

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(21) **202490556** (13) **A1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ**

(43) Дата публикации заявки
2024.06.28

(51) Int. Cl. *C21B 5/06* (2006.01)
C21B 13/00 (2006.01)
C21B 13/02 (2006.01)

(22) Дата подачи заявки
2022.08.26

(54) **СПОСОБ ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ЗАВОДА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЖЕЛЕЗНЫХ ИЗДЕЛИЙ**

(31) LU500591

(32) 2021.08.27

(33) LU

(86) PCT/EP2022/073739

(87) WO 2023/025921 2023.03.02

(71) Заявитель:
ПАУЛЬ ВЮРТ С.А. (LU)

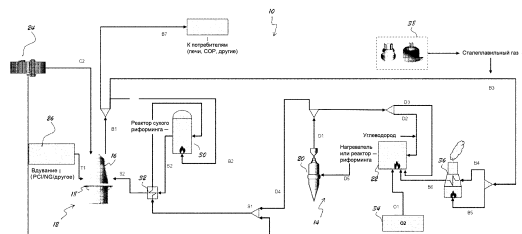
(72) Изобретатель:

**Кастаньола Кристиано, Кравино
Фабьо, Илаккуа Сильвия, Маньяни
Стефано, Круль Ян (IT)**

(74) Представитель:

**Веселицкий М.Б., Кузенкова Н.В.,
Каксис Р.А., Белоусов Ю.В., Куликов
А.В., Кузнецова Е.В., Соколов Р.А.,
Кузнецова Т.В. (RU)**

(57) Изобретение относится к способу производства железосодержащих изделий, включающему в себя эксплуатацию установки доменной печи для производства жидкого чугуна из шихтового материала доменной печи, за счёт чего вырабатывается металлургический газ, включающий в себя колошниковый газ (B1) доменной печи, эксплуатацию установки прямого восстановления для производства железных изделий прямого восстановления из железной руды, загруженной в колошник печи прямого восстановления, причем в печь прямого восстановления вводят поток (D5) восстановительного газа, причем установка прямого восстановления включает в себя реактор риформинга или нагревательное устройство, из которого выпускается поток (D5) восстановительного газа, за счёт чего печью прямого восстановления вырабатывается колошниковый газ (D1), причем первый поток (D4) колошникового газа установки прямого восстановления обрабатывают на ступени обогащения, выполненной для обогащения газообразными восстановительными соединениями, и направляют в установку доменной печи для использования в качестве восстановительного газа, и причем первый поток металлургического газа (B3/B6) направляют в реактор риформинга или нагревательное устройство установки прямого восстановления для использования в нем в качестве топливного газа. Также описан соответствующий металлургический завод.



A1

202490556

202490556

A1

СПОСОБ ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ЗАВОДА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЖЕЛЕЗНЫХ ИЗДЕЛИЙ

5

Настоящее изобретение, в общем, относится к области металлургии железа и, прежде всего, к металлургическому заводу и способу производства железных изделий.

Уровень техники

10 Промышленные процессы вносят значительный вклад в глобальные выбросы CO₂, а современный процесс производства железа и стали является очень энерго- и углеродоемким.

В связи с Парижским соглашением и практически глобальным консенсусом относительно необходимости принятия мер по снижению выбросов, необходимо,
15 чтобы каждый промышленный сектор рассматривал возможность разработки решений по повышению энергоэффективности и снижению выбросов CO₂.

Доменная печь (ДП) исторически известна своими выбросами CO₂, но и сегодня остается самым распространенным процессом производства стали, несмотря на альтернативные способы (такие как переплавка лома или прямое
20 восстановление в электродуговой печи). Действительно, выходящий из доменной печи газ, известный как "колошниковый газ", обычно содержит концентрацию CO₂ от 20 до 30 % по объему. Кроме того, в состав доменного газа обычно входят значительные количества N₂, CO, H₂O и H₂. Однако,
25 содержание N₂ в значительной степени зависит от того, используется ли для доменной печи горячий воздух или (чистый) кислород. Хотя в ранние времена колошниковый газ доменной печи мог просто улетучиваться в атмосферу, это уже давно считается пустой тратой ресурсов и излишней нагрузкой на окружающую среду.

В основном для того, чтобы уменьшить количество используемого кокса,
30 было предложено извлекать колошниковый газ доменной печи из доменной печи, обрабатывать его для повышения восстановительного потенциала, и вводить обратно в доменную печь для содействия процессу восстановления. Одним из способов такой обработки является снижение содержания CO₂ в доменном газе с помощью адсорбции под давлением (PSA) или вакуумной

адсорбции под давлением (VPSA). Установки PSA/VPSA производят первый газовый поток, обогащенный CO и H₂, и второй газовый поток, обогащенный CO₂ и H₂O. Первый газовый поток может использоваться в качестве восстановительного газа и подаваться обратно в доменную печь. Одним из примеров такого подхода является процесс ULCOS (Ultra Low CO₂ Steelmaking), в котором, помимо рециркулирующего первого газового потока, в доменную печь подаются пылевидный уголь и холодный кислород. Этот тип печей также называют "рециркуляцией колошниковога газа OBF" (кислородное дутье). Второй газовый поток может быть удален из установки и, после извлечения оставшейся теплотворной способности, утилизирован. Такая утилизация, как правило, заключается в закачке газа с высоким содержанием CO₂ в подземные карманы для хранения. Кроме того, хотя установки PSA/VPSA позволяют значительно снизить содержание CO₂ в доменном газе с 35 до 5 %, они очень дороги в приобретении, обслуживании и эксплуатации и занимают много места.

Еще одной технологией, разработанной для снижения углеродного следа при производстве чугуна/стали, является процесс прямого восстановления железной руды. Хотя годовое производство железа прямого восстановления остается небольшим по сравнению с производством доменного чугуна, оно действительно очень привлекательно благодаря значительному снижению выбросов CO₂, которые на 40-60 % ниже при использовании электродуговой печи прямого восстановления (EAF) по сравнению с доменной печью - основным кислородным способом.

В шахтной печи прямого восстановления шихта окатанной или кусковой железной руды загружается в колошник печи и под действием силы тяжести опускается вниз, проходя через восстановительный газ. Восстановительный газ, состоящий в основном из водорода и монооксида углерода (сингаз), течет вверх, через слой руды. Восстановление оксидов железа происходит в колошнике печи, как правило, при температуре до 950°C и даже выше. Твердый продукт, называемый железом прямого восстановления (DRI), обычно загружается в горячем виде в электродуговые печи или подвергается горячему брикетированию (для получения горячебрикетированного железа - HBI).

Как известно из уровня техники, DRI и подобные продукты загружаются в доменную печь или на металлургический завод, или в плавильную печь, такую как EAF, для производства чугуна или стали.

В рамках еще одного подхода, направленного на снижение выбросов CO_2 в доменной печи, было предложено вводить горячий восстановительный газ, обычно сингаз (CO и H_2), получаемый в реакторе риформинга из углеводородного газа, непосредственно в шахту доменной печи. Было
5 предложено два варианта: вводить горячий восстановительный газ через фурмы или выше непосредственно в шахту печи. Последний вариант известен как "шахтная подача" и подразумевает введение горячего восстановительного газа (сингаза) через внешнюю стенку печи, выше фурменной полосы, то есть выше заплечиков доменной печи, и, предпочтительно, в газовую зону твердого
10 восстановления оксида железа выше когезионной зоны, как правило, в области шахты.

