УКРАЇНА

(19) UA (11) 131117 (13) C2

(51) МПК (2026.01)
C21B 5/06 (2006.01)
C21B 13/00

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

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(21) Номер заявки: **a 2023 01406**

(22) Дата подання заявки: **09.09.2021**

(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: **13.08.2026**

(31) Номер попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції: **LU102057**

(32) Дата подання попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції: **09.09.2020**

(33) Код держави-учасниці Паризької конвенції, до якої подано попередню заявку: **LU**

(41) Публікація відомостей про заявку: **01.11.2023, Бюл.№ 44**

(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: **12.08.2026, Бюл.№ 32**

(86) Номер та дата подання міжнародної заявки, поданої відповідно до Договору PCT: **PCT/EP2021/074749, 09.09.2021**

(72) Винахідник(и):
Кастаньола Крістіано (IT),
Мічелєтті Лоренцо (IT),
Кінцель Клаус Петер (LU),
Валєріус Міріам (DE)

(73) Володілець (володільці):
ПОЛЬ ВУРТ С.А.,
32, rue d'Alsace, 1122 Luxembourg, Luxembourg (LU)

(74) Представник:
Петров Андрій Володимирович, реєстр. №139

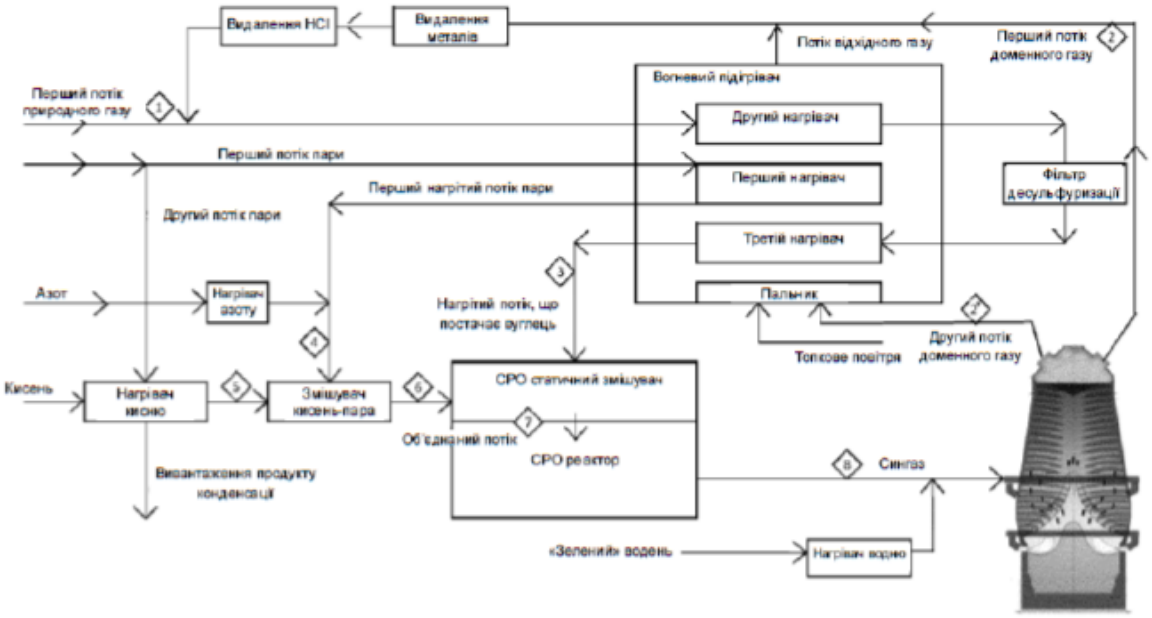
(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою:
WO 2009/100819 A1, 20.08.2009
WO 2005/098052 A1, 20.10.2005
UA a201106656, 25.08.2011
UA 99945 C2, 25.12.2012

UA 131117 C2

(54) СПОСІБ ЕКСПЛУАТАЦІЇ УСТАНОВКИ ДОМЕННОЇ ПЕЧІ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ПЕРЕРОБНОГО ЧАВУНУ ІЗ ЗАЛІЗНОЇ РУДИ ТА УСТАНОВКА ДОМЕННОЇ ПЕЧІ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ЦЬОГО СПОСОБУ

(57) Реферат:

Спосіб експлуатації доменної печі для виробництва переробного чавуну, що включає стадії: (А) нагрівання потоку пари в першому нагрівачі перед або після змішування з джерелом кисню, вибраним з кисню і збагаченого киснем повітря, для забезпечення нагрітого потоку збагаченої киснем пари, (Б) нагрівання потоку доменного газу з доменної печі й потоку природного газу у другому нагрівачі перед або після їх змішування для забезпечення нагрітого потоку, що постачає вуглець, (В) подача нагрітого потоку збагаченої киснем пари і нагрітого потоку, що постачає вуглець або у вигляді змішаного потоку, або окремо в реактор каталітичного часткового окиснення для вироблення потоку гарячого сингазу, і (Г) подача потоку сингазу до шахти доменної печі.


Видалення HCl
Видалення металів
Потік відхідного газу
Перший потік доменного газу
Вогневий підігрівач
Перший потік природного газу
Другий нагрівач
Перший потік пари
Перший нагрівач
Фільтр десульфуризації
Перший нагрітий потік пари
Другий потік пари
Третій нагрівач
Азот
Нагрівач азоту
Нагрітий потік, що постачає вуглець
Пальник
Другий потік доменного газу
Топкове повітря
Кисень
Нагрівач кисню
Змішувач кисень-пара
СРО статичний змішувач
Об'єднаний потік
СРО реактор
Синтез
Вивантаження продукту конденсації
«Зелений» водень
Нагрівач водню

Галузь техніки

В цілому, даний винахід відноситься до способу експлуатації установки доменної печі, а також до такої установки доменної печі.

