УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **129201** (13) **C2**

(51) МПК (2025.01)
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 2021 07265**

(22) Дата подання заявки: **19.05.2020**

(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: **06.02.2025**

(31) Номер попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції: **LU101227**

(32) Дата подання попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції: **21.05.2019**

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

(41) Публікація відомостей про заявку: **11.05.2022, Бюл.№ 19**

(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: **05.02.2025, Бюл.№ 6**

(86) Номер та дата подання міжнародної заявки, поданої відповідно до Договору РСТ: **PCT/EP2020/063952, 19.05.2020**

(72) Винахідник(и):
Кінцель Клаус Петер (LU),
Агравал Ананд Кумар (LU),
Касс Жіль (LU)

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

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

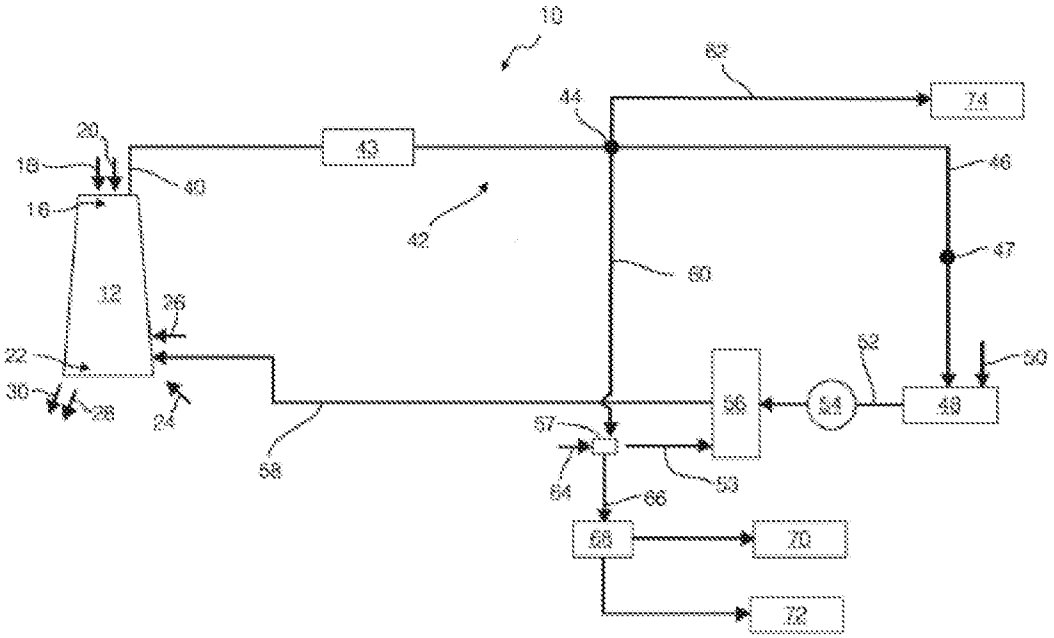
(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою:
EP 2886666 A1, 24.06.2015
WO 2019/057930 A1, 28.03.2019

UA 129201 C2

(54) СПОСІБ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДОМЕННОЇ ПЕЧІ

(57) Реферат:

Винахід належить до способу експлуатації доменної печі. Для забезпечення оптимізованої експлуатації доменної печі спосіб включає: збір доменного газу з доменної печі (12), причому доменний газ є CO_2-вмістним газом; змішування доменного газу з паливним газом для одержання газової суміші, причому паливний газ є газом, що містить вуглеводні; виконання процесу риформінгу газової суміші, одержуючи тим самим синтез-газ, що містить CO і H_2; і подачу щонайменше частини синтез-газу та збагаченого киснем газу (26) у доменну піч, причому доменний газ змішують з паливним газом, при вмісті, по суті, тієї ж самої кількості CO_2, що і при виході з доменної печі, і причому доменний газ змішують з паливним газом у надстехіометричному співвідношенні таким чином, що синтез-газ містить надлишкову частину доменного газу.


10
62
74
44
20
18
40
43
46
16
42
47
60
32
26
22
52
50
30
28
24
56
54
57
64
66
68
70
72

Галузь техніки

Винахід відноситься до способу експлуатації доменної печі.

Рівень техніки

Незважаючи на альтернативні способи, такі як плавка скрапу або пряме відновлення заліза всередині електродугової печі, плавка в доменній печі на даний час усе ще являє собою найбільш широко використовуваний техпроцес для виробництва сталі. Однією з проблем установки доменної печі є доменний газ, що виходить із доменної печі. Оскільки цей газ виходить із доменної печі на її колошнику, то його зазвичай позначають також як "колошниковий газ". При тому, що спочатку цей доменний газ дозволено було просто скидати в атмосферу, це вже давно вважається непродуктивною витратою ресурсів і надмірним навантаженням на навколишнє середовище. Одним з компонентів у складі доменного газу є діоксид вуглецю CO_2, який є шкідливим для навколишнього середовища і у більшості випадків є не придатним для промислового використання. Фактично, у доменному газі, що відходить від доменної печі, як правило, міститься концентрація CO_2 порядку від 20 % до 50 %. Крім цього, у доменному газі зазвичай містяться значні кількості N_2, CO, H_2O і H_2. При цьому вміст N_2 значною мірою залежить від того, чи використовують під час плавки в доменній печі гаряче повітря, чи (чистий) кисень.

