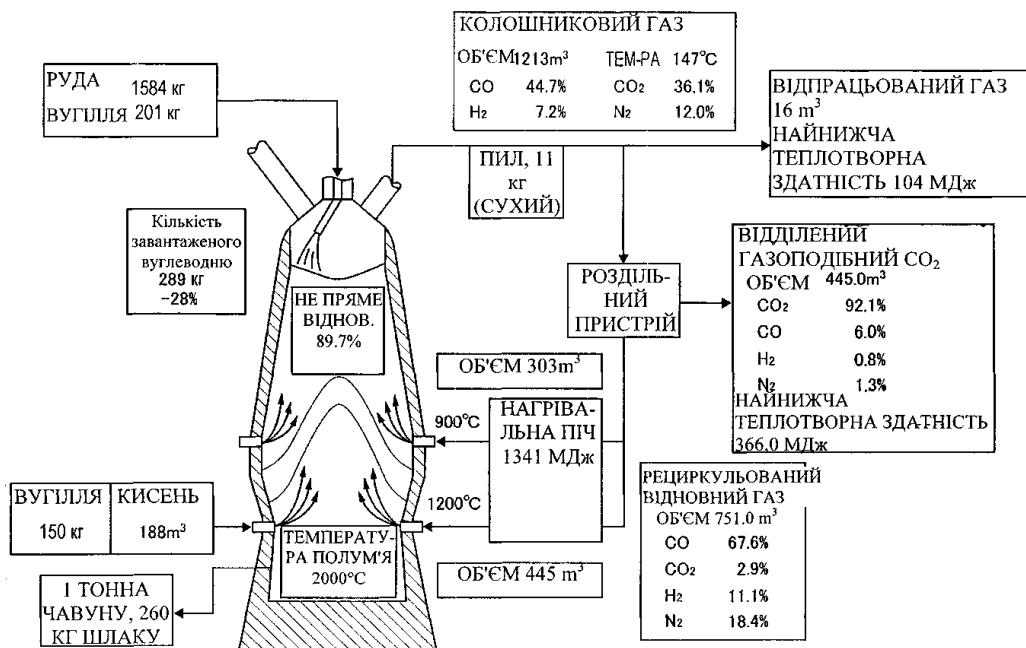
4. Спосіб за будь-яким з пп. 1-3, в якому витрата дуття вказаного газу, що містить щонайменше одне з водню і вуглеводню, становить 30 норм. м<sup>3</sup>/тонну чавуну або більше.

5. Спосіб за будь-яким з пп. 1-4, в якому згаданий колошниковий газ, що вдувають через шахтну фурму, вдувають через вказану шахтну фурму з витратою 400 норм. м<sup>3</sup>/тонну чавуну або менше, при температурі від 600 °С до 1000 °С.

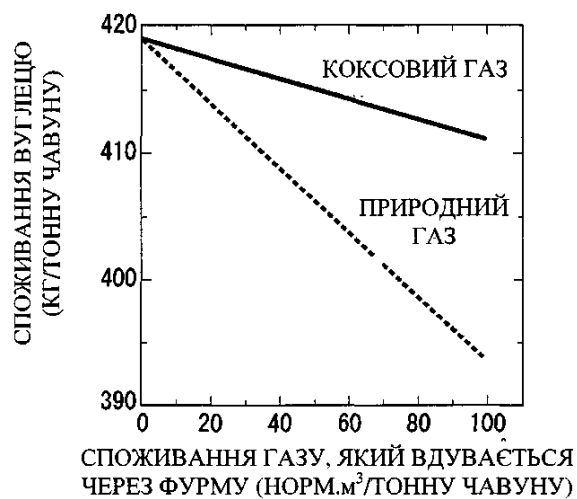
6. Спосіб за будь-яким з пп. 1-5, в якому витрата дуття колошникового газу, що вдувають через вказану шахтну фурму, становить 100 норм. м<sup>3</sup>/тонну чавуну або більше.

7. Спосіб за будь-яким з пп. 1-6, в якому згаданий газ, який містить щонайменше одне з водню і вуглеводню, що вдувають через звичайну фурму, містить метан.