Можно отметить, что в контексте сокращения выбросов CO_2 многие металлургические предприятия ЕС рассматривают возможность установки установок прямого восстановления в рамках существующих металлургических
15 заводов, то есть включающих в себя доменные печи и установки доочистки чугуна.

Стратегия для таких установок заключается в параллельной работе установок прямого восстановления и доменных печей в течение нескольких лет, чтобы обеспечить переход от производства стали с применением кислорода к
20 электросталеплавильному производству. Установка прямого восстановления может работать на восстановительном газе, полученном в результате риформинга природного газа, и электролизе H_2 , работающем на "зеленой" электроэнергии. В DRI загружается лом на электродуговой печи. Доменная печь работает параллельно с железосодержащим материалом, а традиционно
25 производимый чугун обрабатывается в конверторной печи. И доменная печь, и электродуговая печь производят жидкую сталь, которая может быть объединена для последующей обработки на сталелитейном заводе.

US 2004/0226406 описывает интегрированный сталелитейный завод, включающий в себя коксовую печь, доменную печь, конвертерную печь BOF, и
30 реактор прямого восстановления для производства железа прямого восстановления. Колошниковый газ реактора прямого восстановления проходит через теплообменник и разделяется на частичные потоки. Одна часть колошникового газа охлаждается, промывается и сушится. Полученный промывочный газ может быть использован для регулирования температуры в

реакторе прямого восстановления. Полученный промытый колошниковый газ направляется в компрессор и абсорбер CO_2 для регенерации восстановительного потенциала газа и образования регенерированного газа, который далее объединяется с газовым потоком, содержащим коксовый и конвертерный газы.

5 Полученный восстановительный газ нагревается в нагревателе и направляется в реактор прямого восстановления. Часть колошникового газа из установки прямого восстановления используется в качестве топливного газа на коксогазовом заводе. Другая часть восстановительного газа используется в качестве топливного газа для печей доменной печи (blast furnace stoves). То есть, часть колошникового газа с установки прямого восстановления сжигается в 10 печах для выработки тепла, необходимого для нагрева холодного дутья, превращающегося в горячее дутье. Доменная печь работает обычным образом, в нее загружается обычная шихта (железная руда, кокс и т.д.). Горячее дутье подается через фурмы вместе с пылеугольным топливом (PCI). Часть 15 колошникового газа доменной печи направляется в нагреватель выше по потоку от реактора прямого восстановления для сжигания в качестве топливного газа.

Задача изобретения

Задачей настоящего изобретения является обеспечение улучшенного подхода к производству железных изделий, который является, прежде всего, 20 более экологичным.

Краткое описание изобретения

Эта цель достигнута с помощью способа по п. 1 формулы изобретения.

Согласно изобретению способ производства железосодержащих изделий включает в себя:

25 эксплуатацию установки доменной печи для производства жидкого чугуна из шихтового материала доменной печи, за счёт чего вырабатывается металлургический газ, состоящий из колошникового газа доменной печи,

эксплуатацию установки прямого восстановления для получения железных изделий прямого восстановления из железной руды, загруженной в колошник 30 печи прямого восстановления, причем в печь прямого восстановления вводят поток восстановительного газа, причем установка прямого восстановления включает в себя реактор риформинга или нагревательное устройство, из которого выпускается поток восстановительного газа, за счёт чего печью прямого восстановления вырабатывается колошниковый газ (D1),

причем первый поток колошникового газа печи прямого восстановления обрабатывают на ступени обогащения, выполненной для обогащения этого потока газообразными восстановительными соединениями, и направляют в установку доменной печи для использования в ней в качестве восстановительного газа, и

5 причем первый поток металлургического газа, поступающего из доменной печи и включающего в себя колошниковый газ доменной печи, направляют в реактор риформинга или нагревательное устройство установки прямого восстановления для использования в нем для целей нагрева.

10 Настоящее изобретение основано на синергетическом обмене газов, при котором "ценные" газы используются для металлургических целей, а обедненные газы - в качестве топлива.

Например, ценный колошниковый газ установки прямого восстановления, как правило, состоит в основном из восстановителей, обычно по меньшей мере 55 или 60 % по объему CO и H₂. Но, как правило, он также включает в себя 10 %
15 по объему CO₂ или более.

Типичный состав доменного газа обычно включает в себя от 20 до 30 % по объему CO₂, от 35 до 50 % по объему N₂ и от 20 до 30 % по объему CO, H₂ около 5 %. Однако эти процентные соотношения могут значительно изменяться в зависимости от условий процесса.

20 Другие газы, обычно используемые и доступные на сталеплавильном заводе, включают в себя:

конвертерный газ: 60-70 % CO, 10-20 % CO₂, 0-5 % H₂, 5-15 % N₂.

25 коксовый газ: 5-10 % по объему CO, 50-55 % по объему H₂, 20 % по объему CH₄, другие высшие углеводороды менее 10 % по объему и баланс N₂ (очень мало % CO₂).

Эти показатели могут значительно меняться в зависимости от условий процесса.

Как следует из настоящего раскрытия, изобретение предлагает подход, который противоречит общепринятым представлениям в данной области.

30 Обычно установка прямого восстановления должна сжигать топливо для достижения своих технологических объемов: На установках MIDREX® работает реактор риформинга MIDREX®, на установках NG - нагреватель газа MX-Col, в то время как технология Energiron/HyL требует подогрева восстановительного газа. Прежде всего, подогрев необходим для того, чтобы нагреть

восстановительный газ перед подачей в печь прямого восстановления подходящей для процесса восстановления до температуры, обычно выше 800 °С.

В доменной печи вместо этого образуется колошниковый газ доменной печи, который является обедненным газом.

5 При эксплуатации на одной и той же площадке установка прямого восстановления использует для сжигания обогащенный газ, в то время как доменная печь - или интегрированная установка BF-BOF - производит значительное количество тощего газа, который - согласно выводам настоящего изобретателя - подходит для целей сжигания на установке прямого
10 восстановления.

Как используется в данном документе, термин "установка доменной печи" включает в себя доменную печь, а также интегрированную установку доменной печи, включающую в себя оборудование вторичной металлургии, такое как конвертерная печь. В вариантах осуществления изобретения эти другие
15 содержащие CO экспортные газы, например конвертерный газ, коксовый газ и/или другой содержащий CO промышленный газ, могут быть валоризированы в настоящем процессе.

Соответственно, поток металлургического газа, поступающий из доменной печи, может представлять собой только колошниковый газ доменной печи
20 (только) или может состоять из смеси колошникового газа доменной печи с заданным количеством газа из другого оборудования, например газа из конвертера (обычно менее 50 %).

Следует отметить, что в стандартном режиме работы установки прямого восстановления баланс газов очень хороший: экспортный газ, как правило,
25 отсутствует. Каждый Нм³ газа, экспортируемого для других целей, должен быть заменен подходящим топливом.

