



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **130709** (13) **C2**
(51) МПК (2026.01)

C21B 13/00

C21B 7/00

C21C 5/38 (2006.01)

C21C 5/28 (2006.01)

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

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

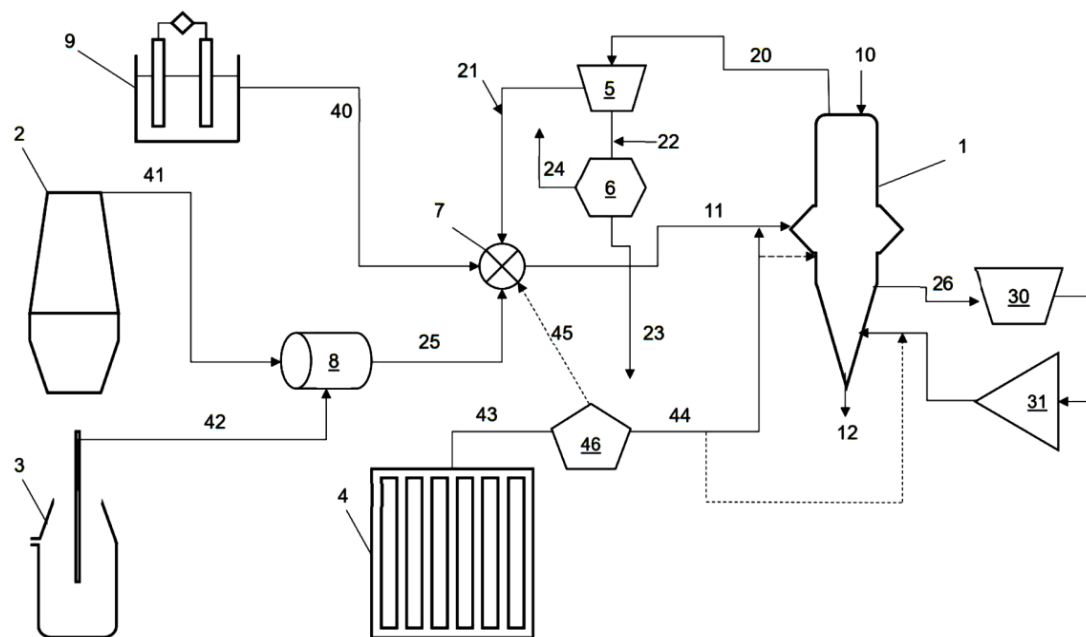
(21) Номер заявки: а 2023 06131	(72) Винахідник(и): Цвік Джордж (US), Буланов Дмитрі (US), Рейес Родріґес Джон (ES), Керье Оділь (FR), Саламе Сара (FR), Баррос Лоренцо Хосе (FR), Андраде Марсело (US), Лу Денніс (US)
(22) Дата подання заявки: 18.05.2021	
(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: 23.04.2026	
(41) Публікація відомостей про заявку: 28.02.2024, Бюл.№ 9	
(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: 22.04.2026, Бюл.№ 16	
(86) Номер та дата подання міжнародної заявки, поданої відповідно до Договору РСТ: PCT/IB2021/054243, 18.05.2021	(73) Володілець (володільці): АРСЕЛОРМІТТАЛ, 24-26, Boulevard d'Avranches, L-1160 Luxembourg, Luxembourg (LU)
	(74) Представник: Слободянюк Оксана Олександрівна, реєстр. № 216
	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: WO 2004/101829 A2, 25.11.2004 US 2016348196 A1, 01.12.2016 UA 119338 C2, 10.06.2019

(54) СПОСІБ ЕКСПЛУАТАЦІЇ МЕРЕЖІ УСТАНОВОК ТА МЕРЕЖА УСТАНОВОК

(57) Реферат:

Цей винахід стосується способу експлуатації мережі установок, яка включає доменну піч; сталеливарну піч, яка виробляє сталь і газ сталеливарного виробництва; піч прямого відновлення, в яку завантажують окиснене залізо, яке підлягає відновленню відновним газом для одержання заліза прямого відновлення і відновного газу, який відходить зверху і щонайменше один пальник, здатний подавати тепло у відновний газ перед його впорскуванням в піч прямого відновлення.