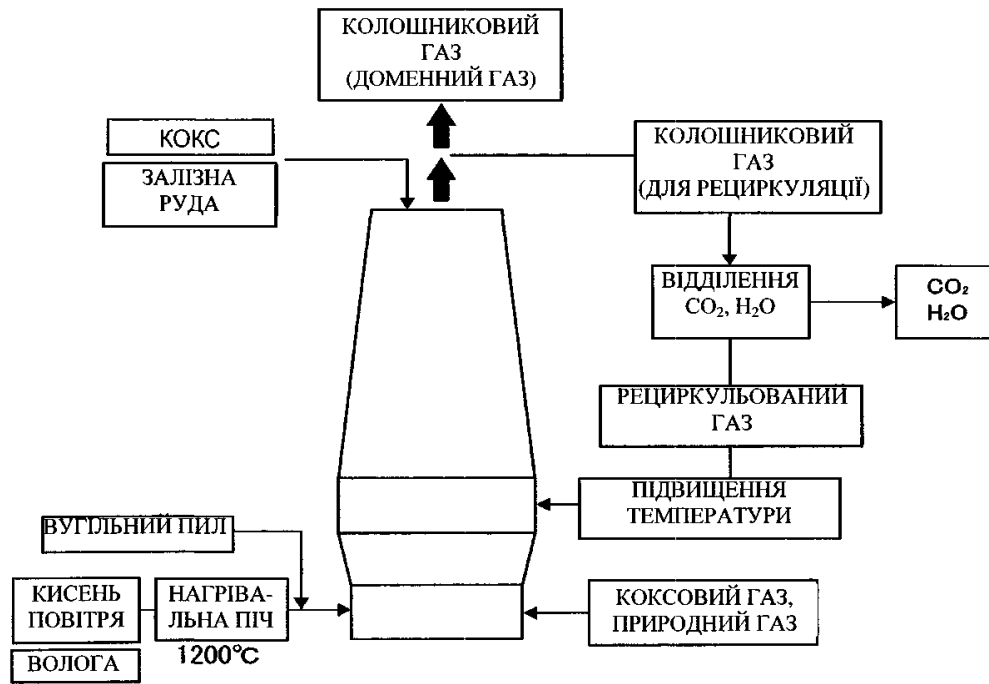
8. Спосіб за п. 7, в якому згаданий газ, який містить метан, включає щонайменше одне з коксового газу і природного газу.