Параллельная работа установки доменной печи и установки прямого восстановления на одной площадке согласно предлагаемому изобретением способу позволяет извлечь выгоду из взаимного обмена газами, добиваясь
30 снижения расхода кокса в доменной печи. Согласно первым оценкам, можно ожидать снижения потребления кокса по меньшей мере на 15-20 % (в зависимости от размера доменной печи и шахтной печи DRI).

В зависимости от варианта осуществления изобретения, колошниковый газ доменной печи и колошниковый газ прямого восстановления могут быть

разделены на несколько потоков для использования в различных местах доменной печи или установки прямого восстановления.

5 Как правило, колошниковый газ доменной печи, выходящий из доменной печи на установке доменной печи, предпочтительно, очищается в установке очистки колошниковога газа перед экспортом на установку прямого восстановления.

10 Ступень обогащения обычно предназначена для кондиционирования/преобразования входного газового потока с целью получения выходного газового потока со сравнительно повышенным содержанием газообразных восстановителей. Обычно это может включать в себя смешивание обогащаемого газового потока с дополнительным газом (для реакции с обогащаемым газовым потоком смешивание может происходить выше по потоку от обогатительного аппарата или внутри него). Предпочтительно, ступень обогащения выполнена для проведения реакций риформинга, прежде
15 всего сухого или мокрого риформинга.

Предпочтительно, ступень обогащения включает в себя средства риформинга (оборудование для риформинга) для получения на выходе потока сингаза с обогащенным содержанием газообразных восстановителей, прежде
20 всего H_2 и CO . Такая ступень риформинга также обычно позволяет посредством реакций риформинга преобразовывать CO_2 , присутствующий во входной газовой смеси. Другими словами, ступень обогащения выполнена таким образом, чтобы обеспечить конверсию CO_2 в CO и H_2 , причем содержание CO_2 в колошниковом газе из установки прямого восстановления существенно снижается (например, до менее чем 5 % по объему) при прохождении через ступень обогащения.

25 В вариантах осуществления изобретения второй поток колошниковога газа доменной печи (и/или конвертерного газа, и/или коксового газа, и/или другой порции другого газа, обычно используемого в промышленности) используется в качестве топливного газа на ступени обогащения.

30 В контексте настоящего раскрытия выражение "используется в качестве топливного газа" означает, что соответствующий газовый поток сжигается (сгорает) для получения тепла. Это газ в нагревателе для создания пламени, которое будет использоваться для нагрева трубопровода, содержащего газовый поток, подлежащий нагреву. Аналогично, выражение "для целей нагрева" означает, что соответствующий газовый поток используется для получения

тепловой энергии либо путем теплообмена, либо путем сжигания (то есть, в качестве топливного газа).

Кроме того, выражение "используется в качестве восстановительного газа" означает, что соответствующий газовый поток вводится в печь (доменную печь или печь установки прямого восстановления) для реакции с шихтой и восстановления железной руды, соответственно оксидов железа.

В вариантах осуществления изобретения первый поток металлургического газа (то есть, колошниковый газ доменной печи, возможно смешанный с конвертерным газом, коксовым газом или другой порцией другого газа, обычно используемого в промышленности) нагревается в предварительном нагревателе выше по потоку от реактора риформинга или нагревательного устройства установки прямого восстановления. Там, в предварительном нагревателе, может сжигаться третий поток металлургического газа.

Как указывалось ранее, первый, второй или третий поток металлургического газа может содержать только колошниковый газ доменной печи или включать смесь колошникового газа доменной печи (то есть, горновой газ) вместе с одним или несколькими другими СО-содержащими газами, например, конвертерным газом, коксовым газом и/или другим СО-содержащим промышленным газом. Предпочтительно, чтобы металлургический газ состоял по меньшей мере на 30 % из колошникового газа доменной печи.

Обычно установка прямого восстановления перерабатывает колошниковый газ, выходящий из печи прямого восстановления. Второй поток колошникового газа печи прямого восстановления впрыскивается в реактор риформинга /нагревательное устройство с углеводородным газом для формирования/подготовки потока восстановительного газа, который повторно вводится в печь прямого восстановления. Далее, третий поток колошникового газа печи прямого восстановления используется в качестве топливного газа в реакторе риформинга-нагревательном устройстве. Используемый в реакторе риформинга-нагревательном устройстве углеводородный газ может быть природным газом или другим подходящим углеводородным газом, приспособленным для преобразования CO_2 , H_2O и CH_4 в CO и H_2 .

Преимущественно, часть первого потока колошникового газа печи прямого восстановления может быть объединена с углеводородным газом (например, природным газом, коксовым газом, другими подходящими углеводородами) с

образованием сингаза, который вводится в доменную печь после обработки на ступени обогащения (обычно с помощью реакций риформинга). Заметным преимуществом такого подхода является возможность справиться с содержащимся в сингазе CO_2 , используя его (то есть, через ступень обогащения на основе риформинга), вместо того, чтобы удалять CO_2 из газового потока.

В вариантах осуществления изобретения упоминаемый выше углеводород представляет собой коксовый газ, чтобы использовать газ, имеющийся в сталеплавильном производстве.

Коксовый газ обычно имеет высокое содержание H_2 и CH_4 . При смешивании с колошниковым газом прямого восстановления полученный поток сингаза содержит большую часть восстановительных соединений, например, в основном H_2 , а также CH_4 и CO . Общее количество H_2 , CH_4 и CO может составлять более 65, 70 или 75 % по объему.

После риформинга на ступени риформинга этот газовый поток, как правило, включает в себя более 80 % восстановительных соединений. Например, содержание H_2 может составлять более 55 % по объему, а содержание CO - более 25 % по объему.

Настоящее изобретение также относится к металлургическому заводу по п. 17 формулы изобретения.

Вышеуказанные и другие варианты осуществления изобретения описаны в прилагаемой зависимой формуле изобретения.

Как будет понятно, настоящее изобретение предлагает выгодный подход, включающий в себя:

1) Решение, позволяющее сбалансировать обмен газами из установки доменной печи до установки прямого восстановления,

2) Решение, оптимизирующее использование газов: обогащенный газ для металлургических целей, а обедненный газ для целей сжигания,

3) Решение, позволяющее использовать CO_2 сингаза (перед закачкой в доменную печь) для обогащения восстановительных соединений (за счет реакций риформинга) с помощью углеводородов, вместо его удаления,

4) решение по экспорту обедненного доменного газа для использования в процессе DR без какой-либо специальной обработки (разве что нагрев, смешивание с газом или сжигание с добавлением кислорода).

Подробное описание предпочтительных вариантов осуществления

Дополнительные подробности и преимущества настоящего изобретения будут очевидны из следующего подробного описания неограничивающих вариантов осуществления со ссылкой на следующие фигуры, причем фиг. 1 и 2
5 представляют собой схемы, иллюстрирующие два варианта осуществления металлургического завода 10 для осуществления настоящего способа.

Металлургический завод 10 включает в себя (хотя и не ограничивается этим) следующее: по меньшей мере одну установку 12 доменную печь и по меньшей мере одну установку 14 прямого восстановления.

10 Как правило, металлургический завод 10 может дополнительно включать:

- коксовую установку (установки) 24,

- установку для вдувания в фурмы 26: эта установка вырабатывает среду для вдувания в доменную печь через фурмы. Наиболее распространенной средой является пылеугольное топливо (PCI), но также может быть природный газ (NG).