Рівень техніки

Незважаючи на альтернативні способи, такі як плавлення металевого брухту або відновлення електродугової печі, доменна піч (BF) в даний час являє собою найбільш широко використовуваний процес виробництва сталі. Однією з проблем установки доменної печі є доменний газ (BFG), що виходить із доменної печі. Оскільки цей газ виходить із доменної печі у верхній частині, зазвичай його також називають верхнім газом (top gas). У той час як спочатку цьому доменному газу дозволяли просто виходити в атмосферу, пізніше цьому запобігали за допомогою використання його в електростанціях, що живляться BFG, щоб не витрачати енергоутримання газу і не викликати надмірного навантаження на навколишнє середовище. Одним компонентом доменного газу є CO_2, який є екологічно шкідливим і головним чином марним для промислових застосувань. Дійсно, відхідний газ, що залишає електростанцію, що живиться доменним газом, типово має концентрацію CO_2 від 20 % за об'ємом до 40 % за об'ємом Доменний газ після спалювання зазвичай містить крім вищезазначеного CO_2 значні кількості N_2, CO, H_2O і H_2. Однак вміст N_2 значною мірою залежить від того, чи використовують в доменній печі гаряче повітря або (чистий) кисень.

Головним чином для зменшення кількості використовуваного коксу або іншого джерела вуглецю було запропоновано повертати доменний газ із доменної печі, обробляти його для покращення його відновлювального потенціалу і вводити його назад в доменну піч для сприяння процесу відновлення. Одним способом здійснення цього є зниження вмісту CO_2 в доменному газі за допомогою адсорбції з перепадом тиску (PSA) або вакуумної адсорбції з перепадом тиску (VPSA), як це розкрито в патентній заявці EP 2 886 666 A1. Установки PSA/VPSA виробляють потік газу, який є багатим CO і H_2, і додатковий потік газу, багатий CO_2 і H_2O. Потік газу може бути використаний як відновлювальний газ і подається назад в доменну піч. Прикладом такого підходу є процес ULCOS (виробництво сталі з ультранизьким CO_2), де окрім рециркульованого потоку газу в доменну піч подають пилоподібне вугілля і холодний кисень. Цей тип печі також називають "піччю з кисневим дуттям (OBF) з рециркуляцією верхнього газу".

Додатковий потік газу може бути видалений із установки, і утилізований після вилучення теплотворної здатності, що залишилася. Ця утилізація суперечливо полягає у закачуванні багатого CO_2 газу для зберігання у підземних порожнинах. Крім того, хоча PSA/VPSA установки роблять можливим значне зниження вмісту CO_2 в доменні газі від приблизно 35 % до приблизно 5 %, вони є дуже дорогими в придбанні, підтримці та експлуатації та, крім того, вони потребують багато місця.

Також було запропоновано використовувати доменний газ як агент реформінгу для вуглеводнів для одержання синтетичного газу (який також називають сингазом), який може бути використаний для кількох промислових цілей. Відповідно до звичайного процесу реформінгу доменний газ змішується з паливним газом, який містить щонайменше один вуглеводень (наприклад, нижчі алкани). У так званій реакції сухого реформінгу вуглеводні паливного газу реагують з CO_2 у доменному газі з утворенням H_2 і CO. Одночасно вуглеводні реагують з H_2O в доменному газі також з утворенням H_2 і CO у так званій реакції парового реформінгу. У будь-якому випадку, одержаний таким чином синтетичний газ має значно збільшену концентрацію H_2 і CO.

Проблемами з наведеними вище рішеннями є те, що вони потребують коштовного і технічно складного виконання.

Технічна проблема

Таким образом, метою даного винаходу є розробка нового способу експлуатації установки доменної печі, тобто доменної печі і її допоміжного виконання, а також, щонайменше, часткове подолання цих проблем.

Загальний опис винаходу

Для досягнення цієї мети даний у винаході запропоновано, у першому аспекті, спосіб експлуатації доменної печі для виробництва переробного чавуну, що містить у себе стадії:

(А) нагрівання потоку пари в першому нагрівачі перед або після змішування з джерелом кисню, вибраним з кисню (O_2) і збагаченого киснем повітря, для забезпечення нагрітого потоку збагаченої киснем пари,

(Б) нагрівання потоку доменного газу із доменної печі і першого потоку природного газу у другому нагрівачі перед або після їх змішування для забезпечення нагрітого потоку, що постачає вуглець,

(В) подача нагрітого потоку збагаченої киснем пари і нагрітого потоку, що постачає вуглець, або у вигляді змішаного потоку, або окремо в реактор каталітичного часткового окиснення для вироблення потоку гарячого сингазу, і

(Г) подача потоку сингазу до шахти доменної печі.

У другому аспекті даного винаходу запропонована установка доменної печі для виробництва переробного чавуну, що містить у себе доменну піч, оснащену газовими входами в шахту, виконаними для подачі потоку сингазу в доменну піч. Установка доменної печі також містить у себе перший нагрівач в гідродинамічному зв'язку нижче за потоком з потоком пари і в гідродинамічному зв'язку нижче за потоком або вище за потоком з джерелом кисню, що забезпечує кисень або збагачене киснем повітря, причому перший нагрівач виконаний для нагрівання потоку пари для забезпечення нагрітого потоку збагаченої киснем пари, другий нагрівач знаходиться у гідродинамічному зв'язку з верхньою частиною доменної печі, виконаної для спрямування потоку доменного газу, і з джерелом потоку природного газу, причому другий нагрівач виконаний для нагрівання потоку доменного газу і потоку природного газу або окремо, або у суміші для забезпечення нагрітого потоку, що постачає вуглець, причому перший і другий нагрівачі знаходяться у гідродинамічному зв'язку нижче за потоком щонайменше з одним або більше входами реактора каталітичного часткового окиснення, виконаного для виробництва потоку сингазу, або безпосередньо для подачі нагрітого потоку збагаченої киснем пари і нагрітого потоку, що постачає вуглець окремо до одного або більше входів реактора або через змішувальний блок, виконаний для першого поєднання нагрітого потоку збагаченої киснем пари з нагрітим потоком, що постачає вуглець, для забезпечення об'єднаного потоку і для подачі об'єднаного потоку до одного або більше входів реактора. Крім того, реактор каталітичного часткового окиснення також знаходиться у гідродинамічному зв'язку нижче за потоком з газовими входами в шахту доменної печі. Переважно, установка доменної печі може експлуатуватися за допомогою здійснення способу відповідно до першого аспекту і як описано більш докладно нижче.

