

(19)



Евразийское
патентное
ведомство

(21) 202292720 (13) A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2023.03.14

(51) Int. Cl. C21B 13/00 (2006.01)
C21B 13/02 (2006.01)
C01B 3/02 (2006.01)

(22) Дата подачи заявки
2021.03.24

(54) ОБЪЕДИНЕНИЕ УСТАНОВКИ DR И ЭЛЕКТРОПЛАВИЛЬНОЙ ПЕЧИ DRI ДЛЯ
ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННОГО ЖЕЛЕЗА

(31) 62/993,787; 17/209,706

(32) 2020.03.24; 2021.03.23

(33) US

(86) PCT/US2021/023802

(87) WO 2021/195161 2021.09.30

(71) Заявитель:
МИДРЭКС ТЕКНОЛОДЖИЗ, ИНК.
(US)

(72) Изобретатель:
Астория Тодд Майкл, Митисита
Харуясу (US)

(74) Представитель:
Кузнецова С.А. (RU)

(57) Способ прямого восстановления включает предоставление шахтной печи установки прямого восстановления для восстановления оксида железа восстановительным газом; предоставление плавильной печи для железа прямого восстановления и присоединение разгрузочного желоба между разгрузочным выходом шахтной печи прямого восстановления и входом плавильной печи для железа прямого восстановления; причем железо прямого восстановления и восстановительный газ из шахтной печи проходят через разгрузочный желоб, и восстановительный газ регулирует атмосферу плавильной печи с получением восстановительной среды.

A1

202292720

202292720

A1

ОБЪЕДИНЕНИЕ УСТАНОВКИ DR И ЭЛЕКТРОПЛАВИЛЬНОЙ ПЕЧИ DRI ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННОГО ЖЕЛЕЗА

ПЕРЕКРЕСТНАЯ ССЫЛКА НА РОДСТВЕННУЮ ЗАЯВКУ

[0001] Настоящая обычная заявка на патент заявляет преимущество приоритета предварительной заявки на патент США № 62/993787, поданной 24 марта 2020 г. под названием «MIDREX PROCESS FOR PRODUCING HIGH PERFORMANCE IRON», содержание которой в полном объеме включено в данный документ посредством ссылки.

ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ

[0002] Настоящее изобретение в целом относится к области производства железа прямого восстановления (DRI) и сталеплавильного производства, где под DRI обычно понимается железо холодного прямого восстановления (CDRI), железо горячего прямого восстановления (HDRI) и горячебрикетированное железо (HBI). Более конкретно, настоящее изобретение относится к способу и системе для объединения этапа плавления в процессе производства DRI с этапом производства DRI.

УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ

[0003] Технологический маршрут доменная печь (BF) – основная сталеплавильная печь (BOF) является наиболее распространенным в мире способом производства нерафинированной стали, но является основным источником выбросов CO₂. Сталеплавильное производство с помощью электродуговой печи (EAF) с использованием металлолома является перспективной альтернативой процессу BF-BOF из-за более низкой интенсивности выбросов CO₂. Однако для получения высококачественного стального продукта, эквивалентного тому, что обычно называют продуктом сорта BF, количество примеси, такой как медь, получаемой из металлолома, ограничено. Для того, чтобы EAF соответствовала требованиям качества, в металлолом в сырье для EAF обычно добавляют единицы чистого железа, такие как железо прямого восстановления (DRI) и/или чугун, чтобы разбавить количество примеси. Переход от

производства BF-BOF к EAF оказывает большее давление на поставки единиц чистого железа, поскольку доступность чистого металлолома становится все более ограниченной, а доступность чугуна BF, не содержащего пустую породу, снижается из-за его более высокого выброса CO₂.

[0004] DRI, восстановленный природным газом, имеет более низкий выброс CO₂ и может стать альтернативным источником единиц чистого железа для EAF, сохраняя при этом более низкие выбросы CO₂ по сравнению с доменной печью. Однако, в отличие от процесса BF, пустая порода, содержащаяся в железной руде, не может быть удалена в ходе реакции в системе твердое вещество-газ в рамках распространенных процессов прямого восстановления, используемых в настоящее время. DRI, содержащий пустую породу с более высокой кислотностью, не является предпочтительным для EAF, поскольку большее количество шлака увеличивает эксплуатационные расходы и снижает производительность. По этой причине большинство DRI, используемого в настоящее время в EAF, производится из высококачественной железной руды, называемой железная руда сорта DR, которая обычно имеет содержание железа более 67%. Тем не менее, истощение запасов железной руды сорта DR является проблемой будущего, что может негативно повлиять на переход производства с BF-BOF на EAF.

[0005] Для удаления пустой породы в форме шлака материал расплавляют после восстановления оксида железа с помощью таких процессов, как BF или EAF. Производство единиц чистого железа без шлака после плавки DRI, полученного из низкосортного оксида железа, обычно называемого «высококачественным железом (HPI)», необходимо для расположенных дальше по технологическому циклу прокатных станов EAF для производства высококачественного стального продукта из металлолома. Считается, что доступность HPI внесет значительный вклад в глобальное сокращение CO₂ за счет улучшения производства стали в EAF с использованием бывшего в употреблении металлолома, который более широко доступен.

[0006] В настоящее время DRI, полученный из оксидных окатышей сорта DR, составляет почти 100% сырья для EAF, где имеется мало металлолома, например, на Ближнем Востоке. Однако в случае использования DRI, полученного из оксидных окатышей более низкого сорта, в традиционной EAF для производства жидкой стали или HPI, более высокое содержание пустой породы в DRI увеличивает объем шлака,

что увеличивает эксплуатационные расходы и снижает производительность EAF, как объясняется ниже.

[0007] Для поддержания надлежащего качества стали на EAF необходимо регулировать химический состав шлака. Основность шлака обычно составляет 2,0 или выше, чтобы регулировать содержание серы и фосфора в полученной стали в окисленной атмосфере. Поскольку большая часть пустой породы в DRI является кислотой, основной флюс, добавляемый в DRI для поддержания более высокой основности, еще больше увеличивает объем шлака.