UA 130709 C2



Цей винахід відноситься до способу експлуатації мережі установок і пов'язаної з ним мережі установок.

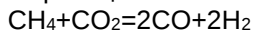
Зараз сталь можна одержувати за двома основними технологічними маршрутами виробництва. На зараз технологічний маршрут, що найбільш широко застосовується, полягає в одержанні чавуну в доменній печі з використанням відновника, головним чином, коксу, для відновлення оксидів заліза. В цьому способі витрачається приблизно від 450 до 600 кг коксу на тонну чавуну; в рамках цього способу і при одержанні коксу з вугілля на коксохімічному заводі і виробництві чавуну виділяються значні кількості CO₂.

Другий основний технологічний маршрут включає так звані "способи прямого відновлення". До них відносяться способи, які відповідають маркуванням MIDREX, FINMET, ENERGIRON/HYL, COREX, FINEX тощо, в яких одержують губчасте залізо у вигляді HDRI (гаряче залізо прямого відновлення), CDRI (холодне залізо прямого відновлення) або HBI (гаряче брикетоване залізо) в результаті прямого відновлення носіїв оксиду заліза. Губчасте залізо у формі HDRI, CDRI і HBI зазвичай зазнає додаткової обробки в електродугових печах.

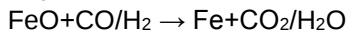
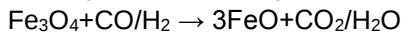
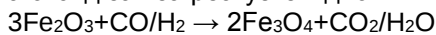
В шахті кожної печі прямого відновлення з вивантаженням холодного продукту DRI є три зони: зона відновлення нагорі, перехідна зона всередині, зона охолодження в конусоподібному днищі. Під час вивантаження гарячого продукту DRI зазначена нижня частина використовується головним чином для гомогенізації продукту перед вивантаженням і контрольного відстеження всіх твердих речовин.

Відновлення оксидів заліза відбувається у верхній секції печі при температурі до 950 °C. В верхню частину шахти печі прямого відновлення завантажують залізооксидні руди і котуни, які містять близько 30 % мас. кисню, і дають їм опускатися під дією сили тяжіння серед відновного газу. Зазначений відновний газ надходить у піч з нижньої частини зони відновлення і протікає протитечею по відношенню до завантаженого окисненого заліза. Кисень, що міститься в рудах і котунах, видаляють ступінчастим відновленням оксидів заліза в умовах протитечної взаємодії між газами і оксидом. Вміст окиснювача в газі збільшується у міру просування газу до верху печі.

Відновний газ зазвичай містить водень і оксид вуглецю (сингаз), і його одержують каталітичним риформінгом природного газу. Наприклад, у так званому способі MIDREX спочатку метан перетворюється в реакторі риформінгу з утворенням сингазу або відновного газу за такою реакцією:

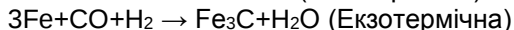
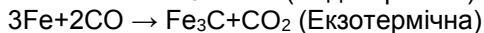
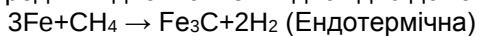


а оксид заліза реагує із відновним газом, наприклад, відповідно до таких реакцій:



Наприкінці зони відновлювання руда перетворюється на метал.