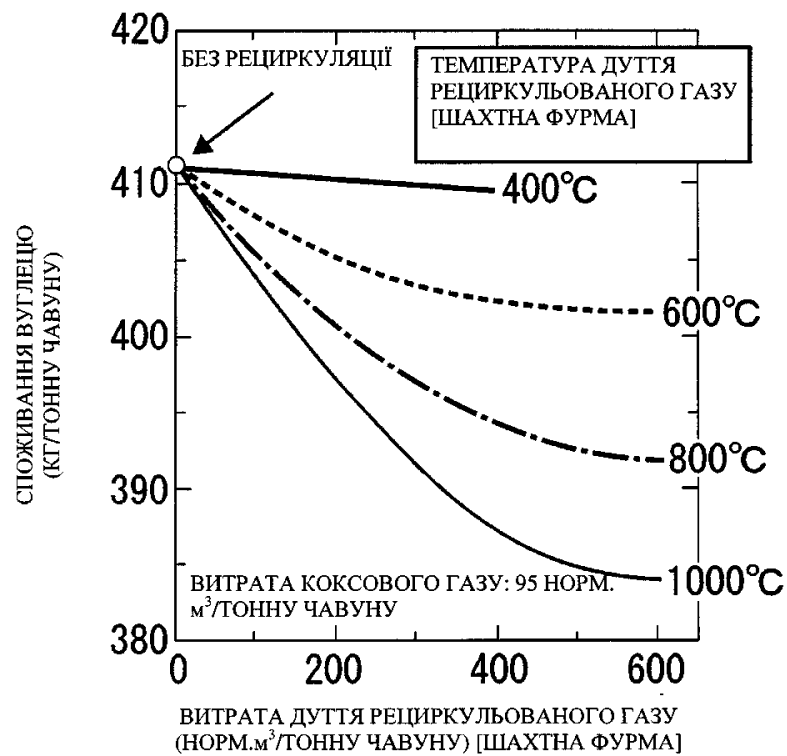
Фіг. 1



Фіг. 2

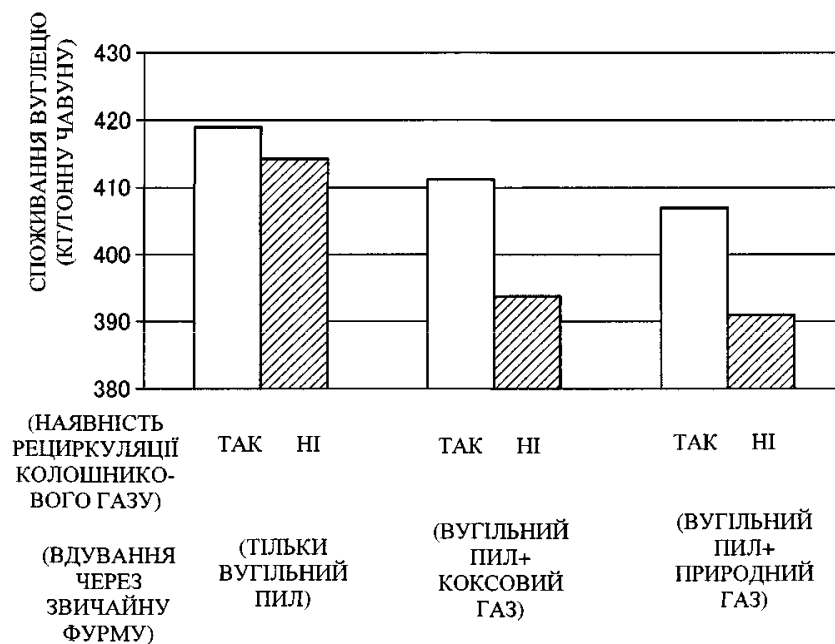


Фіг. 3

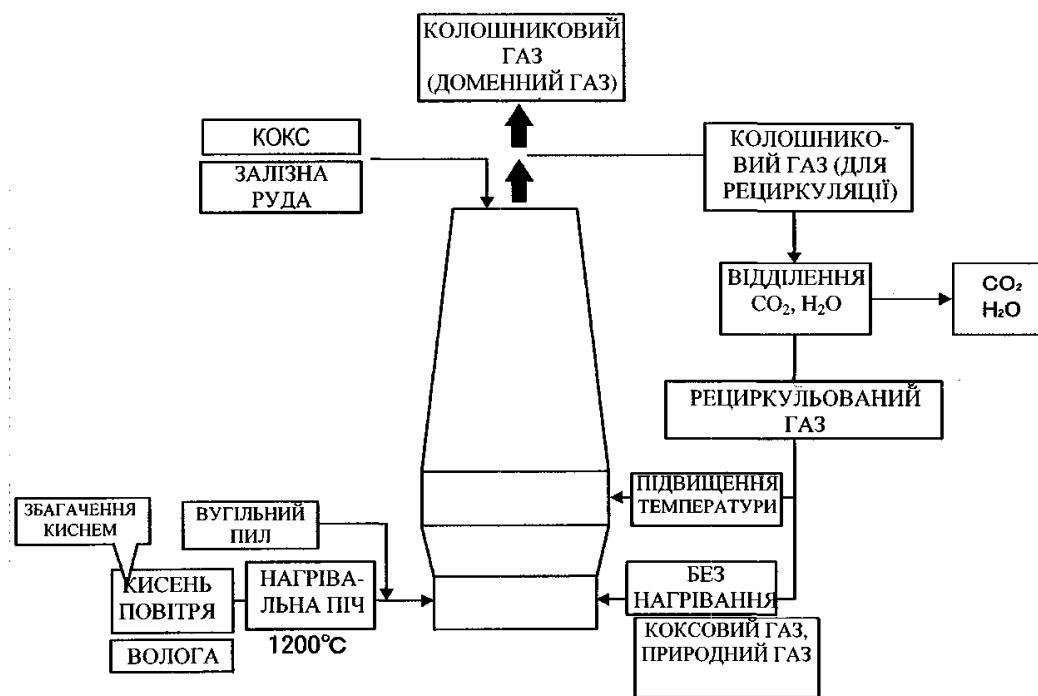


Фіг. 4





Фіг. 5



Фіг. 6