Головним чином для того, щоб зменшити кількість використовуваного коксу, було запропоновано рекупувати доменний газ із доменної печі, піддавати його обробці для покращення його відновного потенціалу та знову вдувати в доменну піч для підтримки техпроцесу відновлення (заліза). Одним зі способів для здійснення цього є зменшення вмісту CO_2 у доменному газі шляхом адсорбції при змінному тиску (PSA) або вакуумної короткоциклової безнагрівної адсорбції (VPSA), суть якої розкрита в патентній заявці EP 2 886 666 A1. В установках адсорбції при змінному тиску/вакуумної короткоциклової безнагрівної адсорбції одержують перший потік газу з високим вмістом CO і H_2 і другий потік газу з високим вмістом CO_2 і H_2O. Перший потік газу може використовуватися як відновний газ та подаватися назад у доменну піч. Одним із прикладів здійснення цього підходу є техпроцес ULCOS (виробництво сталі з вкрай низькими викидами CO_2), за яким крім направленого на повторний цикл першого потоку газу в доменну піч подають пиловугільне паливо та холодний кисень. Цей тип печі також позначають як "доменна піч на кисневому дутті з повторним циклом використання колошникового газу".

Другий потік газу може відводитися із установки та направлятися на утилізацію після відбору залишкової теплотворної здатності газу. Ця утилізація, обґрунтованість якої не безперечна, полягає в перекачуванні газу з високим вмістом CO_2 підземні вмістилища для зберігання. Крім того, хоча установки для адсорбції при змінному тиску/вакуумної короткоциклової безнагрівної адсорбції і забезпечують значне зменшення вмісту CO_2 у доменному газі приблизно з 35 % до приблизно 5 %, однак вони дуже дорогі в придбанні, технічному обслуговуванні та експлуатації та вимагають багато місця для розміщення.

Також було запропоновано здійснювати конверсію доменного газу, щоб одержувати синтез-газ (також позначуваний як сингаз), який може використовуватися для різних промислових цілей. Відповідно до найпоширенішого процесу риформінгу, такого як техпроцес, сутність якого розкрита в WO 2019/057930 A1, доменний газ змішують з паливним газом, який містить щонайменше один вуглеводень (наприклад, CH_4 і, можливо, вуглеводні з більшою молекулярною вагою). За ходом реакції так званої сухої конверсії вуглеводні із складу паливного газу вступають в реакцію з CO_2 у складі доменного газу з одержанням H_2 і CO. За ходом реакції так званої мокрої конверсії вуглеводні вступають в реакцію з H_2O у складі доменного газу з одержанням також H_2 і CO. І в тому і в іншому випадку одержують синтез-газ, який має значно підвищену концентрацію H_2 і CO. Також було запропоновано використовувати цей синтез-газ як відновний газ, який можна направляти на повторний цикл, тобто повторно вводити в доменну піч. Відповідно до одного техпроцесу, сингаз подають у доменну піч разом з гарячим дуттям (тобто, гарячим повітрям) і пиловугільним паливом. Цей тип печі також може бути позначений як "доменна піч на сингазі".

Технічне завдання

У зв'язку з цим, мета даного винаходу полягає в забезпеченні оптимізованої експлуатації доменної печі. Ця мета досягнута за допомогою способу відповідно до п. 1 формули винаходу.

Загальний опис винаходу

Винаходом передбачений спосіб експлуатації доменної печі. У рамках першого етапу спосіб включає збір доменного газу з доменної печі, причому доменний газ є CO_2-вмісним газом. Насамперед, доменний газ може мати концентрацію CO_2 від 20 % до 50 %. Доменний газ (або ДГ) також може позначатися як колошниковий газ, оскільки його відбирають із колошника

доменної печі. Крім CO_2, доменний газ може містити інші компоненти, такі як CO, H_2O, H_2 або інші. Насамперед, він може бути H_2O-вмісним газом. Як буде пояснено далі за текстом, доменний газ, краще, має дуже низьку концентрацію N_2, наприклад, менше 20 %, менше 10 % або менше 5 %. При цьому, в цілому, концентрація N_2 може припадати на діапазон від 0 % до 50 %. Як правило, доменний газ необхідно очищати, щоб зменшити вміст у ньому пилу. Вміст у ньому H_2O також, краще різко, знижують за допомогою конденсації. Це може здійснюватися, наприклад, в установці газоочищення, у якій температуру газу знижують, і вода може конденсуватися.