Реактори каталітичного часткового окиснення в техніці виробництва синтетичного газу (сингазу). Переважно, реактор каталітичного часткового окиснення є реактором каталітичного часткового окиснення з коротким часом контакту. Процес каталітичного часткового окиснення (CPO) базується на наступній реакції, де кисень може також походити з повітря або збагаченого киснем повітря або комбінації кисню і азоту:

$CH_4+1/2\ O_2 \leftrightarrow CO+H_2$,

яку проводять за допомогою зіткнення протягом кількох мілісекунд газоподібних попередньо змішаних потоків реагентів з надзвичайно гарячою каталітичною поверхнею. Виникає швидка та вибіркова хімічна реакція, яка обмежена всередині тонкої міжфазної зони "тверде тіло-газ", яка оточує частинки каталізатора. Тут молекули типово проводять дуже короткий час при температурах, що змінюються між 600 і 1200 °C. Головною проблемою для технічної експлуатації є можливість запобігання поширенню реакцій у газову фазу, яка повинна залишатися при "відносно низькій" температурі. Ця умова сприяє утворенню первинних продуктів реакції (а саме, CO і H_2), уповільнюючи ланцюгові реакції.

Експериментальні дослідження показують, що ці продукти часткового окиснення виробляються за допомогою паралельних і конкуруючих поверхневих реакцій, і що утворення продуктів часткового окиснення є переважним в умовах CPO внаслідок дуже високих поверхневих температур. Наявність реакцій у цих локальних навколишніх умовах визначає у деяких випадках значення перетворення та вибірковості вищі, ніж передбачені за допомогою термодинамічної рівноваги при температурах на виході реактора.

Каталітичне часткове окиснення і каталітичне часткове окиснення з коротким часом контакту (SCT-CPO) поєднують характеристики гетерогенного каталізу і безполум'яного горіння в пористому середовищі й відомі, наприклад, із WO 2011072877, WO 2011151082 і L.E. Basini and A. Guarinoni, "Short Contact Time Catalytic Partial Oxidation (SCT-CPO) for Synthesis Gas Processes and Olefins Production", Ind. Eng. Chem. Res. 2013, 52, 17023-17037 (Каталітичне часткове окиснення з коротким часом контакту (SCT-CPO) для процесів одержання синтетичного газу і виробництва олефінів). Так як SCT-CPO є відомим, головні переваги каталітичного часткового окиснення у додатку до виробництва синтезу для введення в доменну піч можуть бути підсумовані наступним чином:

- малі розміри (розміри реактора зменшені більше ніж на 2 порядки величин у порівнянні з класичним реактором парового реформінгу),

- технічна і експлуатаційна простота (значно зменшена складність у порівнянні, наприклад, з паровим реформінгом),

- найнижчі капітальні витрати на кг виробленого сингазу/годину серед всіх технологій реформінгу природного газу,
- можливість модульної конструкції попередньо виготовлених і монтованих на стійці блоків,
- гнучкість щодо складу сировини та продуктивності, і
- зниження капіталовкладень та споживання енергії.

Справді, винахідники встановили, що технологія виробництва сингазу може бути переважним чином застосована до суміші природного газу і доменного газу, забезпечуючи за допомогою цього сингаз із складами, які особливо придатні для подачі в шахту доменної печі. Фактично подаваний в CPO реактор природний газ піддається реакції часткового окиснення, генеруючи CO і H_2 і виробляючи тепло. Останнє використовують в системі для підтримання ендотермічної реакції реформінгу (конверсія вуглеводню за допомогою пари або CO_2), яка призводить до виробництва CO і H_2. Однак доменний газ має знижений вміст вуглецю у порівнянні з природним газом. Таким чином, поведінка в реакторі є зовсім іншим. Підвищення процентного вмісту доменного газу в потоці подаваного газу є можливим, але повинні підтримуватися значення, такі як критичне відношення, наприклад відношення пари до вуглецю або відношення кисню до вуглецю і максимально прийнятна концентрація компонента в сингазі. З цієї причини може бути переважним обмежувати долю доменного газу, змішуваного з потоком природного газу. Максимальна доля доменного газу в подаваній суміші газів з природним газом зазвичай знаходиться в межах від 15 до 30 % в залежності від фактичного складу і температури подаваного в реактор доменного газу.

Дійсно, винахідники встановили, що особливо переважна якість може бути отримана за допомогою регулювання відношень кисень/вуглець до значень від 0,58 до 0,68 моль/моль, переважно від 0,60 до 0,66 моль/моль, більш переважно від 0,62 до 0,64 моль/моль, найбільш переважно приблизно 0,63 моль/моль, у той час як відношення пара/вуглець, переважно, регулюється до значення від 0,10 до 0,40 моль/моль, переважно від 0,15 до 0,35 моль/моль, більш переважно від 0,20 до 0,30 моль/моль, найбільш переважно приблизно 0,25 моль/моль.

Поведінка доменного газу в реакторі каталітичного часткового окиснення суворо пов'язана з реакціями, що беруть участь у реакторі каталітичного часткового окиснення. Окрім компонентів, що беруть участь в частковому окисненні, реакція зсуву вода-газ також визначає кінцевий склад сингазу. Було встановлено, що присутність CO_2 в потоці доменного газу як наслідок має зміну рівноважного складу, що призводить до надлишку CO_2 для реакції з воднем, збільшуючи, таким чином, вміст CO і H_2O.

На додачу до згаданих вище переваг однією з головних переваг цього способу і установки є значно зменшене виробництво CO_2 при експлуатації доменної печі за рахунок регенерації частини доменного газу для повторного використання з метою зменшення введення вуглецю в доменну піч.