[0008] Дополнительный шлак приводит к более высоким потерям выхода железа, так как часть железа будет потеряна в виде FeO, насыщенного в шлаке более чем на 20% в окислительной атмосфере на EAF. Эти большие объемы шлака также увеличивают потребление электроэнергии и усилия по удалению шлака, что приводит к увеличению продолжительности плавки от выпуска до выпуска и снижению производительности на EAF. Например, объем шлака составляет приблизительно 100–150 кг шлака на тонну стали при выплавке DRI, полученного из оксида железа сорта DR, на EAF. Он может составлять вплоть до приблизительно 400–500 кг шлака на тонну стали при выплавке DRI, полученного из оксида железа более низкого сорта, на EAF.

СУЩНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0009] В иллюстративных вариантах осуществления настоящего изобретения раскрываются способ и система для объединения этапа плавления с этапом производства DRI, что приводит к улучшению обработки и решению задач, указанных выше. Преимущественно общая выгода заключается в обработке более широкого спектра железных руд, особенно железных руд более низкого сорта, имеющих более высокое содержание пустой породы, чем железные руды сорта DR, при сохранении высокой общей энергоэффективности, выхода материала и производительности.

[0010] Таким образом, для производства HPI с более низкими эксплуатационными расходами и более высокой производительностью варианты осуществления настоящего изобретения позволяют достичь следующих целей и преимуществ: 1) стабильное поддержание восстановительной атмосферы, регулируя положительное внутреннее давление в плавильной печи для DRI; заданное значение давления должно быть достаточно высоким, чтобы предотвратить проникновение воздуха, что может

привести к взрыву; 2) поддержание более высокого содержания остаточного углерода в DRI, не вызывая потерь мелких частиц во время перемещения DRI между установкой DR и плавильной печью для DRI, из-за более низкой физической прочности DRI с высоким содержанием углерода, в целом; и 3) эффективное использование химической и физической энергии в отходящем газе из плавильной печи для DRI, когда DRI с более высоким содержанием остаточного углерода плавится в восстановительной атмосфере.

[0011] В одном иллюстративном варианте осуществления в настоящем изобретении раскрывается способ прямого восстановления. Способ включает: предоставление плавильной печи для DRI; и присоединение разгрузочного желоба между разгрузочным выходом шахтной печи прямого восстановления и входом плавильной печи для DRI; при этом DRI и восстановительный газ из шахтной печи проходят через разгрузочный желоб, и восстановительный газ регулирует атмосферу плавильной печи с получением восстановительной среды. Разгрузочный желоб может содержать разгрузочный желоб для DRI и питательный желоб для DRI. Способ может дополнительно включать предоставление соединительного канала между плавильной печью для DRI и шахтной печью для возврата отходящего газа из плавильной печи в установку прямого восстановления. Отходящий газ из плавильной печи для DRI может быть возвращен по меньшей мере в одну из следующих линий рециркуляции отходящего газа: линия рециркуляции из плавильной печи для DRI в шахтную печь между кольцевым воздухопроводом шахтной печи и верхней частью шихты, линия рециркуляции из плавильной печи для DRI в верхнюю часть шахтной печи и линия рециркуляции из плавильной печи для DRI в скруббер колошникового газа. Способ может включать предоставление вращающегося питателя или питательного шнека на желобе для регулирования скорости подачи DRI из шахтной печи в плавильную печь для DRI. Способ может включать предоставление разгрузочного желоба для подачи навалом для передачи DRI для создания кучи в соответствии с углом естественного откоса в плавильной печи для DRI. Способ может включать предоставление заслонки регулирования давления по меньшей мере в одной из линий рециркуляции отходящего газа для регулирования внутреннего давления плавильной печи для DRI и присоединения холодного разбавляющего газа на отводе для отходящего газа плавильной печи для DRI, при этом холодный разбавляющий газ удаляется по меньшей мере из одного из следующих источников холодного газа на установке прямого восстановления: выпуск охладителя риформированного газа, выпуск охладителя

прямой рециркуляции и выпуск компрессора технологического газа; и причем отходящий газ из плавильной печи для DRI разбавляют холодным разбавляющим газом для снижения температуры отходящего газа на отводе для отходящего газа печи для предотвращения накопления пыли в линиях рециркуляции отходящего газа. Процесс может включать предоставление линии горячего восстановительного газа от выпуска установки риформинга до плавильной печи для DRI для регулирования внутреннего давления плавильной печи для DRI. Для обеспечения протекания отходящего газа из плавильной печи для DRI к установке DR плавильная печь для DRI может работать при положительном давлении, по меньшей мере 0,3 бар изб. или более 1,3 бар изб., в зависимости от того, куда возвращается отходящий газ. Шлак и горячий металл могут выпускаться из плавильной печи для DRI через отдельные выпускные отверстия, или шлак и горячий металл выпускаются из одного и того же выпускного отверстия. Способ может включать предоставление мокрого скруббера для очистки и охлаждения отходящего газа из плавильной печи для DRI, а также заслонки регулирования давления и/или компрессора для регулирования внутреннего давления плавильной печи для DRI, расположенных в линии рециркуляции отходящего газа из плавильной печи для DRI в шахтную печь. Необязательно в такой компоновке плавильная печь для DRI может работать при давлении ниже 0,3 бар изб. Флюс может быть добавлен в оксидные окатыши перед загрузкой в шахтную печь. Уголь или другой углеродистый материал может быть введен в плавильную печь для DRI, а часть холодного газа может быть использована для пневматической транспортировки угля или другого углеродистого материала в плавильную печь для железа прямого восстановления. Часть холодного газа может использоваться в качестве уплотнительного газа для динамического уплотнения вокруг плавильной печи для DRI, например, в качестве газа для уравнивания давления в затворном бункере для загрузки флюса и/или углеродистого материала в плавильную печь для DRI.