Зібраний доменний газ (який, як правило, був підданий очищенню) змішують потім з паливним газом для одержання газової суміші, причому паливний газ є газом, що містить вуглеводні. Паливним газом може бути, наприклад, коксовий газ (КГ), природний газ, біогаз або суміш із будь-яких цих газів. Як правило, він має високу концентрацію низькомолекулярних вуглеводнів, насамперед CH_4. У складі газової суміші доменний газ і паливний газ можуть бути змішані між собою більш-менш добре. Об'єднання доменного газу з паливним газом позначають, в цілому, як "забезпечення змішування доменного газу з паливним газом". Цей процес може включати (активне) змішування доменного газу з паливним газом, тобто докладання механічного зусилля для змішування газів. При цьому в деяких випадках достатнім може виявитися, наприклад, вдування двох газів у резервуар таким чином, що змішування відбувається більш-менш пасивно за рахунок конвекційного протікання і/або дифузії. При цьому цілком зрозуміло, що хімічна реакція буде підсилюватися в результаті більшого ступеня змішування. Представляється можливим, що два гази змішують у спеціальному резервуарі, який може позначатися як змішувальний резервуар або змішувальна камера. Коли зібраний доменний газ змішують з паливним газом, представляється можливим і це в кожному разі вписується в обсяг даного винаходу, що в газову суміш додають допоміжний газ, причому допоміжним газом, краще, є CO_2- і/або H_2O-вмісний газ, такий як газ від кисневого конвертера (КК), чиста пара або чистий CO_2. Для коректування складу доменного газу може додаватися допоміжний газ.

Газову суміш піддають процесу риформінгу, одержуючи тим самим синтез-газ, що містить CO і H_2. Хімічний механізм процесу риформінгу не обмежений обсягом винаходу, а, як правило, припускається, щонайменше, що діоксид вуглецю CO_2, що міститься в доменному газі, вступає в реакцію з вуглеводнем у складі паливного газу, наприклад, у відповідності з наступною схемою реакції: $CO_2+CH_4 \rightarrow 2H_2+2\ CO$. Цей процес, отже, може бути позначений як суха конверсія. Також і вода H_2O, що міститься в доменному газі, може вступати в реакцію з вуглеводнем у складі паливного газу, наприклад, у відповідності з наступною схемою реакції: $H_2O+CH_4 \rightarrow 3H_2+CO$. Цей процес, отже, може бути позначений як мокра конверсія. Як правило, за умовами процесу риформінгу потрібні підвищені температури, наприклад, більше 700 °C. Він може здійснюватися в тому ж самому резервуарі, що і для об'єднання (або змішування) газів, або в спеціальному резервуарі для риформінгу. Насамперед, може використовуватися тепловий акумулятор (наприклад, такий, як описано в WO 2010/049536 або US 4,005,986). Кожний з газів - паливний газ і доменний газ - можна нагрівати окремо перед тим, як буде отримана газова суміш. Альтернативно або додатково, можна нагрівати отриману газову суміш, щоб одержувати або підтримувати температуру, необхідну для процесу риформінгу. Процес риформінгу може також здійснюватися в умовах підвищеного тиску. У цьому випадку можна піддавати стисненню газову суміш або можна піддавати стисненню доменний газ і паливний газ окремо, а потім змішувати їх. Здійсненню процесу риформінгу, альтернативно, може сприяти каталізатор, який зазвичай вводять у резервуар для риформінгу. Необхідно відзначити, що при тому, що, щонайменше, певну кількість доменного газу потрібно змішувати з певною кількістю паливного газу, щоб запустити процес риформінгу, змішування та конверсія можуть, щонайменше, частково відбуватися одночасно.

На іншому етапі, щонайменше, частину синтез-газу та збагачений киснем газ подають у доменну піч. Збагаченим киснем газом є, як правило, газ, концентрація O_2 в якому значно більше, ніж в повітрі. Зазвичай збагачений киснем газ складається, головним чином, з O_2, тобто він має концентрацію O_2 більше ніж в 50 %. Краще, він містить щонайменше 60 %, більш краще щонайменше 80 %, найкраще щонайменше 90 % O_2. У деяких випадках збагачений киснем газ навіть може позначатися як "кисень", хоча цілком зрозуміло, що навряд чи можна уникнути незначних концентрацій (наприклад, <5 %) інших компонентів, таких як N_2. Як правило, синтез-газ і збагачений киснем газ подають на рівні фурменого поясу доменної печі або щонайменше через одну фурму.

В способі згідно з винаходом синтез-газ повторно вводять у доменну піч як відновний газ разом зі збагаченим киснем газом. Цілком зрозуміло, що завдяки направленню на повторний

цикл, тобто завдяки конверсії та повторному введенню доменного газу викиди CO_2 з доменної печі можуть бути значно зменшені. При цьому за способом згідно з винаходом не потрібна адсорбція при змінному тиску (PSA) або вакуумна короткоциклова безнагрівна адсорбція (VPSA). Навпаки, доменний газ може використовуватися під час процесу риформінгу в необробленому або незміненому стані. Це означає, що хімічний склад доменного газу не повинен зазнавати зміни на стадії між уловлюванням з доменної печі та процесом риформінгу. Інакше кажучи, і на відміну від способу, сутність якого розкрито в EP 2 886 666 A1, запропонований згідно з винаходом спосіб не вимагає попередньої декарбонізації доменного газу. Інакше кажучи, доменний газ змішують з паливним газом, при вмісті, по суті, тієї ж самої кількості CO_2, що і при виході з доменної печі. Разом з тим, оскільки збагачений киснем газ містить значно менше N_2, ніж повітря, то концентрація відновних газів, таких як CO і H_2, є більш високою, що допомагає збільшити продуктивність доменної печі.