Крім того, введення в шахту одержуваного сингазу дозволяє значне зниження кількості коксу на тонну виробленого переробного чавуну, так званого питомої витрати коксу. Додаткове введення сингазу частково з природного газу є не лише сумісним з введенням через фурми порошкоподібного вугілля або природного газу, але може переважним чином зробити можливою заміну додаткових кількостей коксу на природний газ, тобто природний газ, перетворення в присутності доменного газу в сингаз. Ці та інші переваги цього способу експлуатації доменної печі, а також розкритої зараз установки доменної печі, будуть більш детально пояснені нижче.

Доменний газ, який також можна називати верхнім газом або газом доменної печі (BFG), збирається з верхньої частини доменної печі і є газом, що містить головним чином CO_2 та інші компоненти, такі як CO, H_2O, H_2 або інші. Він може також містити деяку кількість N_2 в залежності від подачі гарячого дуття. Для доменних печей, які зазвичай експлуатують, концентрація N_2 в доменному газі зазвичай складає від 35 до 50 % за об'ємом (% за об'ємом), в той час як для газу доменної печі, що експлуатують згідно з цим винаходом, тобто з використанням виробленого як описано тут сингазу, концентрація N_2 як правило нижче, наприклад нижче 20 % за об'ємом, нижче 10 % за об'ємом або навіть нижче 5 % за об'ємом. Зазвичай доменний газ потребує очищення для зменшення, наприклад, вмісту пилу в ньому. Відповідно, потік доменного газу далі піддають стадії очищення газу, переважно стадії видалення пилу, стадії видалення металів і/або стадії видалення HCl, зазвичай перед змішуванням з потоком природного газу. Відповідно, в переважній установці доменної печі гідродинамічний зв'язок, що направляє потік доменного газу з доменної печі, містить в собі установку очищення газу. Ця установка очищення газу містить в собі блок видалення пилу, такий як один або більше циклонів, скрубери і/або мішкові фільтри, блок видалення металів, такий як реактор з нерухомим шаром активованого вугілля і/або блок видалення HCl, такий як скрубери з

введенням реагенту. Якщо потребується довести доменний газ для певного тиску для генерування сингазу, придатного для введення в шахту доменної печі, він може бути стиснутий, наприклад, до 0,3-0,5 МПа за допомогою спеціальної системи, забезпечену нижче за потоком відносно газової мережі доменної печі.

Живильні потоки до реактора каталітичного часткового окиснення, наприклад потік, що постачає вуглець і потік збагаченої киснем пари, зазвичай повинний досягти температури від 300 до 450 °С після поєднання для належної роботи реактора. Тому в переважних варіантах здійснення способу нагрітий потік, що постачає вуглець зі стадії (Б) надалі нагрівають перед стадією (В) в третьому нагрівачі. У переважних варіантах здійснення установки доменної печі другий нагрівач, таким образом, знаходиться у гідродинамічному зв'язку нижче за потоком з третім нагрівачем, виконаним для подальшого нагрівання потоку, що постачає кисень вище за потоком відносно змішувального блоку.

Тепло для нагрівачів може бути вироблене за допомогою відповідних засобів і джерел енергії. Переважно, у даному способі додатковий потік доменного газу спалюють у пальнику в присутності топкового повітря або збагаченого киснем повітря у першому нагрівачі і/або другому нагрівачі і/або третьому нагрівачі для забезпечення тепла в нагрівачах. В особливо переважних варіантах здійснення перший, другий і третій нагрівачі виконані як відповідні теплообмінники, і один пальник використовують для нагрівання першого, другого і третього теплообмінників.

У переважних варіантах здійснення відпрацьований газ із пальника може буде поданий до потоку доменного газу із доменної печі, до потоку природного газу або до вже (частково) нагрітого потоку, що постачає вуглець. За допомогою цього не тільки може бути використане залишкове тепло відпрацьованого газу з пальника, але також вироблений у пальнику CO_2 доданий до вже наявного в доменному газі.

В інших переважних варіантах здійснення перший, другий і третій нагрівачі виконані у вигляді теплообмінників, що використовують технологічне тепло з інших процесів в установці доменної печі або заводі.

Залежно від джерела (або складу) може бути переважним або необхідним піддавати потік доменного газу і/або потік природного газу і/або потік нагрітого потоку, що постачає вуглець подальшій обробці, такій як стадія десульфуризації. Тому установка доменної печі може додатково містити в себе блок десульфуризації, що знаходиться у гідродинамічному зв'язку з потоком доменного газу і/або потоком природного газу і/або нагрітим потоком, що постачає вуглець, переважно у гідродинамічному зв'язку з нагрітим потоком, що постачає вуглець.

Згідно з винаходом потік пари нагрівають в першому нагрівачі перед або після збагачення киснем для забезпечення нагрітого потоку збагаченої киснем пари. Переважно, кисень/збагачене киснем повітря для збагачення нагрітого потоку пари нагрівають до температури від 100 до 350 °С, більш переважно від 120 до 280 °С. Переважно, кисень/збагачене киснем повітря для збагачення нагрітого потоку пари нагрівають до температури в межах (тобто, що відрізняється на більше ніж) 100 °С, переважно в межах 50 °С, від температури нагрітого потоку пари перед збагаченням.

В особливо переважних варіантах здійснення винаходу нагрітий потік збагаченої киснем пари, потік природного газу і потік доменного газу подають в таких кількостях, що потік сингазу стадії (Г) має хімічний склад, що відповідає наступним обмеженням:

- $CH_4 < 5$ % за об'ємом
- $H_2O < 8$ % за об'ємом, і
- молярне відношення $(CO+H_2)/(H_2O+CO_2) > 7$.

Переважно, потік сингазу стадії (Г) має температури між 800 і 1100 °С, більш переважно між 900 °С і 1000 °С.

Було встановлено, що для експлуатації доменної печі може бути бажаним або вигідним додавати водень, насамперед, так званий відновлюваний або "зелений" водень у відповідному місці технологічного потоку. У цьому контексті відновлюваний або "зелений" водень є воднем (H_2), що виробляється за допомогою електролізу води з використанням електроенергії, що надходить з відновлюваних джерел, таких як вітер, сонячна енергія та гідроенергія. Насамперед, може бути переважним додавати водень до потоку сингазу після реактора каталітичного часткового окиснення перед стадією (Г) для пристосування його температури до необхідного температурного рівня сингазу для введення в шахту або якщо водень попередньо нагрітий до такого ж самого температурного рівня. Попереднє нагрівання водню зазвичай реалізують, наприклад, у відповідному іншому нагрівачі або теплообміннику, який, переважно, нагрівається в тій же самій оболонці, що і перший, другий і третій нагрівачі, яка більш переважно нагрівається за допомогою одного загального пальника.