[0012] В другом иллюстративном варианте осуществления в настоящем изобретении раскрывается система для прямого восстановления. Система содержит: шахтную печь установки прямого восстановления, выполненную с возможностью восстановления оксида железа восстановительным газом; плавильную печь для DRI; и разгрузочный желоб, присоединенный между разгрузочным выходом шахтной печи DRI и входом плавильной печи для DRI; причем DRI и восстановительный газ из шахтной печи проходят через разгрузочный желоб, и восстановительный газ регулирует атмосферу

плавильной печи с получением восстановительной среды. Система может дополнительно содержать соединительный канал между плавильной печью для DRI и шахтной печью, выполненный с возможностью возврата отходящего газа из плавильной печи в установку прямого восстановления. Плавильная печь для DRI может представлять собой электродуговую печь или печь с погруженной дугой. Отходящий газ из плавильной печи для DRI может быть предусмотрен для возвращения по меньшей мере в одну из следующих линий рециркуляции отходящего газа: линия рециркуляции из плавильной печи для DRI в шахтную печь между кольцевым воздухопроводом шахтной печи и верхней частью шихты, линия рециркуляции из плавильной печи для DRI в верхнюю часть шахтной печи и линия рециркуляции из плавильной печи для DRI в скруббер колошникового газа. Система может содержать вращающийся питатель или питательный шнек, установленный на желобе и выполненный с возможностью регулирования скорости подачи DRI из шахтной печи в плавильную печь для DRI. Система может содержать разгрузочный желоб для подачи навалом, выполненный с возможностью передачи DRI для создания кучи в соответствии с углом естественного откоса в плавильной печи для DRI. Система может содержать заслонку регулирования давления по меньшей мере в одной из линий рециркуляции отходящего газа, выполненную с возможностью регулирования внутреннего давления плавильной печи для DRI и присоединения холодного разбавляющего газа на отводе для отходящего газа плавильной печи для DRI, при этом холодный разбавляющий газ предусмотрен для удаления по меньшей мере из одного из следующих источников холодного газа на установке прямого восстановления: выпуск охладителя риформированного газа; выпуск охладителя прямой рециркуляции; и выпуск компрессора технологического газа. Система может содержать линию горячего восстановительного газа от выпуска установки риформинга до плавильной печи для DRI, выполненную с возможностью регулирования внутреннего давления плавильной печи для DRI. Система может содержать мокрый скруббер, выполненный с возможностью очистки и охлаждения отходящего газа из плавильной печи для DRI, и заслонку регулирования давления и/или компрессор, выполненные с возможностью регулирования внутреннего давления плавильной печи для DRI и расположенные в линии рециркуляции отходящего газа из плавильной печи для DRI в шахтную печь. Разгрузочный желоб может содержать разгрузочный желоб для DRI и питательный желоб для DRI.

[0013] В еще одном иллюстративном варианте осуществления в настоящем изобретении раскрывается способ производства высококачественного железа, содержащего литейный чугун или горячий металл, с помощью установки прямого восстановления, объединенной с плавильной печью для DRI. Способ включает: загрузку железа прямого восстановления непосредственно из шахтной печи в плавильную печь для DRI через соединительный желоб; регулирование атмосферы плавильной печи с получением восстановительной среды путем введения восстановительного газа из шахтной печи в плавильную печь для DRI через соединительный желоб; и возврат отходящего газа из плавильной печи для DRI в установку прямого восстановления через соединительный канал между плавильной печью для DRI и шахтной печью.

[0014]

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ГРАФИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

[0015] Настоящее изобретение проиллюстрировано и описано со ссылкой на различные графические материалы, на которых одинаковые ссылочные позиции используют для обозначения одинаковых этапов способа/компонентов системы/компонентов устройства в соответствующих случаях и на которых:

[0016] на фиг. 1 представлена схема, иллюстрирующая один вариант осуществления известного уровня техники; независимая EAF, применяемая для плавления DRI;

[0017] на фиг. 2 представлена схема, иллюстрирующая один иллюстративный вариант осуществления способа/системы для прямого восстановления и плавления согласно настоящему изобретению;

[0018] на фиг. 3 представлена схема, иллюстрирующая один иллюстративный вариант осуществления способа/системы для прямого восстановления и плавления согласно настоящему изобретению, включая варианты регулирования внутреннего давления плавильной печи для DRI с помощью холодного газа из установки DR;

[0019] на фиг. 4 представлена схема, иллюстрирующая один иллюстративный вариант осуществления способа/системы для прямого восстановления и плавления согласно настоящему изобретению, включая варианты регулирования внутреннего давления плавильной печи для DRI с помощью мокрого скруббера и компрессора; и

[0020] на фиг. 5 представлена схема, иллюстрирующая один иллюстративный вариант осуществления способа/системы для прямого восстановления и плавления согласно настоящему изобретению, включая варианты регулирования внутреннего давления плавильной печи для DRI с помощью горячего риформированного газа.

ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0021] Для уменьшения объема шлака при производстве HPI преимущественно применять двухэтапный способ; во-первых, производство горячего металла или холодного чугуна после плавления DRI и удаления шлака, а во-вторых, удаление углерода в первом железном продукте и производство жидкой стали с использованием дополнительного металлолома в отдельной плавильной печи дальше по технологическому циклу. Первый этап плавления DRI может быть аналогичен тому, что осуществляется в обычной доменной печи; т. е. производство горячего металла из железной руды низшего сорта в восстановительной атмосфере для поддержания содержания FeO менее 1% в шлаке и основности шлака приблизительно на 1,0–1,3 ниже, чем в случае производства стали в EAF.

[0022] Для поддержания более низкого процентного содержания FeO в восстановительной атмосфере содержание углерода, растворенного в расплавленном горячем металле, должно быть достаточно высоким, обычно приблизительно 4%. Для достижения этого уровня остаточное количество углерода в DRI должно быть достаточно высоким, поскольку углеродный материал, добавляемый извне для восполнения углерода, приводит к более низкому выходу на EAF из-за потерь, связанных с отходящим газом, или потерь шлака. Кроме того, чистый или не содержащий серы углеродный материал является дорогим и увеличивает эксплуатационные расходы. Таким образом, желательно минимизировать количество внешней добавки углерода для корректировки, чтобы достичь целевого уровня углерода в горячем металле.

[0023] Второй этап производства стали может быть выполнен на обычной EAF. Таким образом, согласно вышеизложенному преимуществом двухэтапного способа является поддержание восстановительной атмосферы и высокого уровня остаточного углерода в сырье DRI на первом этапе плавления. Кроме того, отходящий газ с первого этапа плавления на EAF должен иметь высокую физическую и химическую энергию, когда

может поддерживаться восстановительная атмосфера. Таким образом, еще одним преимуществом является эффективное использование энергии, имеющейся в отходящем газе.