15 - сталеплавильные установки (38).

Установка 12 доменной печи обычно включает в себя, помимо самой доменной печи 16, ряд обычных компонентов (например, воздухонагреватели, склад и т.д.), но на рисунке показана только печь 16. Как известно, печь 16 загружается сверху шихтовым материалом (чугунными подшипниками, коксом и
20 флюсами). Для этого над верхом печи располагается установка верхней загрузки (не показана), например, типа BELL LESS TOP®, которая выполняет функцию распределения доменного сырья в печи. Горячая струя воздуха (или горячий ветер) подается в печь 16 через фурмы, расположенные по окружности печи 16 и соединенные с периферийной/овальной трубой 18.

25 Конечными продуктами являются расплавленный чугун и шлак, выпускающиеся снизу, и отходящие газы, выходящие из колошника печи 16, называемые колошниковым газом.

Доменная печь представляет собой противоточный реактор: нисходящий поток руды вместе с флюсами контактирует с восходящим потоком горячего
30 газа, обогащенного монооксидом углерода. Колошниковый газ доменной печи (выходящий через горн доменной печи), образующийся в процессе работы доменной печи, обозначается В1. В обычной доменной печи колошниковый газ представляет собой обедненный газ, обычно содержащий от 20 до 30 % по

объему CO₂, от 35 до 50 % по объему N₂ и от 20 до 30 % по объему CO и H₂ около 5 %.

Выходящий из доменной печи 16 поток В1 колошникового газа обычно очищается в газоочистном устройстве (не показано).

5 В своем рабочем процессе установка 12 доменной печи вырабатывает колошниковый газ доменной печи в доменной печи 16, а также другие СО-содержащие газы, поступающие от другого оборудования, например от коксовых батарей или конверторной печи.

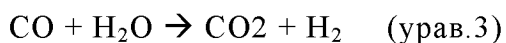
10 Установка 14 прямого восстановления имеет обычную конструкцию. Она включает в себя вертикальную шахтную печь 20 с верхним входом и нижним выходом. Железная руда в кусковой и/или окатанной форме загружается в колошник печи 20 и под действием силы тяжести опускается вниз через восстановительный газ. Во время движения от входа к выходу шихта остается в твердом состоянии. Восстановительный газ, обозначенный D5, вводится в печь 15 20 сбоку, в основании восстановительной секции, и течет вверх, через слой руды. Восстановление оксидов железа происходит в колошнике печи при температуре до 950°C и выше.

Твердый продукт - железо прямого восстановления (DRI) - обычно выгружается горячим из печи 20 и затем может быть: загружен горячим в 20 последующее сталеплавильное оборудование (например, электродуговую печь), брикетирован в горячем виде для получения HBI, охлажден в отдельной емкости как Cold DRI, или сочетать эти варианты.

Что касается процессов прямого восстановления, то можно отметить, что в мире широко распространены в основном два процесса для получения DRI в 25 различных формах, описанных выше: MIDREX® NG и HyL.

В процессе MIDREX поток D5 восстановительного газа поступает из реактора 22 риформинга установки 14 прямого восстановления, причем часть выходящего из печи 20 колошникового газа объединяется с углеводородным газом (например, природным газом) для получения СО и H₂, как известно в 30 данной области техники. Предпочтительно, реактор 22 риформинга реализует процесс риформинга преимущественно в соответствии с реакциями (не ограничиваясь ими):





В процессе MIDREX® NG реактор 22 риформинга обычно снабжен
5 встроенной системой рекуперации тепла, как известно специалистам в данной области.

Реактор риформинга включает в себя реактор, в котором происходят
реакции риформинга. Поскольку эти реакции являются эндотермическими,
реактор нагревается в теплообменной связи с продуктами сгорания
10 (генерируемыми встроенной горелкой) и/или горячими газами (внешним газом).
Встроенная система рекуперации тепла обычно включает в себя средства
теплообмена, выполненные для нагрева одного или нескольких газовых потоков
на пути к реактору риформинга горячим газом из установки прямого
восстановления, прежде всего дымовым газом из реактора риформинга.

15 В процессе НуL вместо этого существуют две возможности:

1) углеводороды перерабатываются в паровом реакторе риформинга в газ с
различным содержанием CO, H₂ и CH₄, который затем нагревается в нагревателе
перед впрыском в шахтную печь.

2) углеводороды добавляются в процесс без риформинга.

20 Таким образом, как будет понятно специалисту в данной области техники,
ссылочное обозначение 22 на фиг.1 (и фиг.2) обозначает либо реактор
риформинга MIDREX, либо паровой реактор риформинга НуL и/или
нагреватель, в зависимости от того, какая технология реализована. То есть,
ссылочное обозначение 22 может быть реактором риформинга (любого
25 подходящего типа, прежде всего MIDREX, НуL) или нагревателем (когда не
требуется риформинг перед вводом в печь).

Ссылочное обозначение 24 обозначает коксогазовый завод, причем ссылка
C1 обозначает поток коксового газа (COG), а ссылка C2 обозначает
производимый в нем кокс. Поток C1 COG представляет собой
30 восстановительный газ, включающий в себя, например, по меньшей мере 60 или
70 % по объему восстановительных соединений, главным образом H₂ (>50 % по
объему) и CH₄.

Ссылочное обозначение 38 обозначает сталеплавильное производство,
которое может включать в себя конвертерную печь (BOF), электродуговую печь

(EAF) и/или другие подобные печи, хорошо известные в сталелитейной промышленности. Как показано на чертежах, образующийся в одной из этих печей или единиц оборудования газ может быть объединен с доменным газом для использования в установке прямого восстановления. В данном документе "металлургический газ" означает газовый поток, который поступает из 5 установки доменной печи и содержит либо только колошниковый газ доменной печи, либо смесь колошникового газа доменной печи и другого СО-содержащего газа из установки доменной печи, прежде всего из установки 38 и/или из коксовой печи 24.

10 Наконец, ссылочное обозначение 26 обозначает установку для вдувания в доменную печь. Одной из наиболее распространенных систем является система вдувания пылевидного угля (PCI), включающая в себя транспортировочные бункеры и/или распределительные бункеры для временного хранения 15 пылевидного или гранулированного угля или углеродистого материала, которые по специальным трубопроводам подсоединяются к фурменному полотну доменной печи. Поток пылевидного угля обозначен T1. Вдувание пылевидного угля выгодно тем, что снижает общую стоимость производимого горячего металла не только за счет замены кокса, но и за счет повышения 20 производительности и возможности оперативного управления работой доменной печи.

Коксогазовый завод 24 и система 26 могут иметь обычную конструкцию.

При параллельной работе оба завода производят железные изделия, а именно жидкий чугун и твердые железные изделия. DRI может быть расплавлен в доменной печи, смешан с чугуном, и смесь подвергается второй металлургии 25 на сталелитейном заводе.

Как указывалось выше, в рамках нынешних мер по сокращению выбросов СО₂ многие металлургические предприятия ЕС рассматривают возможность 30 установки установок прямого восстановления на существующих интегрированных металлургических заводах. Стратегия для таких установок заключается в эксплуатации как установок прямого восстановления, так и доменных печей в течение нескольких лет, чтобы обеспечить переход от кислородного производства стали к электросталеплавильному.