Вираз "природний газ" в контексті даного винаходу означає не тільки природний газ як такий, тобто наявну у природі суміш викопного походження, що складається головним чином з метану і зазвичай містить у себе змінні кількості інших вищих алканів, але також газів з подібними вуглеводневими компонентами, такими як біогаз або коксовий газ, де вміст забруднень (якщо необхідно, після очистки) робить їх сумісними з контактом з каталізом в СРО реакторі.

"Приблизно" у цьому контексті означає, що дане цифрове значення перекриває діапазон значень від -10 % до + 10 % цифрового значення, переважно, в діапазон від -5 % до +5 % цифрового значення.

"Живлення шахти", "живлення шахти доменної печі" або "введення газу в шахту" мають на увазі введення матеріалу вище рівня гарячого дуття (фурми), тобто вище за заплечики доменної печі, переважно, в зоні відновлення газ-тверде тіло залізної руди вище когезійної зони.

Вираз "збагачене киснем повітря" означає повітря, до якого було додано газоподібний кисень (O_2), так що частка кисню в газі становить від 23 до 85 % за об'ємом або вище, переважно від 60 до 75 % за об'ємом.

Вираз "збагачена киснем пара" означає пару (газоподібну воду), що містить у себе кисень, зазвичай від 10 до 85 % за об'ємом або вище, переважно від 25 до 75 % за об'ємом, газоподібного кисню (O_2).

Вираз "у гідродинамічному зв'язку" означає, що два пристрої з'єднані каналами або трубами так, що текуче середовище, наприклад газ, може текти від одного пристрою до іншого. Цей вираз містить у себе засоби для зміни цієї течії, наприклад клапани або вентилятори для регулювання масової витрати, компресори для регулювання тиску тощо, а також керуючі елементи, такі як датчики, виконавчі механізми тощо, необхідні або бажані для відповідного управління роботою доменної печі в цілому або роботою кожного з елементів в установці доменної печі.

Короткий опис креслень

Переважні варіанти винаходу будуть тепер описані як приклад з посиланням на відповідні креслення, на яких:

Фігура. є схематичною схемою технологічного процесу здійснення установки доменної печі згідно з винаходом і що дозволяє реалізацію способу згідно з винаходом.

Інші подробиці і переваги цього винаходу будуть зрозумілі з наступного докладного опису декількох варіантів здійснення, що не обмежують, з посиланням на додане креслення.

Опис переважних варіантів здійснення

Вимоги до сингазу і його використання в доменній печі відрізняються від застосувань, які вже використовують у даний час.

Ступінь перетворення і температурний рівень сингазу:

В інших галузях промисловості сингаз зазвичай виробляється і потім охолоджується для відділення надлишку пари з сингазу. У зв'язку з цим у процесах нижче за потоком використовують тільки охолоджений газ. У існуючих промислових процесах, крім сталеливарної промисловості, високий відновлювальний потенціал не є важливим. Однак у сталеливарній промисловості є переважним високий відновлювальний потенціал, переважно, вище 7, причому відновлювальний потенціал визначається наступним молярним відношенням: $(cCO+cH_2)/(cH_2O+cCO_2)$.

Крім того, високі температури сингазу є позитивно сумісними з температурним рівнем, необхідним для введення в шахту, щоб дозволяти високу термічну ефективність. Отже, температура має становити близько від 900 до 1100 °C, щоб дозволити його введення в шахту доменної печі.

Відношення H_2/CO

В інших галузях промисловості, крім сталеливарної промисловості, сингаз використовують для специфічних застосувань, таких як виробництво чистого водню, аміаку або інших хімічних компонентів. У зв'язку з цим зазвичай потрібне специфічне відношення водню до CO.

У порівнянні з цим метою використання сингазу в доменній печі є відновлення руди, що досягається за допомогою двох відновлювальних компонентів, CO і водню. Так як є різниця між відновленням руди за допомогою CO або водню, ця різниця є відносно несуттєвою, враховуючи, що сингаз є лише частиною відновлювального газу, що використовують в доменній печі.

Викиди CO_2

Кокс є головним джерелом енергії при виробництві чавуну в доменній печі. З економічної і зв'язаної з CO_2 точки зору він є менш сприятливим джерелом енергії. Широко використовують

заміну коксу іншими джерелами енергії, які у більшості випадків вводять на рівні фурм. У силу міркувань вартості головним чином вводиться порошкоподібне вугілля, однак це джерело енергії використовують у країнах з низькою ціною природного газу. Часто в доменну піч вводять остатки залишки на кшталт пластмасових відходів.

Ці допоміжні палива можуть позитивно впливати на викиди CO_2 з доменної печі при виробництві сталі, тим часом їх використання обмежується з технологічних причин і дуже часто ці обмеження в даний час вже досягнуті. Доменна піч виробляє доменний газ (BFG), який містить приблизно до 40 % енергії, що підводиться до доменної печі. Цей газ зазвичай використовують для покриття внутрішніх потреб у теплі сталеплавильного заводу, а також вироблення електроенергії. З метою зменшення сліду CO_2, що базується на виробництві сталі у доменній печі, важливою стратегією, таким чином, є використання такого BFG для металургійних цілей і застосування інших енергій з малими викидами CO_2, таких як зелена електрична енергія для покриття решти потреб в енергії сталеливарного заводу.

Тому виробництво синтетичного газу, крім використання вуглеводню, який утворює малі кількості CO_2, має також містити у собі наскільки можливо доменний газ для покращення потенціалу зниження викидів CO_2 при виробництві чавуну в доменній печі.