[0024] Следует отметить, что обычная EAF, как правило, работает при давлении, близком к атмосферному, или слегка отрицательном давлении, и в условиях окислительного газа, где дополнительная химическая энергия горения за счет продувки кислородом с вводом угля или другого углеродистого материала и горелок природного газа применяется в сочетании с электрической энергией.

[0025] В частности, обратимся к фиг. 1, на фиг. 1 представлена схема, иллюстрирующая один вариант осуществления известного уровня техники; независимая EAF, применяемая для плавления DRI. Как показано в системе/способе 30 на фиг. 1, окислительный отходящий газ 32 EAF обычно разбавляется окружающим воздухом в колпаке 5 для разбавления сразу после выхода из установки 3 EAF, а затем обеспыливается рукавным фильтром 6 перед выпуском в окружающую среду через вытяжной вентилятор 7 и дымовую трубу 8. Таким образом, отходящий газ с высокой физической и химической энергией, образующийся на первом этапе плавления, значительно повышает производительность способа, но энергия в отходящем газе не может быть эффективно использована при применении обычной системы для отходящего газа EAF, показанной на фиг. 1. На фиг. 1 дополнительно схематично проиллюстрирован поток DRI 34, передаваемый с установки 36 прямого восстановления в питательный бункер 1 для DRI. Из питательного бункера для DRI по питательному желобу 2 DRI поступает в EAF 3, к которой подсоединен флюсопитатель 4. На фиг. 1 дополнительно проиллюстрирован поток 38 выгрузки шлака и поток 39 выгрузки жидкой стали, выходящие из нижней части EAF 3.

[0026] В публикации заявки на патент США № US2018/0274047, выданной на имя Memoli et al., раскрывается способ производства чугуна из DRI с более высокой металлизацией (>90%) и содержанием остаточного углерода (>2,8%) в EAF, в которой создано положительное внутреннее давление посредством газов, образующихся в результате реакции восстановления, происходящей в EAF. Исходя из концепции, что газы, образующиеся в результате реакции между остаточным FeO и углеродом в DRI, только создают положительное давление в EAF, количество образующихся газов ограничено, когда высоко металлизированный DRI с низким содержанием остаточного

FeO загружается в EAF, работающую в восстановительной атмосфере. В отличие от обычной EAF, где отрицательное давление поддерживается за счет проникновения большого количества окружающего воздуха, в публикации заявки на патент США № US2018/0274047 представляется сложным регулировать положительное давление при ограниченном количестве газов, образующихся в EAF. Внутреннее давление в EAF колеблется, поскольку такие операции, как подача DRI, выпуск горячего металла и выгрузка шлака, происходят с перерывами. Без введения большего объема газа при более высоком заданном положительном давлении кажется трудным постоянно предотвращать проникновение воздуха, что потенциально может привести к взрыву.

[0027] В публикации заявки на патент США № US2018/0274047 очевидно не описывается усовершенствование системы для отходящего газа, но при применении обычной системы для отходящего газа EAF, показанной на фиг. 1, химическая энергия выделяющегося CO в отходящем газе EAF будет потеряна. Когда EAF работает в условиях восстановительной атмосферы и производится литейный чугун (высокоуглеродистый горячий металл), большая часть отходящего газа будет представлять собой CO.

[0028] Кроме того, более высокое содержание остаточного углерода в DRI снижает физическую прочность и создает большое количество мелких частиц во время обработки или транспортировки DRI. Более желательно исключить или минимизировать обработку DRI между установкой DR и EAF, если содержание остаточного углерода в DRI выше.

[0029] Как правило, в установке DR железная руда восстанавливается для производства DRI с использованием природного газа в качестве источника восстановителя, причем кислород удаляется из оксида железа, но пустая порода остается в полученном DRI. EAF плавит DRI для производства жидкой стали с использованием электричества в качестве источника энергии. На фиг. 1 показана технологическая схема/принципиальная схема системы согласно известному уровню техники, в современном маршруте DR-EAF установка DR и EAF имеют совершенно отдельные газовые системы. Установка DR уплотняет восстановительные газы в восстановительной шахтной печи. Затем EAF работает с полностью независимой атмосферой, которая очищается и выводится в окружающую среду. При такой компоновке трудно контролировать восстановительную атмосферу в EAF, чтобы

минимизировать потери выхода железа в шлак.

[0030] Соответственно, в одном иллюстративном варианте осуществления в настоящем изобретении предлагается система с тесно связанными установкой DR и плавильной печью для DRI, где горячее DRI может быть непосредственно загружено из установки DR в плавильную печь для DRI. Обеспечивается прохождение восстановительного газа из установки DR в плавильную печь для DRI через разгрузочный желоб для DRI, а отходящий газ из плавильной печи для DRI может быть возвращен в установку DR. Преимущества этого варианта осуществления/технологической схемы включают: прямое соединение через разгрузочный желоб для DRI между установкой DR и плавильной печью для DRI устраняет обработку/транспортировку DRI между этими системами и минимизирует перепад температур, металлизацию/потери углерода и потери мелких частиц, даже несмотря на то, что более высокое содержание остаточного углерода в DRI имеет тенденцию к снижению физической прочности DRI; атмосфера плавильной печи DRI может регулироваться с получением восстановительной среды путем введения восстановительного газа, образующегося в установке DR, в плавильную печь для DRI; плавильная печь для DRI работает при положительном давлении, по меньшей мере 0,3 бар изб. и предпочтительно более 1,3 бар изб., чтобы позволить отходящему газу проходить из плавильной печи для DRI в установку DR, путем введения восстановительного газа; среда восстановительного газа в плавильной печи для DRI и загрузка DRI с более высоким содержанием остаточного углерода с минимальной потерей мелких частиц позволяет производить горячий металл с более высоким содержанием углерода, аналогичным содержанию углерода в горячем металле, производимом в доменной печи – это снизит процентное содержание FeO в шлаке, а также основность шлака, чтобы минимизировать потери выхода железа в шлак, а более высокая скорость перехода серы из расплавленного железа в шлак в восстановительной атмосфере позволяет применять более низкую основность шлака, аналогичную основности для горячего металла доменной печи, при плавлении DRI в плавильной печи для DRI; меньший объем шлака с более низким содержанием шлака приводит к снижению потребления электроэнергии и повышению производительности плавильной печи для DRI; высокое давление в плавильной печи для DRI позволяет возвращать высококачественный и высокотемпературный отходящий газ и использовать его непосредственно в установке DR, а возврат отходящего газа плавильной печи для DRI в установку DR обеспечивает высокую энергоэффективность.