В настоящем изобретении предлагается подход, объединяющий установку прямого восстановления с установкой доменной печи для достижения снижения

потребления кокса в доменной печи. Изобретение предлагает синергетический
взаимообмен газами, при котором "ценные" газы используются для
металлургических целей, а обедненный газ - в качестве топлива.

5 При работе в одиночку установка прямого восстановления требует
сжигания топлива (выработки тепла) для достижения своих технологических
объемов (установки MIDREX должны работать на реакторе риформинга,
процессы Energiron/HyL требуют нагрева восстановительного газа).

10 При работе на одной площадке установка прямого восстановления
использует для сжигания обогащенный газ, в то время как установка доменной
печи производит значительное количество обедненного газа, который - согласно
выводам настоящего изобретателя - подходит для целей сжигания на установке
прямого восстановления.

15 Следует отметить, что установка прямого восстановления в стандартном
режиме работы имеет очень хороший баланс газов: экспортный газ, как правило,
отсутствует. Каждый Nm^3 газа, экспортируемого для других целей, должен быть
заменен подходящим топливом.

20 Совместная работа установки доменной печи и установки прямого
восстановления на одной площадке согласно предлагаемому изобретением
способу позволяет извлечь выгоду из взаимного обмена газами, добиваясь
снижения расхода кокса в доменной печи. Это будет описано ниже.

Первый вариант осуществления

В показанном на фиг. 1 варианте осуществления изобретения поток
колошникового газа, обозначенный D1, выходящий из печи 20 установки 14
прямого восстановления, разделяется на несколько потоков:

25 - первый поток D2, рециркулирующий в качестве восстановительного газа в
печь 20 прямого восстановления, после обработки в реакторе
риформинга/нагревателе 22, в который также подается углеводородный газ,
например природный газ или его эквивалент,

30 - второй поток D3, направляемый в реактор риформинга /нагреватель для
использования в качестве топливного газа для обработки и нагрева потока
D2/D5. Этот поток D3 может сжигаться для получения тепла, необходимого для
проведения реакций риформинга D2/D5, тепло может просто отбираться путем
теплообмена для нагрева D2/D5,

- третий поток D4, который образует поток экспортного газа, подлежащего валоризации в установке доменной печи.

Колошниковый газ печи прямого восстановления представляет собой обогащенный, преимущественно восстановительный газ, обычно содержащий по меньшей мере 55 или 60 % по объему восстановительных соединений, а именно СО и Н₂. Это относится к потокам D1, D2, D3 и D4. Содержание Н₂ может составлять от 40 до 50 % по объему.

Два первых потока D2 и D3 являются обычными. Действительно, обычно на установке прямого восстановления колошниковый газ печи прямого восстановления частично перерабатывается как технологический газ в сочетании с углеводородным газом (например, метаном) в устройстве 22 получения сингаза, а другая часть колошникового газа используется в нагревательной части для получения тепла путем сжигания для нагрева устройства 22. Действительно, в конфигурации MIDREX колошниковый газ прямого восстановления рециркулирует в реакторе риформинга для получения сингаза, но также направляется в нагревательную часть реактора риформинга, где он сжигается.

Однако в настоящем процессе часть колошникового газа печи прямого восстановления, то есть поток D4 разветвляется и смешивается с коксовым газом С1 (или другим источником углеводородного газа) для получения S1 сингаза. Поток S1 богат восстановительными соединениями, но содержит немалую долю СО₂ (более 10 % по объему), поступающего из печи 20 прямого восстановления. Поток S1 подается в обогатительный аппарат 30, включающий в себя риформинговый аппарат, где он подвергается реакции риформинга с углеводородным газом, содержащимся в S1 (например, природный газ, коксовый газ), для преобразования СО₂ Н₂О и СН₄ в СО и Н₂ (аналогично уравнению 1, уравнению 2, уравнению 3). На выходе из риформингового аппарата 30 выходной поток S2 обогащен восстановительными соединениями, а именно Н₂ и СО, и имеет подходящий химический состав (сильно восстановительный) для введения в установку 12 доменной печи. Предпочтительно, теплообменник 32 используется для нагрева потока S1 перед входом в аппарат 30 сухого риформинга, обмениваясь теплом с потоком S2. Поток S2 после теплообменника все еще имеет температуру, подходящую для впрыска в доменную печь. В теплообменнике S2 просто отдает тепло, его химический состав не изменяется.

В данном случае из-за природы процесса сухого риформинга дымовые газы выходят из аппарата 30 при высоких температурах (то есть, около 700°C), и это тепло может быть использовано для нагрева потока В4 (путем теплообмена - таким образом, экономится расход В5).

5 Поток S1 содержит большую часть восстановительных соединений, например, в основном H₂, а также CH₄ и CO. Общее количество H₂, CH₄ и CO может составлять более 65, 70 или 75 % по объему.

10 Поток S2 обладает еще большей восстановительной силой, с общим количеством восстановительных соединений более 80 %. Например, содержание H₂ может составлять более 55 % по объему, а содержание CO - более 25 % по объему.

Как указано выше, обычная установка прямого восстановления хорошо сбалансирована, и экспортный газ отсутствует.

15 Следует отметить, что отвод части колошникового газа печи прямого восстановления через поток D4, используемый для получения S1 сингаза/S2 для установки 12 доменной печи, требует замещения теплосодержания D4 в установке 14 прямого восстановления. Это достигнуто путем замены доменным газом, а именно потоком В6. То есть, В6 - это поток металлургического газа, который используется в качестве топливного газа на установке DR, то есть
20 сжигается для получения тепла для процесса DR.

Поскольку поток В6 может иметь более низкую теплотворную способность, чем поток D4, может потребоваться сжигать В6 с помощью смеси воздуха и кислорода (поток O1 из кислородного источника 34) или с помощью дополнительных видов топлива.

25 Кроме того, может потребоваться предварительный нагрев потока В6 перед его использованием в устройстве 22.

Поток колошникового газа доменной печи, выходящий из колошника доменной печи 16, разделяется на несколько потоков:

30 - первый поток В2, который направляется в риформинговый аппарат 30 и используется в нем в качестве топлива (то есть, сжигается в горелке) для включения/поддержания реакций риформинга,

- второй поток В3, который направляется на установку 14 прямого восстановления, чтобы заменить поток D4, экспортируемый в доменную печь. Затем В3, в свою очередь, разделяется на:

- поток В5, который может быть сожжен в предварительном нагревателе 36, чтобы соответствующим образом нагреть поток В4 (если требуется),

- поток В4/В6, который сжигается в нагревательной части устройства 22 после того, как он был дополнительно нагрет в предварительном нагревателе 36,

5 - поток В7, который экспортируется различным потребителям.

Следует отметить, что в стандартном режиме работы доменной печи потоки В2, В3, В4, В5 и В6 не существуют.

Второй вариант осуществления

10 На фиг. 2 показано второй вариант осуществления, отличающийся от варианта осуществления 1 способом обработки потока S1 сингаза. Ступень 30 реактора риформинга и теплообменник 32 заменены другим устройством 42 риформинга и нагревателем 40.