Забруднення

В силу використання вугілля і коксу, а також часто дешевих вторинних видів палива, таких як пластмасові відходи або смола для використання в доменній печі, типові та шкідливі хімічні компоненти, такі як молекули, що містять хлор і сірку, є частиною доменного газу. При використанні цього газу для виробництва сингазу ці компоненти можуть приводити до швидкого отруєння каталізатора реформінгу, якщо він не піддається обробці належним чином.

Тиск

Реакції реформінгу сприяє низький тиск згідно з принципом Ле Шательє. Однак через високу вартість стиснення сингазу нижче за потоком від реактора реформінгу (внаслідок збільшеної швидкості потоку) і малих розмірів виконання і шару каталізатора звичайні способи обробки сингазу виконують під високим тиском. В разі установки доменної печі потрібні лише низькі рівні тиску. Тому сингаз вводять в шахту доменної печі з тиском звичайно між 1 і 4 бар надлишкового тиску.

Реформінг і допоміжні технології для виробництва сингазу:

Реакції реформінгу

Реформінг природного газу в принципі може бути здійснений за допомогою наступної реакції:

Часткове окиснення в присутності кисню: $CH_4+1/2O_2=CO+H_2$.

Ця реакція є основною реакцією в CPO і є сильно екзотермічною, виділяючи за допомогою цього великі кількості енергії.

Паровий реформінг в присутності пари: $CH_4+H_2O=CO+3H_2$.

Сухий реформінг в присутності CO_2: $CH_4+CO_2=2CO+2H_2$.

Ці дві останні реакції є сильно ендотермічними і потребують багато тепла.

Технології реформінгу і їх адаптації до введення в шахту доменної печі

Термодинамічна рівновага при необхідному найкращому відновлювальному потенціалі газу приводить до температури сингазу, яка є ще дуже низькою для його подачі в шахту. Фактично підвищення температури додатково приводить до більш високих вимог до кисню та зниженого відновного потенціалу сингазу, що не є сприятливим для призначеного використання.

Попередній нагрів подаваного газу

Винахідники установили, що для покращення ситуації до CPO може бути застосовано попереднє нагрівання введеного газу. Фактично, з таким попереднім нагріванням може бути не тільки збільшено відновлювальний потенціал сингазу, але також може бути одержана потрібна температура сингазу приблизно у 1000 °C.

На фігурі показаний приклад здійснення переважного способу експлуатації установки доменної печі, що містить у себе введення в шахту потоку сингазу при температурі приблизно 1000 °C і під тиском від 1 до 4 бар надлишкових.

На фігурі показані наступні головні потоки, які будуть додатково пояснені нижче:

[1] - Потік природного газу, який подають до другого нагрівача після змішування з потоком доменного газу.

[2] - Потік доменного газу, який буде змішаний з потоком природного газу і потім поданий до другого нагрівача і CPO реактора. Цей потік доменного газу перед цим повинний бути належним чином очищений (видалення металів і HCl).

[2*] - Додатковий потік доменного газу, що подається до пальника для нагрівання першого, другого і третього нагрівачів.

[3] - Нагрітий потік, що постачає вуглець, що складається з нагрітого доменного газу і природного газу для подачі до СРО реактора.

[4] - Нагрітий потік пари (для збагачення киснем) і подачі до СРО реактора.

[5] - Нагрітий потік кисню (для змішування з парою) і подаваний до СРО реактора.

[6]- Нагрітий потік збагаченої киснем пари для подачі до СРО реактору.

[7] - Нагрітий потік збагаченої киснем пари і нагрітий потік, що постачає вуглець у вигляді об'єднаного потоку в СРО реактор (що тече із статичного змішувача до реактора).

[8] - Потік сингазу (для введення в шахту доменної печі), факультативно з доданим воднем, переважно відновлюваним воднем.

На фігурі перший потік [2] доменного газу збирають з верхньої частини доменної печі і при необхідності очищують, наприклад, за допомогою видалення пили, металів, HCl тощо. Цей потік очищеного доменного газу і потік [1] природного газу нагрівають у другому і третьому нагрівачі перед або після змішування для одержання нагрітого потоку, що постачає вуглець [3] для розташованого нижче за потоком реактора каталітичного часткового окиснення. Якщо є необхідним або корисним, потік [1] природного газу, потік [2] доменного газу або потік [3], що постачає вуглець, можуть бути додатково очищені, наприклад, за допомогою піддавання їх стадії десульфуризації (фільтр десульфуризації).

Одночасно потік [4] пари нагрівають у першому нагрівачі перед або після змішування з джерелом кисню, вибраним з кисню (газоподібний кисень O_2) і збагаченого киснем повітря для одержання нагрітого потоку [6] збагаченого киснем потоку. Переважно, джерело кисню спочатку нагрівають в нагрівачі кисню, наприклад теплообміннику, який нагрівають за допомогою додаткового потоку пари для одержання нагрітого потоку [5] кисню, сконденсованої води, яку одержують із теплообміну цього додаткового потоку пари, що вивантажують потім із теплообмінника (вивантаження продукту конденсації). Нагрітий потік [5] кисню, переважно, нагрівають у четвертому нагрівачі (нагрівач кисню) до температур, що сягають/близько відповідають температурі нагрітого потоку, що постачає вуглець [4] (тобто, температур, що відрізняються не більше ніж на 100 °С, переважно не більше ніж на 50 °С, від температур нагрітого потоку, що постачає вуглець).

Перший, другий і третій нагрівачі, переважно, є теплообмінниками, переважно в одній і той самій оболонці (вогневий підігрівач), яку більш переважно нагрівають загальним пальником. Цей пальник, що переважно, приводиться у дію за допомогою спалювання додаткового потоку доменного газу в присутності повітря, збагаченого киснем повітря або навіть кисню. У деяких варіантах здійснення відхідний газ, що виробляється від спалювання додаткового потоку доменного газу в присутності повітря, збагаченого киснем повітря або кисню, може бути доданий до потоку [2] доменного газу або до потоку [1] природного газу або до потоку [3], що постачає вуглець, переважно, до потоку [2] доменного газу вище за потоком від наведених вище стадій очистки.