Під секцією відновлення знаходиться перехідна секція; ця секція має достатню довжину для відділення секції відновлення від секції охолодження, забезпечуючи можливість незалежного контролю в обох секціях. В цій секції відбувається науглецювання металізованого продукту. Навуглецювання являє собою процес збільшення вмісту вуглецю в металізованому продукті всередині відновної печі відповідно до таких реакцій:



Впорскування природного газу в перехідній зоні здійснюють з використанням тепловмісту металізованого продукту в перехідній зоні для активування розщеплення вуглеводнів і відкладення вуглецю. Внаслідок відносно низької концентрації окиснювачів, більш імовірно, що в перехідній зоні природний газ розщеплюватиметься на H₂ і вуглець, ніж зазнавати риформінгу в H₂ і CO. Розщеплення вуглеводню постачає вуглець для науглецювання продукту DRI і водночас додає відновник (H₂) до газу, що підвищує відновлювальний потенціал газу.

Скорочення викидів CO₂ для досягнення кліматичних цілей є складним завданням, оскільки переважною зараз формою сталеваріння є маршрут "доменна піч-основна киснева піч (BF-BOF)" залежить від вугілля як відновника і палива. У виробництві сталі існують два можливі шляхи зменшення викидів CO₂: зберігати маршрут BF-BOF і реалізувати технологію уловлювання вуглецю і зберігання CO₂ (CCS) або шукати нові процеси зі зниженими викидами.

Першим кроком в напрямку зниження викидів CO₂ може бути перемикання з маршруту BF-BOF на маршрут DRI. Оскільки це пов'язано з великими змінами як стосовно обладнання, так і самого процесу, всі доменні печі не замінять одночасно на обладнання для прямого відновлення. Таким чином, будуть деякі установки, на яких буде співіснувати різне обладнання.

Отже, є потреба в способі, який дозволяє застосовувати поєднання маршрутів BF-BOF і DRI з найкращою ефективністю для зниження викидів, а також енергоефективності і продуктивності.

Зазначена проблема вирішується з допомогою способу, відповідного цьому винаходу, при цьому зазначений спосіб дозволяє експлуатувати мережу установок, яка включає доменну піч, яка виробляє гарячий метал і газ доменної печі; сталеплавильну піч, яка виробляє сталь і газ сталеливарного виробництва; піч прямого відновлення, в яку завантажують окиснене залізо, яке підлягає відновленню відновним газом для одержання заліза прямого відновлення і відхідного зверху відновного газу; щонайменше один пальник, здатний подавати тепло у відновний газ перед його впорскуванням в піч прямого відновлення, при цьому як паливо для зазначеного пальника використовують газ доменної печі і/або газ сталеливарного виробництва.

Спосіб, відповідний цьому винаходу, також може включати такі необов'язкові характеристики, які застосовуються окремо або у будь-яких технічно можливих поєднаннях:

- відхідний зверху відновний газ уловлюють і поділяють на два потоки, при цьому перший потік повертають в цикл печі прямого відновлення як відновний газ, а другий потік перетворюють на сингаз,

- перший потік становить від 40 до 99 % об. відхідного зверху відновного газу переважно від 50 до 70 % об.,

- мережа установок додатково включає хімічну і/або біохімічну установку, в якій зазначений сингаз перетворюється на хімічний і/або біохімічний продукт,

- перший потік відхідного зверху відновного газу, змішують з газоподібним воднем для утворення відновного газу перед його нагріванням,

- мережа установок додатково включає установку одержання водню, призначену для одержання водню, який підлягає змішуванню з відновним газом,

- установка для одержання водню є установкою електролізу,

- нагрітий відновний газ змішують з вуглецевмісним газом перед введенням в піч прямого відновлення,

- мережа установок додатково включає коксову піч, яка виробляє кокс і газ коксової печі, при цьому вуглецевмісний газ є частиною зазначеного газу коксової печі.

Цей винахід відноситься також до введення до складу мережі доменної печі, яка виробляє гарячий метал і газ доменної печі; сталеливарної печі, яка виробляє сталь і газ сталеливарного виробництва; печі прямого відновлення, в яку завантажують окиснене залізо, яке підлягає відновленню відновним газом для одержання заліза прямого відновлення і відхідного зверху відновного газу; щонайменше одного пальника, здатного подавати тепло у відновний газ перед його впорскуванням в піч прямого відновлення; газової лінії, якою як паливо в зазначений пальник можна подавати газ доменної печі і/або газ сталеливарної печі.