Незважаючи на вищезгадані переваги способу згідно з винаходом, використання збагаченого киснем газу потенційно могло б призвести до певних труднощів. З одного боку, температура полум'я може збільшуватися в порівнянні з використанням повітря, оскільки азот, що міститься в повітрі, охолоджує полум'я в зоні горіння перед фурмами (тобто, у зоні безпосередньо за точкою вдування газу в доменну піч). З іншого боку, температура колошникового газу може знижуватися внаслідок зменшеної кількості азоту, оскільки азот значною мірою сприяє теплопередачі в межах доменної печі. Отже, належне нагрівання та висушування холодної шихти в печі виявляються утрудненими або неможливими, що в результаті призводить до значних експлуатаційних проблем. Гостроту обох цих проблем пом'якшують відповідно до винаходу шляхом того, що доменний газ змішують з паливним газом у надстехіометричному співвідношенні таким чином, що синтез-газ містить у собі надлишкову частину доменного газу. Інакше кажучи, змішування доменного газу та паливного газу у надстехіометричному співвідношенні пом'якшує гостроту проблем як з належним нагріванням, так і з висушуванням холодної шихти в печі.

У випадку з реакцією при стехіометричному співвідношенні кількість окиснювача, головним чином, CO_2 і/або H_2O (що поступають із доменного газу та паливного газу) у газовій суміші (суміші доменного газу з паливним газом) перед конверсією є такою, що його вміст повністю витрачають при реагуванні з вуглеводнем, що міститься в паливному газі. Наприклад, якщо потік паливного газу забезпечує витрату в 1 моль/с метану CH_4, то і потік газової суміші повинен забезпечувати витрату точно в 1 моль/с окиснювача (CO_2 і/або H_2O), щоб увесь метан зміг конверсуватися в H_2 і CO. Залежно від типу вуглеводню, що міститься в паливному газі, це співвідношення між вуглеводнем і окиснювачем може бути різним. У випадку з надстехіометричним співвідношенням, з іншого боку, витрата окиснювача (CO_2 і/або H_2O) у газовій суміші буде більше, ніж його витрата у випадку з стехіометричним співвідношенням. Наприклад, якщо потік паливного газу забезпечує витрату в 1 моль/с метану CH_4, то потік газової суміші повинен забезпечувати витрату в 1,2 моль/с окиснювача (CO_2 і/або H_2O), щоб після повної реакції з вуглеводнем, що міститься в паливному газі, у складі синтез-газу усе ще був окиснювач, що залишився.

Змішування доменного газу з паливним газом у надстехіометричному співвідношенні, як це запропоновано даним винаходом, і на відміну від того, що відомо з рівня техніки, наприклад, з WO 2019/057930 A1, має кілька переваг. З одного боку, надлишкова частина доменного газу має ту ж саму температуру, що і інші компоненти синтез-газу, привносячи тим самим додаткову приховану теплоту в доменну піч, що дозволяє зменшити витрату палива в доменній печі. Інакше кажучи, кількість доменного газу, що виходить за межі стехіометричного співвідношення, діє як теплоносій всередині доменної печі, зменшуючи споживання нею палива. З іншого боку, це допомагає збільшенню температури колошникового газу, оскільки присутнє теплонесуче середовище усередині доменної печі. Інакше кажучи, кількість доменного газу, що виходить за межі стехіометричного співвідношення, діє як теплоносій усередині доменної печі. Надлишкова частина доменного газу, таким чином, дозволяє регулювати температуру колошникового газу доменної печі. Більше того, надлишкова частина доменного газу, що діє як теплоносій, забезпечує відпрацьовування процесу риформінгу при більш низькій температурі, ніж температура, яка зазвичай потрібна при використанні конверсійного реактора або конверсійного резервуара відповідного розміру. Альтернативно, при тій же самій температурі реакції можна залишити незмінним розмір реактора, забезпечуючи значне зменшення капітальних витрат на виробничу установку синтез-газу. Крім того, CO_2 і/або H_2O, що містяться в синтез-газі внаслідок наявності надлишкової частини доменного газу (тобто, внаслідок того факту, що доменний газ змішують з паливним газом у надстехіометричному співвідношенні), можуть вступати в реакцію з C з одержанням CO і/або H_2 за ходом ендотермічної реакції, що знижує температуру полум'я.

Незайвим також буде згадати, що надстехіометричне співвідношення може застосовуватися, щоб скоротити небажані реакції, такі як, наприклад, відкладання нагару під час процесу риформінгу. За допомогою регулювання надстехіометричного співвідношення можна також контролювати реакцію конверсії.

При тому, що доменний газ, краще, змішують з паливним газом у надстехіометричному співвідношенні перед процесом риформінгу, не виключено і це в кожному разі вписується в обсяг даного винаходу, що доменний газ змішують з паливним газом у стехіометричному співвідношенні перед процесом риформінгу та додають додатковий доменний газ після процесу риформінгу. У кожному разі, отриманий синтез-газ, що подавався в доменну піч, може містити значну кількість доменного газу, що не вступив у реакцію.