Якщо корисно або необхідно, потік азоту із джерела азоту може бути доданий до нагрітого потоку [4], що постачає вуглець, до нагрітого потоку [5] кисню або до об'єднаного потоку [6], переважно, після нагрівання в іншому (азотному) нагрівачі до температур, що сягають/близько відповідають температурі потоку, до якого його додають (тобто, температур, що відрізняються не більше ніж на 100 °С, переважно не більше ніж на 50 °С, від температур потоку, до якого його додають).

Потім нагрітий потік [4] пари змішують з нагрітим потоком [5] джерела кисню для одержання нагрітого потоку [6] збагаченої киснем пари, що буде поданий до СРО реактора через один або більше входів СРО реактора.

Нагрітий потік, що постачає вуглець також подають до СРО реактора через один або більше входів реактора. Об'єднаний потік із нагрітого потоку збагаченої киснем пари і потоку, що постачає кисень [7] факультативно після змішування у змішувачі, наприклад СРО статичному змішувачі, потім вводять в реакцію на поверхні каталізатора в СРО реакторі для утворення потоку сингазу [8], що має температури в діапазоні від 900 до 1100 °С.

Якщо бажано або вигідно, потік водню, переважно, відновлюваного або так званого "зеленого" водню, може бути доданий до потоку [8] сингазу якщо необхідно після попереднього нагрівання у придатному нагрівачі (нагрівач водню).

(Факультативно, додатково стиснутий) потік сингазу [8] з доданим факультативно воднем, переважно, відновлюваним воднем, після цього подають до входу газу в шахту доменної печі, тобто вище за заплечики, переважно, в зону відновлення газ-тверде тіло оксиду заліза над когезійною зоною.

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

1. Спосіб експлуатації доменної печі для виробництва переробного чавуну із залізної руди, що включає стадії:

(А) нагрівання потоку пари в першому нагрівачі перед або після змішування з джерелом кисню, вибраним з кисню і збагаченого киснем повітря, для забезпечення нагрітого потоку збагаченої киснем пари,

(Б) нагрівання потоку доменного газу з доменної печі і потоку природного газу у другому нагрівачі перед або після їх змішування для забезпечення нагрітого потоку, що постачає вуглець,

(В) подача нагрітого потоку збагаченої киснем пари і нагрітого потоку, що постачає вуглець, або у вигляді змішаного потоку, або окремо в реактор каталітичного часткового окиснення для вироблення потоку гарячого сингазу, і

(Г) подача потоку сингазу як відновлювального газу до шахти доменної печі.

2. Спосіб за п. 1, причому джерелом кисню є кисень, а реактор каталітичного часткового окиснення є реактором каталітичного часткового окиснення з коротким часом контакту.

3. Спосіб за п. 1 або 2, причому потік доменного газу додатково піддають стадії очистки газу, переважно стадії видалення пилу, стадії видалення металу і/або стадії видалення HCl, перед змішуванням з потоком природного газу.

4. Спосіб за будь-яким із пп. 1-3, причому нагрітий потік, що постачає вуглець стадії (Б) перед стадією (В), додатково нагрівають в третьому нагрівачі.

5. Спосіб за будь-яким із пп. 1-4, причому додатковий потік доменного газу спалюють в пальнику в першому і/або другому нагрівачі і/або, якщо застосовно, третьому нагрівачі для забезпечення тепла в нагрівачах.

6. Спосіб за п. 5, причому перший, другий і третій нагрівачі нагрівають за допомогою одного й того самого пальника.

7. Спосіб за п. 5 або 6, причому вироблений пальником(ами) відхідний газ подають до потоку, що виходить з доменної печі, доменного газу, який подають до потоку природного газу або до нагрітого потоку, що постачає вуглець.

8. Спосіб за будь-яким із пп. 1-7, причому потік доменного газу і/або потік природного газу, і/або нагрітий потік, що постачає вуглець, піддають стадії десульфуризації, переважно стадії десульфуризації піддають нагрітий потік, що постачає вуглець.

9. Спосіб за будь-яким із пп. 1-8, причому температура об'єднаного потоку в стадії (В) становить від 200 до 500 °С, переважно від 300 до 400 °С.

10. Спосіб за будь-яким із пп. 1-9, причому джерело кисню для збагачення нагрітого потоку пари нагрівають до температури, що відрізняється не більше ніж на 100 °С, переважно не більше ніж на 50 °С, від температури нагрітого потоку пари перед збагаченням киснем.

11. Спосіб за будь-яким із пп. 1-10, причому нагрітий потік збагаченої киснем пари, потік природного газу і потік доменного газу подають в таких кількостях, що потік сингазу в стадії (Г) має хімічний склад, що задовольняє наступні обмеження: CH_4<5 % за об'ємом, H_2O<8 % за об'ємом і $(CO+H_2)/(H_2O+CO_2)$>7.

12. Спосіб за будь-яким із пп. 1-11, причому перед стадією (Г) до потоку сингазу додають потік H_2, переважно потік відновлюваного H_2, причому потік H_2 переважно має бути нагрітий.

13. Установка доменної печі для виробництва переробного чавуну із залізної руди, причому установка доменної печі містить доменну піч, оснащену газовими входами в шахту, виконаними для подачі потоку сингазу як відновлювального газу в доменну піч, і причому установка доменної печі також містить перший нагрівач в гідродинамічному зв'язку нижче за потоком з потоком пари і в гідродинамічному зв'язку нижче за потоком або вище за потоком з джерелом кисню, що забезпечує кисень, або збагачене киснем повітря, причому перший нагрівач виконаний для нагрівання потоку пари для забезпечення нагрітого потоку збагаченої киснем пари, другий нагрівач знаходиться у гідродинамічному зв'язку з верхньою частиною доменної печі, виконаною для спрямування потоку доменного газу, і з джерелом потоку природного газу, причому другий нагрівач виконаний для нагрівання потоку доменного газу і потоку природного газу або окремо, або у суміші для забезпечення нагрітого потоку, що постачає вуглець, причому перший і другий нагрівачі знаходяться у гідродинамічному зв'язку нижче за потоком щонайменше з одним або більше входами реактора каталітичного часткового окиснення, виконаного для виробництва потоку сингазу, або безпосередньо для подачі нагрітого потоку збагаченої киснем пари і нагрітого потоку, що постачає вуглець, окремо до одного або більше входів реактора або через змішувальний блок, виконаний для першого поєднання нагрітого потоку збагаченої киснем пари з нагрітим потоком, що постачає вуглець, для забезпечення

об'єднаного потоку і для подачі об'єднаного потоку до одного або більше входів реактора, причому реактор каталітичного часткового окиснення знаходиться у гідродинамічному зв'язку нижче за потоком з газовими входами, які підводять газ в шахту доменної печі.