[0031] В другом иллюстративном варианте осуществления отходящий газ из плавильной печи для DRI может быть возвращен в несколько различных мест в установке DR следующим образом. Вариант 1 рециркуляции: предпочтительное место между кольцевым воздухопроводом шахтной печи установки DR и верхней частью шихты. Это позволяет использовать восстановительный потенциал газа и физическую теплоту непосредственно в способе DR для достижения максимальной эффективности. Вариант 2 рециркуляции: вариант возврата отходящего газа в верхнюю часть шахтной печи установки DR. Вариант 3 рециркуляции: вариант возврата отходящего газа в скруббер колошникового газа установки DR.

[0032] В другом иллюстративном варианте осуществления горячий металл и шлак могут быть выгружены из плавильной печи для DRI со следующими вариациями на разгрузочном желобе для DRI: 1) один вариант – выпуск шлака и горячего металла из плавильной печи для DRI согласно стандартной практике EAF с использованием отдельных выпускных отверстий; и 2) предпочтительный вариант – выпуск горячего металла и шлака из одного выпускного отверстия, а затем использование скребка для удаления шлака для отделения шлака от горячего металла, как это принято в доменном процессе.

[0033] В другом иллюстративном варианте осуществления поток DRI из установки DRI в плавильную печь для DRI регулируется со следующими вариациями на разгрузочном желобе для DRI: 1) физическое устройство, такое как вращающийся питатель или питательный шнек, может быть использовано для регулирования скорости потока DRI без воздействия на поток газа; и 2) DRI может также образовывать кучу согласно углу естественного откоса в плавильной печи для DRI. По мере плавления DRI DRI будет естественным образом проходить в плавильную печь для DRI, чтобы снова создать кучу.

[0034] В другом иллюстративном варианте осуществления отходящий газ из плавильной печи для DRI будет разбавляться на отводе холодным газом для снижения температуры отходящего газа, чтобы предотвратить накопление пыли на линии отходящего газа. Это позволяет регулировать внутреннее давление плавильной печи для DRI с помощью заслонки, установленной на линии отходящего газа. Доступны следующие варианты источника холодного газа с установки DR. Вариант 1 холодного газа: предпочтительный холодный газ, вводимый с выпуска охладителя

риформированного газа, поскольку он является наиболее восстановительным газом. Вариант 2 холодного газа: необязательный холодный газ, вводимый с выпуска охладителя прямой рециркуляции, поскольку он является вторым наиболее восстановительным газом. Вариант 3 холодного газа: необязательный холодный технологический газ, вводимый с выпуска компрессора технологического газа.

[0035] В другом иллюстративном варианте осуществления уголь или другой углеродистый материал может быть введен в плавильную печь для DRI. В этом случае часть одного из вышеупомянутых холодных газов из установки DR используется для пневматической транспортировки угля или другого углеродистого материала в плавильную печь для DRI. В обычной технологии азот используется для пневматической транспортировки угля или другого углеродистого материала в плавильную печь для DRI, но азот будет накапливаться в контуре восстановительного газа на установке DR, когда отходящий газ из плавильной печи для DRI возвращается в установку DR.

[0036] В другом иллюстративном варианте осуществления часть одного из вышеупомянутых холодных газов с установки DR используется в качестве уплотнительного газа для динамического уплотнения вокруг плавильной печи для DRI, например, в качестве газа для уравнивания давления в затворном бункере для загрузки флюса и/или углеродистого материала. В обычной технологии азот используется для уплотнительного газа вокруг плавильной печи для DRI, но азот будет накапливаться в контуре восстановительного газа на установке DR, когда отходящий газ из плавильной печи для DRI возвращается в установку DR.

[0037] В другом иллюстративном варианте осуществления отходящий газ из плавильной печи для DRI после выхода из плавильной печи для DRI обеспыливается с помощью мокрого скруббера для удаления пыли, содержащейся в отходящем газе, чтобы предотвратить накопление пыли на линии отходящего газа. Заслонка регулирования давления и/или компрессор будут установлены дальше по технологическому циклу от мокрого скруббера для регулирования внутреннего давления плавильной печи для DRI. Необязательно в такой компоновке компрессора плавильная печь для DRI может работать при внутреннем давлении ниже 0,3 бар изб.

[0038] В другом иллюстративном варианте осуществления внутреннее давление

плавильной печи для DRI регулируется путем введения в плавильную печь для DRI регулируемого количества горячего восстановительного газа, отбираемого дальше по технологическому циклу от установки риформинга.

[0039] В другом иллюстративном варианте осуществления флюс добавляется в оксидный окатыш перед загрузкой в шахтную печь, чтобы избежать загрузки флюса под давлением в плавильную печь для DRI с помощью системы типа затворного бункера.

[0040] В частности, обратимся к фиг. 2, на фиг. 2 показана схема способа/системы 40 с тесно связанными установкой DR и плавильной печью для DRI. Как показано на фиг. 2, установка 42 DR содержит шахтную печь 11, скруббер 13 колошникового газа, один или более газовых компрессоров 14, подогреватель (теплообменник) 15 сырьевого газа установки риформинга, выводную трубу 17 для дымового газа и установку 16 риформинга. Оксид железа загружается в верхнюю часть шахтной печи 11, восстанавливается и обогащается углеродом с помощью горячего восстановительного газа в противоточном движущемся слое в шахтной печи 11. DRI выгружается из нижней части шахтной печи 11, как показано потоком 44 DRI, и передается в плавильную печь 12 для DRI через прямо присоединенный разгрузочный желоб 46. Разгрузочный желоб 45 для DRI может быть соединен с разгрузочным выходом DRI из шахтной печи 11 и питательным желобом 46 для DRI. Скорость выгрузки DRI регулируется физическим устройством 20, таким как вращающийся питатель или питательный шнек. Или, как вариант, DRI может подаваться навалом через разгрузочный желоб 45 или образовывать кучу согласно углу естественного откоса в плавильной печи 12 для DRI, где DRI будет естественным образом проходить в плавильную печь 12 для DRI, чтобы снова создать кучу по мере плавления DRI. Восстановительный газ 48 проходит вниз из шахтной печи 11 в плавильную печь 12 для DRI через насадочный слой DRI в разгрузочном желобе 45 в соответствии с балансом давления, поскольку механическое уплотнительное устройство не установлено. Колошниковый газ 50 шахтной печи, содержащий продукты восстановления, возвращается из шахтной печи 11 в скруббер 13 колошникового газа. Часть очищенного газа отправляется в систему горелок установки 16 риформинга в качестве источника топлива. Оставшийся очищенный газ направляется в один или более компрессоров 14. Сжатый газ смешивается с природным газом перед направлением в