15 Как будет понятно специалистам в данной области, устройство 40 представляет собой нагреватель, аналогичный по типу устройству 36 первого варианта.

Устройство 42 риформинга аналогично устройству риформинга MIDREX®, поскольку оно включает в себя риформинг и встроенную систему рекуперации тепла.

20 В этом варианте осуществления изобретения сингаз S2 образуется только путем смешивания потока D4 с подходящим количеством углеводородов (то есть, природного газа).

Топливо для горелок устройства 42 (то есть, поток В3.1) создается таким же образом, как и поток В3 в варианте осуществления 1: с помощью колошникового газа доменной печи.

25 Может потребоваться предварительный нагрев потока В3.1 (в В6.1) путем сжигания его части (В5.1) в устройстве 40. На практике это та же концепция, что и для устройства 36 в первом варианте.

30 Поскольку поток В6.1 может иметь изначально низкую теплотворную способность, может потребоваться сжигать В6.1 с помощью смеси воздуха и кислорода (поток О1.1 из кислородного источника 34) или с помощью дополнительных видов топлива.

Как указано выше, потоки В3, В3.1 В4, В4.1, В5, В5.1, В6 и В6.1 могут называться металлургическим газом и, в зависимости от варианта осуществления, могут быть основаны на исходном 100 % потоке В3

колошникового газа доменной печи, или на смеси потока колошникового газа доменной печи и дополнительного газа, такого как СО-содержащий газ из сталеплавильного агрегата 38 и/или из коксовой печи 24.

5 Можно отметить, что ступень риформинга (с использованием реактора 42 риформинга и нагревателя 40) на установке доменной печи и реактор 22 риформинга с нагревателем 36 на установке прямого восстановления функционально эквивалентны.

10 Следовательно, в некоторых вариантах осуществления (не показаны) можно, так сказать, объединить эти два аппарата. Другими словами, можно разработать большую систему реактора риформинга и нагревателя, которая будет перерабатывать колошниковый газ DR, направляемый в печь DR и в доменную печь.

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТОВ

15 Приведенные ниже данные относятся к конкретному анализируемому случаю с использованием конфигурации первого варианта осуществления. Для примера, примерные составы различных потоков приведены в таблице 1.

Таблица 1

	BF колошн. газ (Bx)	Топливо колошн. газа (Dx)	COG (C1)	Сингаз S1	Реформир. сингаз S2
СО [% влажной основы]	22.2	24	6	17.7	28.7
СО ₂ [% влажной основы]	21.2	20	2.8	13.9	5.4
СН ₄ [% влажной основы]	-	4	22	10.3	2.2
Н ₂ [% влажной основы]	8.5	47	55	49.5	56.2
Н ₂ О [% влажной основы]	9.5	3	3	3	2.6
Н ₂ [% влажной основы]	38.6	2	8.2	4.2	3.3
					1,2 другие Н-С

Пример 1

20 Было проведено моделирование, и ниже приведены приблизительные цифры для примера, в котором доменная печь производит около 8 МТПП, а установка прямого восстановления - около 3,7 МТПП.

$$B1 = 1500 \text{ Нм}^3/\text{тГМ} \text{ (Нм}^3 \text{ на тонну горячего металла)}$$

$$B2 = 350 \text{ Нм}^3/\text{тГМ}$$

$$B3 = 560 \text{ Нм}^3/\text{тГМ}$$

$$B7 = 640 \text{ Нм}^3/\text{тГМ}$$

$$D4 = 142 \text{ Нм}^3/\text{тГМ} (300 \text{ Нм}^3/\text{т DRI или HBI})$$

$$C1 = 75 \text{ Нм}^3/\text{тГМ}$$

5 $O1 = 35 \text{ Нм}^3/\text{тГМ} (75 \text{ Нм}^3/\text{т DRI или HBI})$

$$S2 = 250 \text{ Нм}^3/\text{тГМ}, 950^\circ\text{C при впрыске BF}$$

$$C2 = 228 \text{ кг/тГМ}$$

$$T1 = 198 \text{ кг/тГМ}$$

10 По сравнению со случаем, когда доменная печь и печь прямого
восстановления работают независимо, без газообмена, и при той же
производительности (8 млн т / год BF и 3,7 DR) наблюдаются следующие
изменения.

T1 - БЕЗ ИЗМЕНЕНИЙ

C2 - расход снижен на 47 кг/тГМ (0,37 млн т / год) в первом примере

15 C1 - увеличение потребления на 75 Нм³/тГМ

B7 - сокращение экспорта на 730 Нм³/тГМ

O1 - увеличение потребления на 35 Нм³/тГМ

Как видно, настоящий изобретательский способ позволяет сократить
потребление кокса примерно на 16 %.

20 Использование обогащенного колошникового газа.

В настоящем способе поток B3 доменного газа может быть смешан с
другими газами, такими как, например, конвертерный газ, коксовый газ и/или
другой промышленный газ, содержащий CO.

25 То есть, колошниковый газ доменной печи (то есть, горновой газ) может
быть смешан с другими газами из установки по производству чугуна.

Использование смешанного доменного газа может потребовать адаптации
других параметров процесса, например, введения кислорода. Однако, как
показано в таблице 2, смешивание колошникового газа доменной печи с другими
газами в различных пропорциях позволяет валоризировать эти альтернативные
30 источники газа, сохраняя при этом надлежащий тепловой баланс реактора
риформинга.

Случай	Потребление смеси топл. газа				% природн. газ	Потребление смеси топл. газа Нм ³ /т DRI
	% TGF	% BFG	% COG	% BOF		
Стандартн. NG экспл.	98	0	0	0	2	491
30% замены	63	34	0	0	3	648
80% замены	19.7	78.5	0	0	1.8	1102
Полная замена BFG	0.0	98.6	0	0	1.4	1441.1
Замена газ. смеси	4	79	7	11	0	1096

Таблица 2

В таблице 2 BFG означает колошниковый газ доменной печи (горновой газ), COG - коксовый газ, BOF - газ конверторной печи и TGF - топливо колошниково-го газа прямого восстановления. Для всех составов, приведенных в таблице 2, достигнута одинаковая температура пламени, то есть тепловой баланс в риформинге.

Как можно видеть, в таких случаях, когда колошниковый газ доменной печи смешивается с другими газами, доля BFG может быть уменьшена до 20 %, и при этом все еще можно достичь желаемого теплового баланса.

Пример 2

Пример 2 относится ко второму варианту осуществления изобретения, описанному со ссылкой на фиг.2.

В расположенной ниже таблице 3 изобретательский подход второго упоминаемого в изобретении варианта 2 сравнивается с контрпримером. Контрпример представляет собой обычную практику, когда установка доменной печи и установка прямого восстановления работают параллельно, независимо друг от друга.