За допомогою способу згідно з винаходом також представляється можливим повне виключення необхідності у вдуванні гарячого дуття в доменну піч. Але навіть якщо вдування гарячого дуття і застосовують (у зменшеній мірі), то збагачений киснем газ не змішують з гарячим дуттям за межами доменної печі, а вдувають його окремо. Наприклад, його можна було б вдувати з використанням окремого списа вдування або через окремий отвір у зоні фурми.

Краще, синтез-газ подають у доменну піч з температурою, що становить щонайменше 800 °C, краще щонайменше 1000 °C. Інакше кажучи, синтез-газ подають як гарячий газ. При цьому може знадобитися нагрівання синтез-газу після процесу риформінгу. В інших випадках синтез-газ може мати настільки достатньо високу температуру після процесу риформінгу, що він може вводитися в доменну піч без додаткового нагрівання. Синтез-газ може вдуватися в доменну піч на рівні фурменого поясу або, альтернативно, також на рівні нижньої частини шахти доменної печі.

У той ж самий час, збагачений киснем газ може мати температуру менше 100 °C. Насамперед, збагачений киснем газ може мати температуру оточуючого середовища, тобто від 15 °C до 40 °C. При цьому альтернативно, збагачений киснем газ може мати температуру, що становить щонайменше 100 °C. Така підвищена температура може бути обумовлена, наприклад, процесом виробництва збагаченого киснем газу.

Відповідно до одного варіанту здійснення надстехіометричне співвідношення коректують, щоб контролювати температуру колошникового газу доменної печі. Інакше кажучи, співвідношення (або стехіометричний коефіцієнт) використовують як засіб контролю температури колошникового газу. Краще, температуру колошникового газу вимірюють безпосередньо або опосередковано та регулюють шляхом динамічної адаптації співвідношення. Інакше кажучи, використовують замкнутий контур для обмеження більш значних відхилень температури.

Згідно з іншим варіантом здійснення, який може комбінуватися з вищенаведеним варіантом здійснення, надстехіометричне співвідношення коректують, щоб контролювати температуру полум'я в доменній печі. У цьому випадку співвідношення використовують як засіб контролю температури полум'я. Це засновано, головним чином, на ендотермічній реакції CO_2 і/або H_2O з компонентами, такими як кокс або допоміжне паливо, які можуть подаватися або вдуватися в доменну піч. У свою чергу, температура полум'я може вимірюватися безпосередньо або опосередковано, а (надстехіометричне) співвідношення може коректуватися, щоб регулювати температуру полум'я.

Краще, допоміжне паливо, таке як пиловугільне паливо (ПВГ), яке, як відомо, вдувають, або газ, такий як природний газ або коксовий газ - цим, однак, не обмежуючись - подають у доменну піч разом з синтез-газом і збагаченим киснем газом. Цей різновид техпроцесу, в принципі, відомий з рівня техніки. У цьому варіанті здійснення надстехіометрична кількість доменного газу діє як теплоносій всередині доменної печі, краще дозволяючи збільшувати кількість допоміжного палива, що подається в доменну піч.

Існують різні можливості, як різні компоненти можуть подаватися в доменну піч. Як було згадано вище, синтез-газ може подаватися або на рівні фурменого поясу, або на рівні шахти печі. Наприклад, синтез-газ може подаватися через фурму, у той час як збагачений киснем газ і допоміжне паливо подають через спеціальні списи вдування, розташовані всередині фурми. Альтернативно, допоміжне паливо та збагачений киснем газ можуть вдуватися через один спис вдування, який концентрично розташований всередині фурми, причому допоміжне паливо проходить через внутрішню трубку, а холодний кисень - через зовнішню трубку.

Не весь доменний газ, який уловлюють із доменної печі, обов'язково повинен змішуватися з паливним газом. Відповідно до одного варіанту здійснення частину доменного газу спалюють разом з киснем для створення відпрацьованого газу. При цьому не обов'язково, хоча, можливо, і краще було б використовувати кисень (O_2) дуже високої чистоти. Скоріше навпаки, можна використовувати будь-який газ або газову суміш з достатньою концентрацією O_2, можливо,

навіть повітря. Як приклад, доменний газ може мати концентрацію N_2 менше 5 %, концентрацію CO і CO_2 - приблизно по 40 % кожний, і приблизно 15 % водню H_2. Коли цей газ спалюють разом з киснем, відпрацьований газ може мати приблизний склад з 80 % CO_2, 15 % H_2O і 5 % N_2. Якщо брати ширше, то доменний газ може мати концентрацію N_2 в 0-50 %, концентрацію CO і CO_2 - по 20-50 % кожний і концентрацію H_2 в 2-25 %. Само собою зрозуміло, що склад відпрацьованого газу залежить від фактичного складу доменного газу.

Відпрацьований газ або відхідний газ, краще, можна конденсувати та охолоджувати. В результаті цього концентрація CO_2 може бути додатково збільшена, наприклад, до 95 %.