подогреватель (теплообменник) 15 сырьевого газа, который выполнен с возможностью улавливания тепла из дымового газа из установки 16 риформинга в выводную трубу 17 для дымового газа. Предварительно нагретый сырьевой газ направляется в установку 16 риформинга, где углеводород, такой как метан, содержащийся в сырьевом газе, подвергается каталитическому риформингу с получением H_2 и CO для образования восстановителя для восстановления оксида железа в шахтной печи 11. Риформированный газ, выходящий из установки 16 риформинга, направляется в шахтную печь 11 посредством потока 54 в качестве восстановительного газа. Как правило, восстановительный газ, входящий в шахтную печь 11, имеет температуру от приблизительно 900 до 1000 °C при давлении от приблизительно 1,3 до 2,0 бар изб., а колошниковый газ 50 шахтной печи имеет температуру от приблизительно 300 до 350 °C при давлении от приблизительно 0,3 до 1,0 бар изб. в нормальном рабочем состоянии.

[0041] Во время запуска температура восстановительного газа регулируется на более низком уровне, в то время как установка 16 риформинга не может допускать работу при более низкой температуре, чтобы избежать осаждения углерода на катализаторе. Поэтому установка 42 DR обычно имеет средство для охлаждения восстановительного газа 48 с помощью охладителя 19 риформированного газа или охладителя 18 прямой рециркуляции. Эти охладители представляют собой охладитель с насадочным слоем и работают только во время запуска, хотя они могут работать каждый раз, когда это необходимо.

[0042] DRI, выгруженный из шахтной печи 11, подается в плавильную печь 12 для DRI вместе с восстановительным газом из шахтной печи 11. Флюс, а также дополнительный углеродный материал 56, будут параллельно загружаться из бункера 26 для хранения флюса/углерода, где питательная система должна иметь функцию подачи материала в плавильную печь 12 для DRI, работающую при более высоком давлении, например, система типа затворного бункера с использованием инертного или восстановительного газа для выравнивания давления. Необязательно флюс может быть добавлен в оксидный окатыш на этапе производства окатышей перед загрузкой в шахтную печь 11, как это обычно делается для подачи в доменную печь. Это исключает систему затворного бункера и улучшает выход флюса в плавильной печи для DRI. Кроме того, уголь или другой углеродистый материал может быть введен в плавильную печь 12 для

DRI с газом-носителем, который представляет собой холодный восстановительный газ, отбираемый из установки 42 DR.

[0043] В плавильной печи 12 для DRI происходит плавление DRI, чтобы позволить шлаку отделиться от металла. Шлак и горячий металл выпускаются из плавильной печи 12 для DRI согласно стандартной практике на обычной EAF с использованием отдельных выпускных отверстий. Выгрузка 58 шлака и выгрузка 60 горячего металла показаны на фиг. 2. Или, в качестве альтернативы, горячий металл и шлак выпускаются из одного и того же выпускного отверстия, а затем используется скребок для удаления шлака для отделения шлака от горячего металла, как это принято в доменном процессе.

[0044] Физические/химические свойства горячего металла аналогичны свойствам горячего металла, произведенного в доменной печи. С помощью разливочной машины 24 для чугуна, следующей за плавильной печью для DRI, горячий металл, выгруженный из плавильной печи для DRI, может быть преобразован в чугун (литейный чугун), чтобы железный продукт можно было транспортировать клиентам. В отличие от обычного DRI железный продукт представляет собой чистое железо без шлака, полученное из низкосортного оксида железа с низким уровнем выброса CO₂, что называется «высококачественным железом (HPI)», как показано позицией 66 на фиг. 2.

[0045] Способ/система 40 с тесно связанными установкой 42 DR и плавильной печью 12 для DRI согласно вариантам осуществления позволяет производить HPI с более низкими эксплуатационными расходами и более высокой производительностью, как более подробно описано ниже.

[0046] Прямое соединение через загрузочный желоб 45 для DRI между шахтной печью 11 и плавильной печью 12 для DRI исключает обработку/транспортировку DRI между этими системами и минимизирует перепад температур, металлизацию/потери углерода и потери мелких частиц. Это особенно эффективно, когда DRI имеет более высокое содержание остаточного углерода, поскольку прочность DRI имеет тенденцию к снижению при увеличении содержания углерода в DRI.

[0047] Атмосфера внутри плавильной печи 12 для DRI может быть отрегулирована с получением восстановительной среды путем введения восстановительного газа, образующегося в шахтной печи 11, через разгрузочный желоб 45 для DRI. Плавильная

печь 12 для DRI работает при положительном давлении, составляющем по меньшей мере 0,3 бар изб. и предпочтительно более 1,3 бар изб. Данный уровень давления обеспечивает предотвращение проникновения окружающего воздуха в плавильную печь 12 для DRI, даже если давление колеблется в течение рабочего цикла.

[0048] Среда восстановительного газа в плавильной печи 12 для DRI и загрузка DRI с более высоким содержанием остаточного углерода с минимальными потерями мелких частиц позволяют производить горячий металл с более высоким содержанием углерода, аналогичным содержанию углерода в горячем металле, произведенном в доменной печи. Это снижает процентное содержание FeO в шлаке, а также основность шлака, чтобы минимизировать потери выхода железа в шлак по сравнению с обычной работой EAF. Более высокая скорость перехода серы из расплавленного железа в шлак в восстановительной атмосфере позволяет применять более низкую основность шлака, аналогичную той, что используется для горячего металла из доменной печи.

[0049] Меньший объем шлака при более низком содержании шлака приводит к снижению потребления электроэнергии и повышению производительности в плавильной печи 12 для DRI.