Інші характеристики і переваги цього винаходу стануть очевидними з наведеного нижче опису, який є ілюстративним і який жодним чином не є обмежувальним, з посиланням на фігури, що додаються, на яких:

- Фіг. відображає мережу установок, до якої можна застосовувати спосіб, відповідний цьому винаходу.

Елементи на фігурах є ілюстрацією і можуть бути виконані не в масштабі.

Фіг. 1 відображає мережу установок, до якої може бути застосований спосіб, відповідний винаходу. Зазначена мережа установок включає піч прямого відновлення або шахтну піч 1, доменну піч 2, основну кисневу піч 3. Необов'язково, вона може включати коксову установку 4 і установку 9 для одержання водню, таку як-от установка електролізу.

Зверху печі 1 прямого відновлення завантажують окиснене залізо 10 у вигляді руди або котунів. Зазначене окиснене залізо 10 відновлюється в печі 1 відновним газом 11, який впорскується в піч і протікає протитечією по відношенню до окисненого заліза. Відновлене залізо 12 виходить знизу печі 1 для додаткової обробки, наприклад, брикетування перед використанням на наступних стадіях сталеваріння. Після відновлення заліза відновний газ 11 виходить зверху печі у вигляді відновного газу 20, який відходить зверху, (TRG).

Охолоджувальний газ 26 уловлюють із зони охолодження, здійснюють стадію його очищення в очисному пристрої 30, такому як скруббер, стискають в компресорі 31, а потім направляють назад в зону охолодження шахтної печі 1.

Доменна піч 2 виробляє гарячий метал або чавун, і випускає газ 41 доменної печі (BFG). Основна киснева піч 3, або в більш загальному сенсі, сталеливарна піч, виробляє сталь з гарячого металу і випускає газ 42 сталеливарного виробництва (BOFG). Коксова установка 4 виробляє кокс з вугілля і випускає газ 43 коксової печі (COG).

Середній склад різних газів узагальнений в таблиці 1, при цьому склади виражені в % об.

Таблиця 1

	CO	CO ₂	H ₂	H ₂ O	CH ₄	N ₂
TRG	15-25	12-20	35-55	15-25	3-8	1-4
BFG	19-27	15-25	1-8	-	-	45-60
BOFG	55-65	14-16	3-5	-	0-1	14-16
COG	3-6	1-5	36-62	-	16-27	1-6

Установка 9 для одержання водню виробляє потік 40 водню. Вона може бути установкою електролізу води або пари. Зазначена установка працює переважно з використанням електричної енергії, що генерується без викидів CO₂, яка включає помітну кількість електричної енергії від відновлюваного джерела, яка визначається як енергія, яку одержують з відновлюваних джерел, які відновлюються природним чином в масштабі часу життя людини, включаючи джерела, подібні до сонячного світла, вітру, дощу, припливів, хвиль і геотермального тепла. В деяких варіантах здійснення можна використовувати електричну енергію, що надходить з ядерних джерел, оскільки вона не пов'язана з викидом CO₂ для її виробництва.

В способі, відповідному цьому винаходу, відновний газ 11 нагрівають перед його введенням в шахтну піч 1. Тепло 25, необхідне для зазначеного нагрівання, подають з допомогою щонайменше одного пальника 8, який працює з використанням як палива, щонайменше, частини газу BOFG 42 і/або газу BFG 41. Переважно, спочатку здійснюють стадію очищення газу BFG і/або BOFG, на якій їх загартовують і охолоджують перед тим, як вони досягають пальника 8.