Краще, частину доменного газу спалюють у нагрівальному пристрої. Такий нагрівальний пристрій, який може містити в собі одну або кілька пальників, може використовуватися для різних цілей. Наприклад, нагрівальний пристрій може використовуватися для нагрівання доменного газу, паливного газу, газової суміші і/або синтез-газу. Він також може використовуватися для забезпечення подачі енергії для реакції конверсії. Якщо його використовують для нагрівання синтез-газу, то роблять це, головним чином, для того, щоб збільшити кількість прихованої теплоти, що вводиться в доменну піч за допомогою синтез-газу.

Насамперед, після вищезгаданої конденсації та охолодження концентрація CO_2 у відпрацьованому газі є надзвичайно високою. Тому, щонайменше, частина відпрацьованого газу може бути використана для уловлювання та зберігання вуглецю. Альтернативно або додатково, щонайменше, частина відпрацьованого газу може бути використана для уловлювання та утилізації вуглецю.

Альтернативно або додатково, щонайменше, частина відпрацьованого газу може бути використана для виробництва синтез-газу. Виробництво синтез-газу може включати техпроцес, аналогічний або ідентичний процесу риформінгу, як описано вище. Наприклад, це може бути суха конверсія, при якій CO_2 вступає в реакцію з вуглеводнями з одержанням CO_2 і H_2O.

Іншою можливістю є те, що, щонайменше, частину доменного газу подають щонайменше на одну зовнішню установку. Ця зовнішня установка не є частиною доменної печі або не пов'язана з нею безпосередньо. Це може бути якась інша установка в сталеплавильному цеху або навіть за межами сталеплавильного цеху. На цій зовнішній установці або на зовнішньому обладнанні доменний газ може використовуватися як паливо для згоряння або для інших хімічних цілей. Також представляється можливим просто використовувати залишкову приховану теплоту доменного газу.

Короткий опис креслень

Нижче як приклад наведено опис кращих варіантів здійснення винаходу з посиланням на креслення в додатку, де:

Фіг. 1: схематичний вигляд установки доменної печі для здійснення способу експлуатації доменної печі згідно з даним винаходом.

Опис кращих варіантів здійснення

На фіг. 1 показана установка 10 доменної печі, що включає в себе доменну піч 12. На верхньому кінці 16 доменної печі 12, в цілому, приймають завалку коксу 18 і завалку руди 20, у той час як на нижньому кінці 22 доменної печі 12, в цілому, приймають пиловугільне паливо 24 і збагачений киснем газ 26. Збагачений киснем газ, наприклад, може мати концентрацію O_2 в 95 % і концентрацію N_2 в 5 %. На нижньому кінці 22 з доменної печі 12 випускають чушковий чавун 28 і шлаки 30. Принцип роботи доменної печі як такий добре відомий і додатково тут не буде описаний.

Установка 10 доменної печі також містить у собі газорекуперацийні труби 40 для рекуперації доменного газу з доменної печі 12. Як приклад, рекуперований доменний газ може мати концентрацію N_2 менше 5 %, концентрацію CO і CO_2 - приблизно по 40 % кожний і приблизно 15 % водню H_2. Якщо брати ширше, то доменний газ може мати концентрацію N_2 в 0-50 %, концентрацію CO і CO_2 - по 20-50 % кожний і концентрацію H_2 в 2-25 %. Його подають у рекуперацийний газопровід 42, забезпечений розподільним клапаном 44. Установка 10 доменної печі може містити в собі установку газоочищення 43, розташовану між газорекуперацийними трубами 40 і розподільним клапаном 44, передбачену для очищення рекуперованого з доменної печі 12 газу, головним чином, щоб вилучити тверді частки з газу і, за можливості, конденсувати частину пари, що міститься в доменному газі. Необхідно відзначити, що вищенаведені концентрації дані з урахуванням складу доменного газу в сухому стані. При цьому доменний газ також може бути і вологим, тобто він може містити вологу.

На ділянці розподільного клапана 44, щонайменше, частину рекуперованого доменного газу направляють через першу живильну трубу 46 у змішувальну камеру 48. Змішувальна камера 48 постачена другою живильною трубою 50 для подачі газу, що містить вуглеводні, наприклад коксового газу і/або природного газу і/або біогазу, у змішувальну камеру 48. Всередині

змішувальної камери 48 доменний газ і газ, що містить вуглеводні, змішують один з одним, щоб сформувати газову суміш. Цю газову суміш подають потім через третю живильну трубу 52, яка може містити в собі повітродувку 54, у реактор 56. У реактор 56 може вводитися енергія 53, щоб підтримувати реакцію та нагрівати газову суміш. Енергія 53 може підводитися в реактор безпосередньо або опосередковано. Енергією може бути будь-який різновид енергії, така як, наприклад, електроенергія, для чого використовують електричну дугу, плазмовий факел або електричний опір, але, краще, вона може одержуватися в результаті процесу спалювання паливного газу в пальнику 57. Газову суміш, як правило, піддають компресії. Альтернативно, обидва гази можуть зазнати компресії окремо, і після цього їх змішують. У реакторі 56 газову суміш нагрівають до високої температури, тим самим піддаючи газову суміш процесу риформінгу, який у цьому випадку є, головним чином, сухим процесом риформінгу у відповідності з наступною схемою реакції: $CO_2+CH_4 \rightarrow 2\ H_2+2\ CO$. У цьому прикладі сухий процес риформінгу здійснюють всередині реактора 56 при температурі від 800 °C до 1500 °C без необхідності у використанні каталізатора. Альтернативно, можна було б використовувати і каталізатор, наприклад, забезпечити реактор 56 каталізатором.