[0050] Высокое давление в плавильной печи 12 для DRI позволяет возвращать высококачественный и высокотемпературный отходящий газ из плавильной печи в установку DR и использовать его непосредственно в ней. Возврат отходящего газа из плавильной печи 12 для DRI в установку DR обеспечивает высокую энергоэффективность. В отличие от отходящего газа из обычной EAF, отходящий газ из плавильной печи 12 для DRI для производства горячего металла за счет восстановления содержит в основном горючие вещества: $\text{CO} + \text{H}_2 > 90\%$. При введении восстановительного газа из шахтной печи 11 расчетная скорость подачи отходящего газа из плавильной печи 12 для DRI составляет 25,6 Нм³/т DRI, как показано в таблице II для иллюстративного материального баланса при конкретных условиях, что соответствует приблизительно 5% от количества $\text{H}_2 + \text{CO}$, необходимого для восстановления 1 тонны оксида. Поэтому более желательно использовать отходящий газ в качестве восстановителя для восстановления оксида железа в установке DR, а не просто сжигать его в качестве топлива.

[0051] Таким образом, в одном иллюстративном варианте осуществления отходящий

газ из плавильной печи 12 для DRI может быть возвращен в несколько различных мест в установке 42 DR, как показано ниже и на фиг. 2. Оптимальное место должно быть определено в зависимости от давления, температуры и восстановительной способности рециркуляционного отходящего газа в конкретных проектных условиях. Вариант 1 рециркуляции показан в потоке 70 на фиг. 2: предпочтительное место 77 между кольцевым воздухопроводом шахтной печи установки DR и верхней частью шихты. Это позволяет использовать восстановительный потенциал газа и физическую теплоту непосредственно в способе DR для достижения максимальной эффективности. Вариант 2 рециркуляции показан в потоке 68 на фиг. 2: вариант возврата отходящего газа из плавильной печи 12 для DRI в верхнюю часть 79 шахтной печи установки DR. Вариант 3 рециркуляции показан в потоке 72 на фиг. 2: вариант возврата отходящего газа из плавильной печи 12 для DRI в скруббер 13 колошникового газа установки 42 DR.

[0052] Температура отходящего газа, выходящего из плавильной печи 12 для DRI, была бы выше 1200° °C даже с восстановительным газом, вводимым из шахтной печи 11. Липкая пыль, содержащаяся в отходящем газе, может накапливаться в линии отходящего газа при такой температуре. Это повлияет на меры по регулированию внутреннего давления плавильной печи 12 для DRI, поскольку в линии отходящего газа должна быть установлена заслонка регулирования давления.

[0053] В частности, обратимся к фиг. 3, на фиг. 3 представлена схема иллюстративного варианта осуществления способа/системы 70 для прямого восстановления и плавления согласно настоящему изобретению, аналогичных по аспектам фиг. 2, но также включающих варианты регулирования внутреннего давления плавильной печи 12 для DRI с помощью холодного газа из установки 42 DR.

Таким образом, приведенные выше описания фиг. 2 относительно подобных признаков, условий, потоков и ссылочных позиций являются применимыми.

[0054] Как показано на фиг. 3, отходящий газ из плавильной печи 12 для DRI будет разбавляться на отводе 25 холодным газом для снижения температуры отходящего газа, чтобы предотвратить накопление пыли в линии отходящего газа. Это позволяет регулировать внутреннее давление плавильной печи 12 для DRI с помощью заслонки 21, установленной на линии отходящего газа. Возможны следующие варианты источника холодного газа с установки 42 DRI, как описано ниже и показано на фиг. 3.

Вариант 1 холодного газа показан в потоке 72 на фиг. 3: предпочтительный холодный газ, вводимый с выпуска охладителя 19 риформированного газа, поскольку он является наиболее восстановительным газом. Вариант 2 холодного газа показан в потоке 74 на фиг. 3: необязательный холодный газ, вводимый с выпуска охладителя 18 прямой рециркуляции, поскольку он является вторым наиболее восстановительным газом. Вариант 3 холодного газа показан в потоке 76 на фиг. 3: необязательный холодный технологический газ, вводимый с выпуска компрессора 14 технологического газа.

[0055] Следует отметить, что на большинстве установок DR установлен либо охладитель риформированного газа, либо охладитель прямой рециркуляции. Они работают только при запуске оксида и бездействуют при нормальной работе, но могут работать непрерывно для подачи холодного газа в отвод 25 для отходящего газа в плавильной печи 12 для DRI.

[0056] В частности, обратимся к фиг. 4, на фиг. 4 представлена схема иллюстративного варианта осуществления способа/системы 80 для прямого восстановления и плавления согласно настоящему изобретению, аналогичных по некоторым аспектам фиг. 2 и 3, но включающих варианты регулирования внутреннего давления плавильной печи для DRI с помощью мокрого скруббера и компрессора. Таким образом, приведенные выше описания фиг. 2 и 3 относительно подобных признаков, условий, потоков и ссылочных позиций являются применимыми.

[0057] Как показано на фиг. 4, отходящий газ из плавильной печи 12 для DRI после выхода из плавильной печи 12 для DRI обеспыливается с помощью мокрого скруббера 23 для удаления пыли, содержащейся в отходящем газе, чтобы предотвратить накопление пыли на линии отходящего газа. Заслонка 21 регулирования давления и/или компрессор 22 будут установлены дальше по технологическому циклу от мокрого скруббера 23 для регулирования внутреннего давления плавильной печи 12 для DRI. Следует отметить, что этот вариант осуществления может повлечь за собой более высокие капитальные вложения, большее количество оборудования для обслуживания и более низкую температуру рециркулируемого отходящего газа. Необязательно с компрессором, сжимающим отходящий газ, возвращаемый в установку DR, плавильная печь для DRI может работать при более низком давлении, менее 0,3 бар изб., что облегчает герметизацию плавильной печи для DRI.

[0058] В частности, обратимся к фиг. 5, на фиг. 5 представлена схема иллюстративного варианта осуществления способа/системы 90 для прямого восстановления и плавления согласно настоящему изобретению, аналогичных по некоторым аспектам фиг. 2, 3 и 4, но включающих варианты регулирования внутреннего давления плавильной печи для DRI с помощью горячего риформированного газа. Таким образом, приведенные выше описания фиг. 2, 3 и 4 относительно подобных признаков, условий, потоков и ссылочных позиций являются применимыми.