14. Установка за п. 13, причому установка доменної печі виконана для здійснення способу експлуатації доменної печі для виробництва переробного чавуну із залізної руди за будь-яким із пп. 1-12.

15. Установка за п. 13 або 14, причому джерело кисню є газоподібним киснем, а реактор каталітичного часткового окиснення є реактором каталітичного часткового окиснення з коротким часом контакту.

16. Установка за будь-яким із пп. 13-15, причому гідродинамічний зв'язок, що спрямовує потік доменного газу з доменної печі, містить установку очистки газу, яка переважно містить блок видалення пилу, блок видалення металів і/або блок видалення HCl.

17. Установка за будь-яким із пп. 13-16, причому другий нагрівач знаходиться у гідродинамічному зв'язку нижче за потоком з третім нагрівачем, виконаним для додаткового нагрівання потоку, що постачає кисень, вище за потоком від змішувального блока.

18. Установка за будь-яким із пп. 13-17, причому пальник в першому і/або другому нагрівачі і/або, якщо застосовно, третьому нагрівачі знаходиться в гідродинамічному зв'язку з верхньою частиною доменної печі для спрямування і спалювання додаткового потоку доменного газу для забезпечення тепла в нагрівачах.

19. Установка за п. 18, причому перший, другий і третій нагрівачі нагрівають за допомогою одного і того самого пальника.

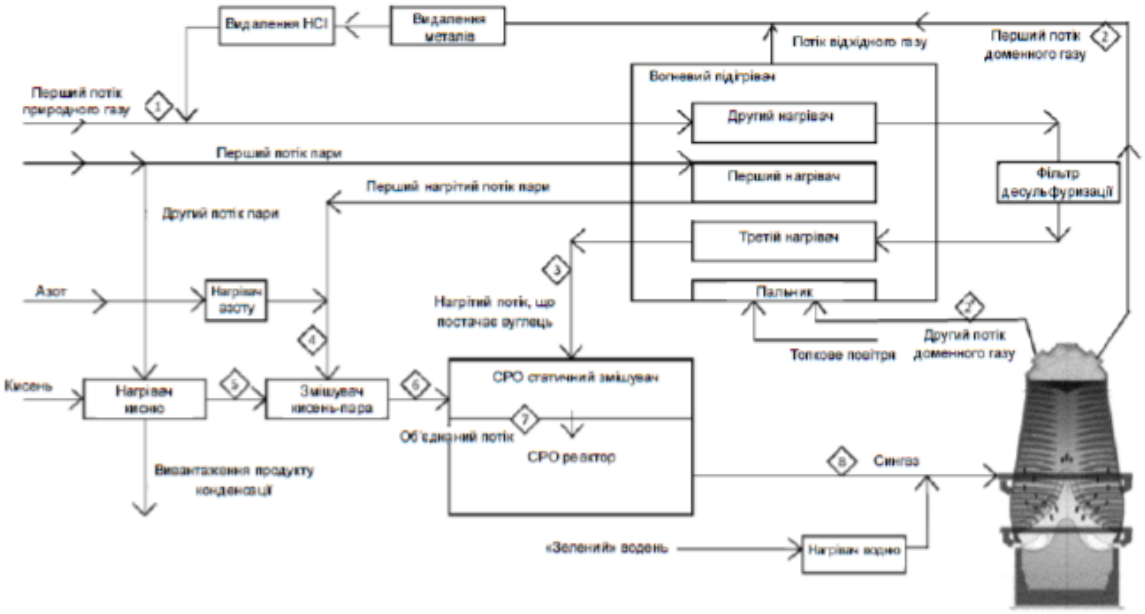
20. Установка за п. 18 або 19, причому кожний пальник містить пристрій збору відхідного газу, який виконано для подачі відхідного газу до потоку доменного газу з доменної печі, до потоку природного газу або до нагрітого потоку, що постачає вуглець.

21. Установка за будь-яким із пп. 13-20, що містить блок десульфуризації, розташований у гідродинамічному зв'язку з потоком доменного газу і/або з потоком природного газу, і/або нагрітого потоку, що постачає вуглець, переважно у гідродинамічному зв'язку з нагрітим потоком, що постачає вуглець.

22. Установка за будь-яким із пп. 13-21, причому першим нагрівачем, другим нагрівачем і, якщо застосовно, третім нагрівачем керують так, що температура об'єднаного потоку становить від 200 до 500 °C, переважно від 300 до 400 °C.

23. Установка за будь-яким із пп. 13-22, причому перший нагрівач знаходиться у гідродинамічному зв'язку вище за потоком з джерелом кисню, що також містить четвертий нагрівач, виконаний для нагрівання кисню для збагачення нагрітого потоку пари нижче за потоком від першого нагрівача до температури, що відрізняється не більше ніж на 100 °C, переважно не більше ніж на 50 °C, від температури нагрітого потоку пари перед збагаченням киснем.

24. Установка за будь-яким із пп. 13-23, причому гідродинамічний зв'язок між реактором каталітичного часткового окиснення і газовими входами в шахту доменної печі забезпечений гідродинамічним зв'язком з джерелом потоку H_2, переважно потоку відновлюваного H_2, більш переважно гідродинамічний зв'язок з джерелом потоку H_2 забезпечений іншим нагрівачем для нагрівання потоку H_2.



Комп'ютерна верстка Л. Бурлак

ДО "Український національний офіс інтелектуальної власності та інновацій", вул. Дмитра Годзенка, 1, м. Київ – 42, 01601