Отриманий синтез-газ потім подають через четверту живильну трубу 588 як відновний газ - назад у доменну піч 12 або на рівні фурменого поясу, або на рівні нижньої частини шахти печі.

У випадку з вдуванням синтез-газу на рівні фурменого поясу синтез-газ вдувають разом з допоміжним паливом 24 і збагаченим киснем газом 26. При тому, що синтез-газ подають при температурі щонайменше в 800 °C, збагачений киснем газ 26 має, як правило, температуру навколишнього середовища, хоча він також може мати і більш високу температуру.

При тому, що використання збагаченого киснем газу 26 збільшує продуктивність доменної печі 12, це потенційно могло б призвести до певних труднощів. З одного боку, це могло б призвести до збільшення температури полум'я в доменній печі 12 у зоні горіння перед фурмами, оскільки полум'я не буде охолоджуватися азотом, з іншого боку, температура колошникового газу могла б понизитися внаслідок того, що стимульована азотом теплопередача, а отже і нагрівання холодної шихти в печі, будуть значною мірою зменшеними. Для протидії цим проблемам у першій живильній трубі 46 розташований клапан 47 для регулювання витрати, за допомогою якого можна коректувати співвідношення доменного газу і паливного газу. В цілому, застосовують таке надстехіометричне співвідношення, що синтез-газ може містити доменний газ, що не вступив у реакцію. Насамперед, збільшують концентрацію CO_2 і/або концентрацію H_2O у синтез-газі. З одного боку, цей додатковий доменний газ привносить додаткову приховану теплоту в доменну піч 12, що допомагає збільшити температуру колошникового газу. З іншого боку, CO_2 і/або H_2O, що містяться в синтез-газі, можуть вступати в реакцію з C у доменній печі 12 з одержанням CO і/або H_2 за ходом ендотермічної реакції, що знижує температуру полум'я. Насамперед, можна відслідковувати температуру колошникового газу і/або температуру полум'я та можна коректувати співвідношення для контролю щонайменше однієї з цих температур і підтримування її в межах потрібного діапазону.

На ділянці розподільного клапана 44, щонайменше, частина рекуперованого доменного газу може направлятися через п'яту живильну трубу 60 до пальника 57 реактора 56 у розрахунку на підведення енергії 53, необхідної для підігріву газової суміші та підтримки реакції конверсії. Альтернативно або додатково, вона (частина рекуперованого доменного газу) також могла б використовуватися для роботи пальника для нагрівання доменного газу в першій живильній трубі 46, коксового газу в другій живильній трубі 50 або синтез-газу в четвертій живильній трубі 58. У пальнику 57 доменний газ спалюють, краще, разом з киснем 64, одержуючи в результаті відпрацьований газ 66 з високим вмістом CO_2. Відпрацьований газ 66 може мати, наприклад, наступний склад: 80 % CO_2, 15 % H_2O і 5 % N_2. Він може бути зібраний і поданий в охолоджувач 68, де його конденсують і охолоджують, в результаті чого концентрація CO_2 може бути збільшена додатково, наприклад, до 95 %. Отже, він може бути використаний для уловлювання та зберігання вуглецю (технологія УЗВ) на ділянці зберігання 70 або може бути використаний, наприклад, в хімічній установці 72 для виробництва синтез-газу.

Ще одну частину доменного газу пускають через шосту живильну трубу 62 на зовнішню установку 74, яка не є частиною доменної печі або не зв'язана з нею безпосередньо. Це може бути якась інша установка в сталеплавильному цеху або навіть за межами сталеплавильного цеху. На цій зовнішній установці 74 доменний газ може використовуватися, наприклад, як паливо для пальника або для інших хімічних цілей.