Застосування газу BOFG і/або BFG в якості палива дозволяє уникати використання частини відхідного зверху відновного газу 20 або водню, або природного газу в якості палива для попереднього нагрівання відновного газу 11. Потім можна додатково підвищувати цінність зазначеної частини колошникового газу. Пальниками можуть бути пальники різних типів, наприклад, повітряні пальники, одиночні регенеративні пальники, безполум'яні киснево-паливні пальники, подвійні регенеративні повітряно-паливні пальники, киснево-паливні і/або плоскополум'яні пальники. В найбільш переважному варіанті здійснення в пальник подається виключно газ BOF і/або BFG без будь-якого додавання природного газу або кисню.

Наприклад, в варіанті здійснення, показаному на Фіг. 1, після стадії видалення пилу і туману в очисному пристрої 5, такому як-от скруббер і краплевідбійник, відхідний зверху відновний газ 20 поділяють на два потоки 21, 22. Перший потік, який містить, наприклад, від 40 до 99 % об., переважно від 50 до 70 % об. від загального потоку відхідного зверху відновного газу, направляють у підготовчий пристрій 7, де він буде змішуватися з іншим газом, необов'язково, піддаватися риформінгу і нагріватися для одержання відновного газу 11. У переважному варіанті здійснення підготовчий пристрій 7 являє собою реактор риформінгу. Другий потік 22 направляють на установку 6 розділення, де зазначений другий потік 22 поділяють на газ 24, збагачений на CO₂, і на сингаз (CO/H₂) 23. Газ 24, збагачений на CO₂, можна збирати або для зберігання, або для подальшого використання у виробництві хімічних продуктів. Сингаз 23 можна направляти на інші установки, такі як-от хімічна або біотехнологічна установка, наприклад, установка ферментування, для підвищення його цінності за рахунок виробництва хімічних продуктів, таких як-от етанол або метанол. Зазначений поділ можна втілювати з використанням хімічної абсорбції, адсорбції або будь-якої іншої доступної технології.

Відновний газ 11 включає перший потік 21 відхідного зверху, відновного газу, до якого додають чистий водень 40, вироблений на установці 9 для одержання водню. В іншому варіанті здійснення він також може містити певну кількість природного газу, на доданок до чистого водню або замість нього.

В якості альтернативи для підвищення вмісту вуглецю в залізі прямого відновлення, до відновного газу можна додавати додаткове джерело вуглецю. Мережа установок може додатково включати коксову установку 4, а газ COG 43, який випускається із зазначеної коксової установки, можна вводити в шахтну піч 1 як постачальник вуглецю. У переважному варіанті здійснення газ COG спочатку поділяють у розділювальній установці 46 на газ 44, збагачений на H₂, який, необов'язково, можна використовувати як частину відновного газу 11, і вуглецевмісний потік 45, збагачений на CH₄ і CO, який можна впорскувати разом з відновним газом 11 і/або незалежно від нього в перехідну зону і/або вводити разом з охолоджувальним газом 26.

Таке додаткове джерело вуглецю може перебувати в газоподібній формі і/або у формі твердої речовини і складатися з біогазу і/або біовугілля.

Біогаз є відновлюваним джерелом енергії, яку можна одержувати шляхом розщеплення органічного матеріалу без кисню всередині закритої системи, яка називається біореактором. Біогаз можна одержувати з таких видів сировини, як сільськогосподарські відходи, гній, побутові відходи, рослинний матеріал, стічні води, відходи лісорозробок, харчові відходи або будь-які біорозкладавані матеріали.

Біовугілля є паливом з нульовим балансом викидів вуглецю, яке може замінити викопне вугілля у промислових процесах. Його одержують піролізом і карбонізацією біомаси, які здійснюються за умов контрольованої температури і часу перебування. Термічне перетворення біомаси, яке проводять за безкисневих умов процесу, дозволяє видаляти з джерела сировини леткі органічні сполуки і целюлозні компоненти, і одержувати тверде біопаливо з характеристиками, подібними до показників викопного вугілля.