Таблица 3

	Контрпример	Изобретение
Уголь + PCI (кг/тГМ)	437	384
Импорт электроэнергии (кВтч/тГМ)	241	728
Природный газ (ГДж/тГМ)	5,96	5,30
Выбросы CO ₂ (кг/тГМ)	1667	1493

Как видно, изобретательский процесс с синергетическим обменом газами между установкой доменной печи и установкой прямого восстановления требует меньше угля на тонну горячего металла (компенсируется импортом электроэнергии) и приводит к сокращению выбросов CO₂ примерно на 11 %.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ производства железосодержащих изделий, включающий в себя:

5 эксплуатацию установки (12) доменной печи для производства жидкого чугуна из шихтового материала доменной печи, за счёт чего вырабатывается металлургический газ, включающий в себя колошниковый газ (В1) доменной печи,

10 эксплуатацию установки (14) прямого восстановления для производства железных изделий прямого восстановления из железной руды, загруженной в колошник печи (20) прямого восстановления, причем в печь прямого восстановления вводят поток (D5) восстановительного газа, причем установка прямого восстановления включает в себя реактор риформинга или нагревательное устройство (22), из которого выпускается поток (D5)
15 восстановительного газа, за счёт чего печью прямого восстановления вырабатывается колошниковый газ (D1),

причем первый поток (D4) колошникового газа установки прямого восстановления обрабатывают на ступени (30; 42, 40) обогащения, выполненной для обогащения газообразными восстановительными соединениями, и
20 направляют в установку доменной печи для использования в качестве восстановительного газа, и

причем первый поток металлургического газа (В3/В6) направляют в реактор риформинга или нагревательное устройство установки прямого восстановления для использования в нем в качестве топливного газа.

25
2. Способ по п. 1, причем второй поток (В2) металлургического газа используют в качестве топливного газа на ступени обогащения.

30
3. Способ по п. 1 или п. 2, причем первый поток (В3) металлургического газа нагревают в предварительном нагревателе (36) выше по потоку от реактора риформинга или нагревательного устройства (22).

4. Способ по п. 3, причем третий поток (В5) металлургического газа сжигают в предварительном нагревателе.

5. Способ по любому из предшествующих пунктов, причем второй поток (D2) колошникового газа печи прямого восстановления подают в реактор риформинга или нагревательное устройство (22) вместе с углеводородным газом для формирования потока (D5) восстановительного газа, вводимого в печь прямого восстановления.

6. Способ по любому из предшествующих пунктов, причем третий поток (D3) колошникового газа печи прямого восстановления используют в реакторе риформинга или нагревателе в качестве топливного газа.

7. Способ по любому из предшествующих пунктов, причем первый поток (D4) колошникового газа печи прямого восстановления объединяют с углеводородным газом выше по потоку от ступени обогащения с образованием потока (S1) сингаза, который подают на ступень обогащения, причем выходной поток (S2) сингаза вводят в доменную печь, причем ступень обогащения, предпочтительно, включает в себя средства риформинга.

8. Способ по п. 7, причем углеводородный поток, объединенный с потоком (D4) колошникового газа печи прямого восстановления, включает в себя коксовый газ.

9. Способ по п. 8, причем поток (S1) сингаза включает в себя от 45 до 55 % по объему H_2 , от 15 до 25 % по объему CO, и от 7 до 15 % по объему CH_4 , и выходной поток (S2) включает в себя более 55 % по объему H_2 и более 25 % по объему CO.

10. Способ по любому из предшествующих пунктов, причем предварительный нагрев потока (S1) сингаза достигают путем теплообмена с выходящим потоком сингаза ниже по потоку от ступени обогащения.

11. Способ по любому из предшествующих пунктов, причем ступень обогащения включает в себя реактор риформинга со встроенной системой рекуперации тепла, и четвертый поток металлургического газа, возможно с

потоком колошникового газа установки прямого восстановления, подают в систему рекуперации тепла, факультативно с дополнительным потоком водорода.

5 12. Способ по п. 11, причем нагреватель связан со ступенью реактора риформинга, и причем четвертый поток металлургического газа предварительно нагревают в нагревателе, часть которого, факультативно, сжигают в нем.

10 13. Способ по любому из предшествующих пунктов, причем обогащенный кислородом поток подают в реактор риформинга или нагревательное устройство для сжигания.

15 14. Способ по любому из предшествующих пунктов, причем реактор (22) риформинга включает в себя встроенную систему рекуперации тепла, питаемую доменным газом.

20 15. Способ по любому из предшествующих пунктов, причем металлургический газ состоит из колошникового газа доменной печи, или из колошникового газа доменной печи, смешанного с другим СО-содержащим газом из установки доменной печи, прежде всего коксовым газом или газом конверторной печи.

25 16. Способ по любому из предшествующих пунктов, причем дымовые газы ступени обогащения направляются в предварительный нагреватель (36) для целей нагрева.

30 17. Металлургический завод, включающий в себя:
установку доменной печи (16) для производства чугуна, причем установка доменной печи вырабатывает металлургический газ, включающий в себя колошниковый газ (В1) доменной печи,
установку (14) прямого восстановления, включающую в себя печь (20) прямого восстановления, выполненную для производства железных изделий прямого восстановления из железной руды, и реактор риформинга или нагревательное устройство (22) для выработки восстановительного газа,

вводимого в печь прямого восстановления, причем печь прямого восстановления вырабатывает колошниковый газ (D1),

5 первый трубопровод для подачи первого потока (B3) металлургического газа в установку прямого восстановления для использования его в качестве топливного газа в реакторе риформинга или нагревательном устройстве,

10 второй трубопровод для подачи первого потока (D4) колошникового газа из печи прямого восстановления на ступень обогащения, выполненную для обогащения восстановительными соединениями, и третий трубопровод для подачи полученного обогащенного потока (S2) со ступени обогащения на установку доменной печи для использования в качестве технологического газа.

15 18. Металлургический завод по п. 17, включающий в себя средства для впрыска обогащенного потока (S2) в доменную печь через фурмы или непосредственно в область шахты.

20 19. Металлургический завод по п. 17 или п. 18, причем первый поток (D4) колошникового газа печи прямого восстановления смешивается с углеводородным газом выше по потоку от ступени обогащения с образованием потока (S1) сингаза.

25 20. Металлургический завод по п. 19, причем поток сингаза проходит через теплообменник для нагрева обогащенным потоком (S2), выходящим из ступени обогащения.