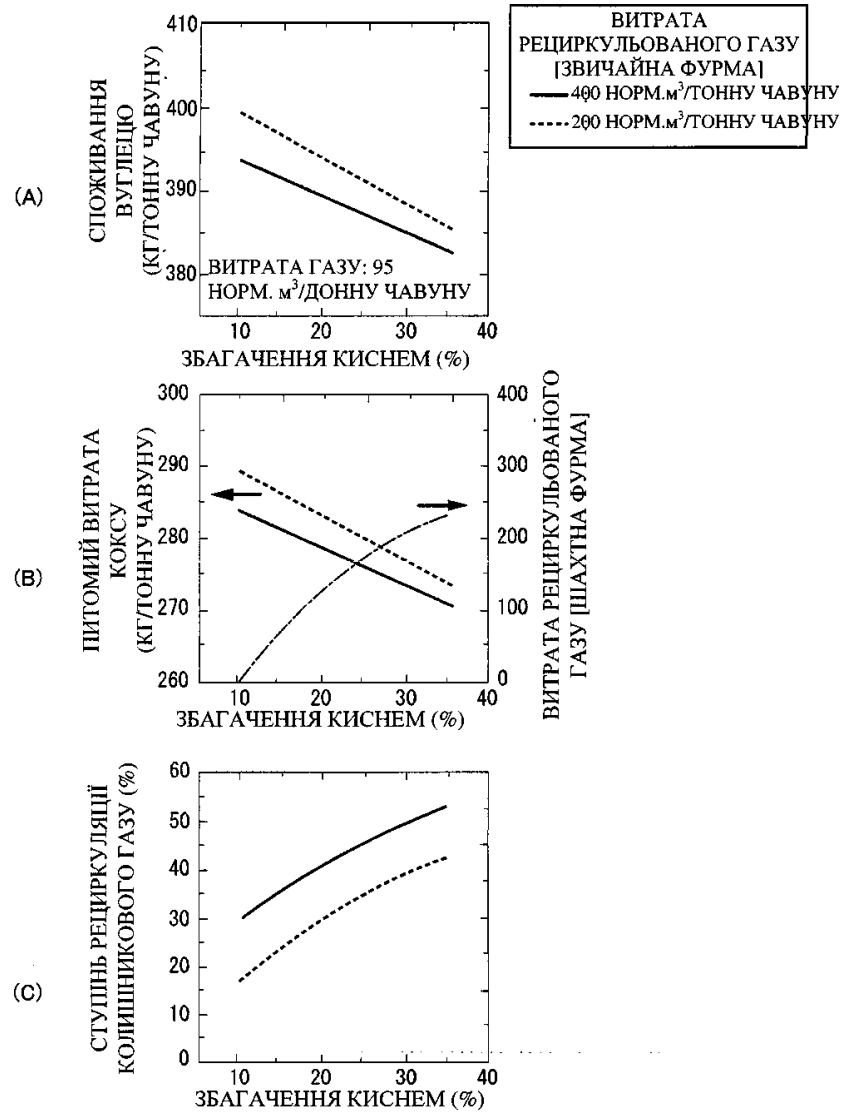


Fig. 7

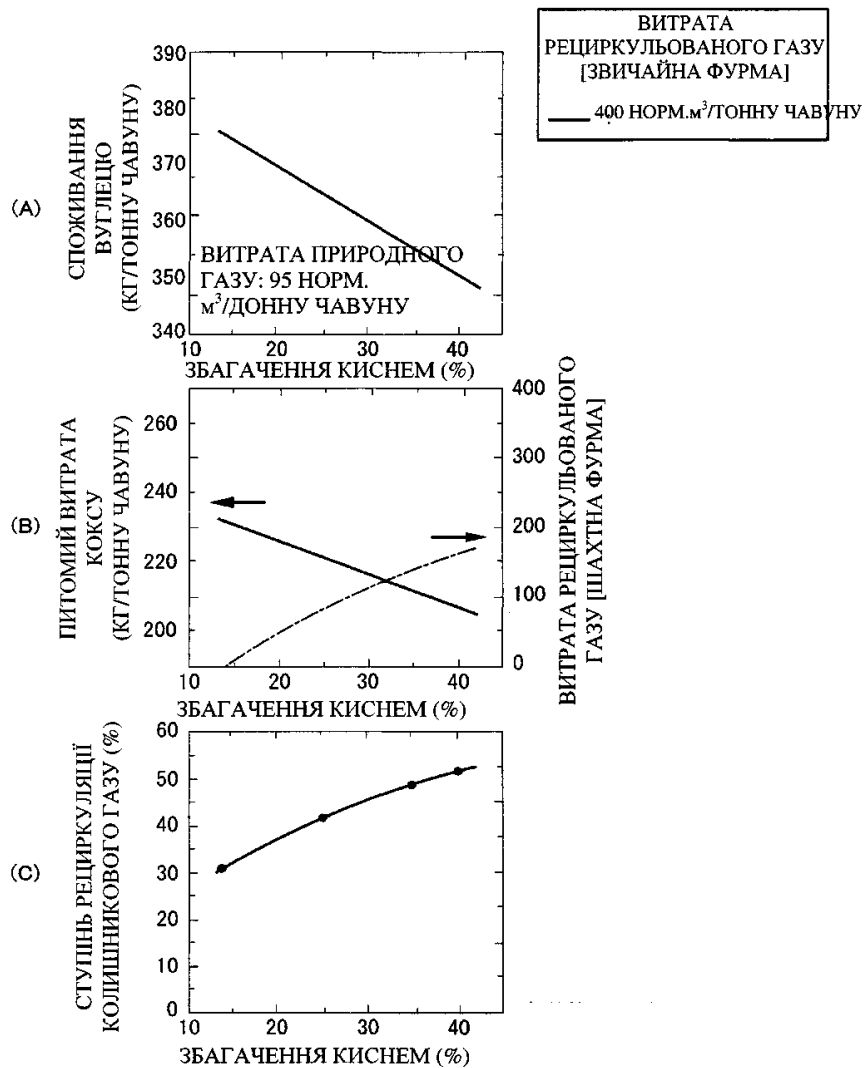


Fig. 8



Fig. 9



Fig. 10

Комп'ютерна верстка О. Рябо

Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601