У переважному варіанті здійснення вміст вуглецю в залізі прямого відновлення встановлюється в діапазоні від 0,5 до 4 % мас., переважно від 1 до 2 % мас., що дозволяє одержувати залізо прямого відновлення, з яким можна легко поводитись і яке зберігає хороший потенціал згоряння для його подальшого використання.

Спосіб, відповідний цьому винаходу, дозволяє досягати кращого використання відхідного зверху відновного газу печі, з точки зору підвищення вартості цінних компонентів при одночасному виключенні переробки газу BOFG і/або BFG. Таким чином, він дозволяє досягати підвищення загальної ефективності мережі установок, поряд з оптимальною продуктивністю і рентабельністю капіталовкладень. Крім того, він дозволяє зменшувати вуглецевий слід всього сталеливарного заводу.

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

1. Спосіб експлуатації мережі установок, яка має:
 - доменну піч, яка виробляє гарячий метал і газ доменної печі,
 - сталеливарну піч, яка виробляє сталь і газ сталеливарного виробництва,
 - піч прямого відновлення, в яку завантажують окиснене залізо, яке підлягає відновленню відновлюючим газом для одержання заліза прямого відновлення і відновного газу, який відходить зверху печі, причому відновний газ, який відходить зверху печі, уловлюють і розділяють на два потоки, перший з яких повертають в піч прямого відновлення як відновлюючий газ, а другий потік перетворюють в сингаз, щонайменше один пальник, здатний подавати тепло у відновлюючий газ перед його впорскуванням в піч прямого відновлення,
 - хімічну та/або біохімічну установку, в якій зазначений сингаз перетворюють на хімічний та/або біохімічний продукт,
 - при цьому газ доменної печі і/або газ сталеливарного виробництва використовують як паливо для зазначеного пальника.
2. Спосіб за п. 1, за яким перший потік становить від 40 до 99 об. % від відхідного зверху печі відновного газу.
3. Спосіб за п. 1, за яким перший потік становить від 50 до 70 об. % від відхідного зверху печі відновного газу.
4. Спосіб за будь-яким з попередніх пунктів, за яким зазначений перший потік відновного газу, який відходить зверху печі, перед нагріванням змішують з газоподібним воднем для утворення відновлюючого газу.
5. Спосіб за п. 4, за яким мережа установок додатково включає установку для одержання водню, призначену для одержання водню, який підлягає змішуванню з відновлюючим газом.
6. Спосіб за п. 5, за яким установка для одержання водню є установкою електролізу.
7. Спосіб за будь-яким з попередніх пунктів, за яким нагрітий відновлюючий газ змішують з вуглецевмісним газом перед впорскуванням в піч прямого відновлення.
8. Спосіб за п. 7, за яким мережа установок додатково включає коксову піч, яка виробляє кокс і газ коксової печі, при цьому вуглецевмісний газ є частиною зазначеного газу коксової печі.
9. Мережа установок, яка включає:
 - доменну піч (2), яка виробляє гарячий метал і газ (41) доменної печі,
 - сталеливарну піч (3), яка виробляє сталь і газ (42) сталеливарного виробництва,
 - піч (1) прямого відновлення, в яку завантажують окиснене залізо (10), яке підлягає відновленню відновлюючим газом (11) для одержання заліза (12) прямого відновлення і відновного газу (20), який відходить зверху печі, виконану з можливістю уловлювання відновного газу, який відходить з верхньої частини печі, і розділення його на два потоки, перший з яких повертають в піч прямого відновлення як відновлюючий газ, а другий потік перетворюють в сингаз,

- щонайменше один пальник (8), здатний подавати тепло (25) у відновлюючий газ (11) перед його впорскуванням в піч прямого відновлення, газову лінію, якою в пальник (8) можна подавати як паливо газ (41) доменної печі і/або газ (42) сталеливарної печі,
- 5 хімічну та/або біохімічну установку, в якій зазначений сингаз перетворюють на хімічний та/або біохімічний продукт.