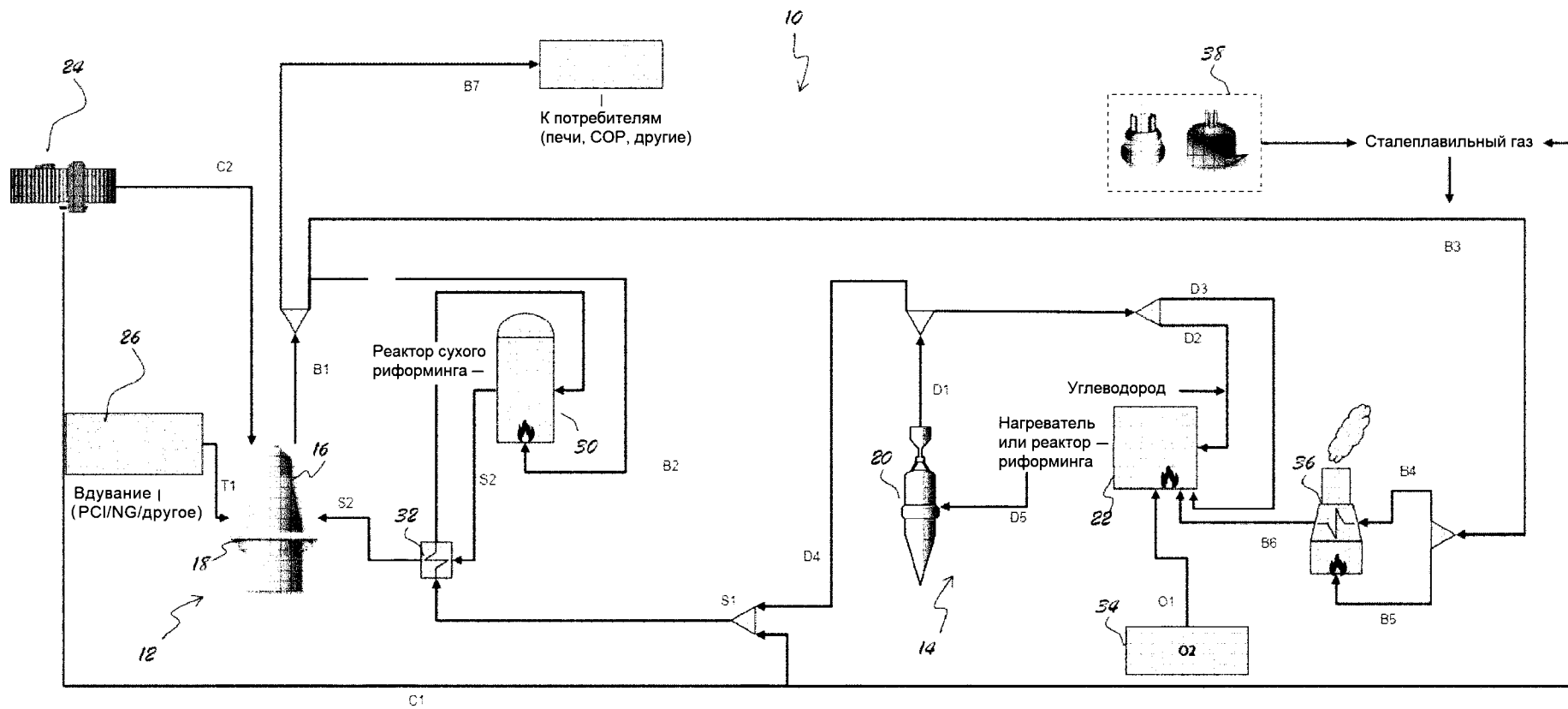
30 21. Металлургический завод по одному из п.п. 17-20, причем перед сжиганием в реакторе риформинга или нагревательном устройстве первый поток (B3) металлургического газа нагревается в предварительном нагревателе (36).

30 22. Металлургический завод по одному из п.п. 17-21, причем второй поток (B2) металлургического газа используется в качестве топливного газа на ступени обогащения.

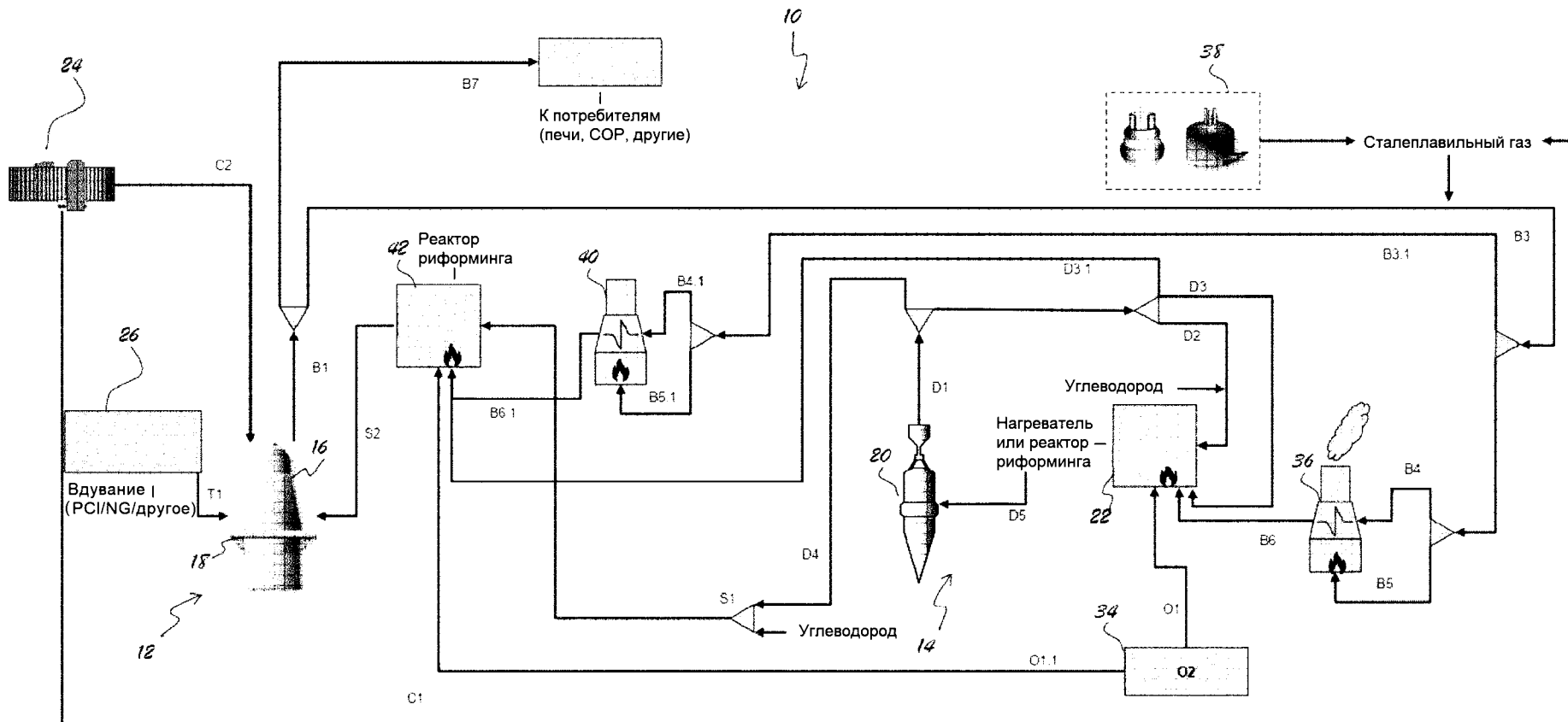
23. Металлургический завод по одному из п.п. 17-22, причем третий поток (B5) металлургического газа сжигается в предварительном нагревателе (36).

24. Metallургический завод по одному из п.п. 17-23, причем установка прямого восстановления выполнена таким образом, что второй поток колошникового газа обрабатывается в реакторе риформинга или нагревательном устройстве перед повторным использованием в печи, а третий поток колошникового газа сжигается в реакторе риформинга или нагревательном устройстве.

25. Metallургический завод по одному из п.п. 17-24, причем обогатительная батарея включает в себя средства риформинга, прежде всего выполненные для обогащения первого потока (D4) восстановительными соединениями за счет реакций риформинга с углеводородом, а именно увеличения содержания H_2 и CO.



Фиг. 1



Фиг. 2