Перелік посилальних позначень

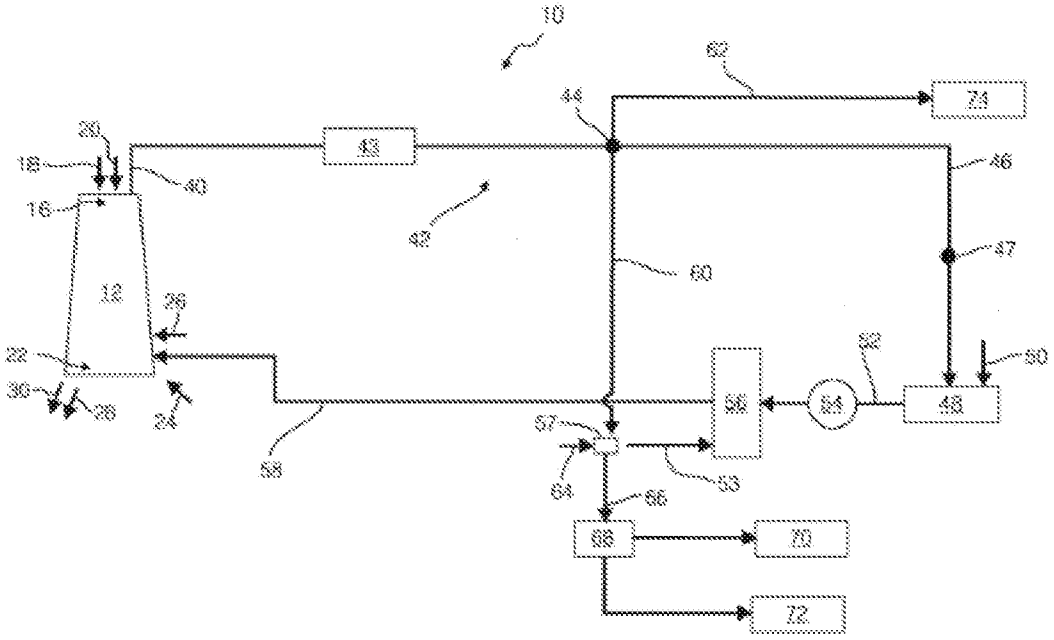
10 установка доменної печі
12 доменна піч
16 верхній кінець
18 завалювання коксу
20 завалювання руди
22 нижній кінець
24 допоміжне паливо
26 збагачений киснем газ
28 чушковий чавун
30 шлаки
40 газорекуперацiйна труба
42 рекуперацiйний газопровід
43 установка газоочищення
44 розподільний клапан
46 перша живильна труба
47 клапан для регулювання витрат
48 змішувальна камера
50 друга живильна труба
52 третя живильна труба
53 енергія
54 повітродувка
56 реактор
57 пальник
58 четверта живильна труба
60 п'ята живильна труба
62 шоста живильна труба
64 кисень
66 відпрацьований газ
68 охолоджувач
70 ділянка зберігання
72 хімічна установка
74 зовнішня установка

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

1. Спосіб експлуатації доменної печі, причому спосіб включає:
збір доменного газу з доменної печі (12), причому доменний газ є CO_2-вмісним газом,
змішування доменного газу з паливним газом для одержання газової суміші, причому паливний газ є газом, що містить вуглеводні,
виконання процесу риформінгу газової суміші, одержуючи тим самим синтез-газ, що містить CO і H_2, і
подачу щонайменше частини синтез-газу та збагаченого киснем газу (26) у доменну піч,
причому доменний газ змішують з паливним газом, не будучи підданим попередній декарбонізації після виходу з доменної печі, і причому доменний газ змішують з паливним газом у надстехіометричному співвідношенні, таким чином, що синтез-газ містить надлишкову частину доменного газу.
2. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що доменний газ змішують з паливним газом у надстехіометричному співвідношенні перед процесом риформінгу.
3. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що доменний газ змішують з паливним газом у стехіометричному співвідношенні перед процесом риформінгу, у той час як після процесу риформінгу з синтез-газом змішують додатковий доменний газ.
4. Спосіб за одним з попередніх пунктів, який **відрізняється** тим, що збагачений киснем газ (26) містить щонайменше 60 %, краще щонайменше 80 %, більш краще щонайменше 90 %, O_2.
5. Спосіб за одним з попередніх пунктів, який **відрізняється** тим, що збагачений киснем газ має температуру менше 100 °C.
6. Спосіб за одним з попередніх пунктів, який **відрізняється** тим, що синтез-газ подають у доменну піч (12) на рівні фурменого поясу і/або на рівні нижньої частини шахти печі з температурою, що становить щонайменше 800 °C, краще щонайменше 1000 °C.
7. Спосіб за одним з попередніх пунктів, який **відрізняється** тим, що надстехіометричне співвідношення коректують, щоб контролювати температуру колошникового газу доменної печі (12).
8. Спосіб за одним з попередніх пунктів, який **відрізняється** тим, що надстехіометричне співвідношення коректують, щоб контролювати температуру полум'я в доменній печі (12).
9. Спосіб за одним з попередніх пунктів, який **відрізняється** тим, що на додаток до синтез-газу та збагаченого киснем газу (26) у доменну піч подають допоміжне паливо (24).
10. Спосіб за одним з попередніх пунктів, який **відрізняється** тим, що частину доменного газу спалюють разом з киснем (64) для створення відпрацьованого газу (66).
11. Спосіб за одним з попередніх пунктів, який **відрізняється** тим, що відпрацьований газ (66) конденсують і охолоджують.
12. Спосіб за одним з попередніх пунктів, який **відрізняється** тим, що частину доменного газу спалюють у нагрівальному пристрої (57).
13. Спосіб за одним з попередніх пунктів, який **відрізняється** тим, що нагрівальний пристрій (57) використовують для нагрівання доменного газу, паливного газу, газової суміші і/або синтез-газу.
14. Спосіб за одним з попередніх пунктів, який **відрізняється** тим, що щонайменше частину

відпрацьованого газу (66) використовують для уловлювання та зберігання вуглецю і/або для уловлювання та утилізації вуглецю.

15. Спосіб за одним з попередніх пунктів, який **відрізняється** тим, що щонайменше частину відпрацьованого газу (66) використовують для виробництва синтез-газу.



Комп'ютерна верстка М. Шамоніна

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