[0059] Как показано на фиг. 5, внутреннее давление плавильной печи 12 для DRI регулируется путем введения в плавильную печь для DRI регулируемого количества горячего восстановительного газа, отбираемого дальше по технологическому циклу от установки 16 риформинга. Предусмотрена горячая заслонка 27 для регулирования скорости потока горячего восстановительного газа из установки риформинга. Она исключает заслонку регулирования давления в линии отходящего газа, но может работать не очень хорошо, если нагрузка липкой пыли слишком высока и пыль накапливается на линии отходящего газа. Следует отметить, что работу можно регулировать таким образом, чтобы нагрузка липкой пыли не была слишком высокой и пыль не накапливалась в линии отходящего газа. Также следует отметить, что дополнительная линия 27 регулирования давления может работать с любой из конфигураций отходящего газа из отвода 25 плавильной печи 12 для DRI, как описано в других иллюстративных вариантах осуществления и показано на фиг. 2, фиг. 3 или фиг. 4.

[0060] В одном иллюстративном варианте осуществления, и как показано на фиг. 2, уголь или другой углеродистый материал 47 может быть введен в плавильную печь 12 для DRI. Часть одного из вышеупомянутых холодных газов из установки DR (обозначена позицией 49 на фиг. 2) может быть использована для пневматической транспортировки угля или другого углеродистого материала в плавильную печь 12 для DRI. В обычной технологии азот используется для пневматической транспортировки угля или другого углеродистого материала в плавильную печь 12 для DRI, но азот будет накапливаться в контуре восстановительного газа на установке DR, когда отходящий газ из плавильной печи 12 для DRI возвращается в установку DR.

[0061] В другом иллюстративном варианте осуществления часть одного из вышеупомянутых холодных газов с установки DR используется в качестве

уплотнительного газа для динамического уплотнения вокруг плавильной печи 12 для DRI, например, в качестве газа для уравнивания давления в затворном бункере для загрузки флюса и/или углеродистого материала из загрузочного бункера 26, как также лучше всего видно на фиг. 2. В обычной технологии азот используется для уплотнительного газа вокруг плавильной печи 12 для DRI, но азот будет накапливаться в контуре восстановительного газа на установке DR, когда отходящий газ из плавильной печи для DRI возвращается в установку 42 DR.

[0062] Иллюстративный материальный баланс показан ниже в случае, когда горячий металл с содержанием углерода 4,5% производится с оксидным окатышем с содержанием Fe 66% с использованием системы с тесно связанными установкой DR и плавильной печью 12 для DRI согласно вариантам осуществления. Предполагая, что весь углерод для получения 4,5% C в горячем металле будет получен из DRI без добавления внешнего углерода, для DRI задается металлизация 95% и содержание остаточного углерода 5%. Производительность по DRI составляет 2 миллиона тонн в год или 250 тонн в час. Разница давлений между зоной кольцевого воздухопровода шахтной печи 11 и плавильной печью 12 для DRI составляет 1,4 бар, что заставляет восстановительный газ проходить вниз через разгрузочный желоб, заполненный DRI, между шахтной печью 11 и плавильной печью 12 для DRI.

[0063] В таблице I представлен общий материальный баланс с анализом оксида/DRI. В таблице II приведен газовый баланс вокруг плавильной печи 12 для DRI при определенных условиях.

	Производительность		Химический анализ (%)							
	Часовая (т/ч)	Годовая (млн т/год)	T-Fe (%)	M-Fe (%)	C (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Другое (%)
Оксид железа	330	2,64	66,2	0,0	0,0	3,3	0,4	1,8	0,2	28,1
DRI	250	2,00	86,1	81,8	5,0	4,3	0,5	2,3	0,3	1,5
Горячий металл	220	1,76		95,5	4,5					
Шлак	30	0,24								

Таблица I: Общий материальный баланс

	Нисходящий поток из шахтной печи в плавильную печь для DRI	Выделяющийся газ, образовавшийся в плавильной печи для DRI	Отходящий газ, выпущенный из плавильной печи для DRI
Скорость потока (Нм ³ /ч)	1900	4500	6400
Скорость потока (Нм ³ /т DRI)	7,6	18,0	25,6
Температура (°C)	700	1500	1260
Высшая теплотворная способность (ккал-Втс/Нм ³)	2770	3020	2950
Энтальпия (ккал/Нм ³)	240	520	440
Химическая энергия (Гкал/ч)	5,2	13,6	18,8
Физическая энергия (Гкал/ч)	0,4	2,4	2,8

Таблица II: Газовый баланс вокруг плавильной печи для DRI

[0064] Для восстановления 1 тонны оксида железа требуется приблизительно 500 Нм³/т DRI H₂+CO, в то время как большая часть отходящего газа из плавильной печи 12 для DRI представляет собой CO и H₂, что означает, что отходящий газ из плавильной печи 12 для DRI составляет 25 Нм³/т DRI H₂+CO или 5% от H₂+CO, необходимых для восстановления оксида железа. Для сравнения, общая энергия (химическая + физическая) составляет 21,6 Гкал/ч = 0,08 Гкал/т DRI, что соответствует приблизительно 3% от потребления природного газа на установке DR. Такое потребление энергии показывает, что преимущественнее возвращать отходящий газ из плавильной печи 12 для DRI для использования в качестве восстановителя для шахтной печи, чем использовать их в качестве топлива в другом месте.

[0065] Хотя настоящее изобретение проиллюстрировано и описано со ссылкой на предпочтительные варианты осуществления и его конкретные примеры, специалистам в данной области будет очевидно, что другие варианты осуществления и примеры могут выполнять подобные функции и/или с их помощью можно достичь подобных

результатов. Все эти эквивалентные варианты осуществления и примеры находятся в пределах объема и идеи настоящего изобретения, предусмотрены настоящим изобретением и предполагается, что они включены в следующую формулу изобретения. Кроме того, все элементы и признаки, описанные в настоящем документе, могут использоваться в любой комбинации в вариантах осуществления.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ прямого восстановления, включающий:

предоставление шахтной печи установки прямого восстановления для восстановления оксида железа с помощью восстановительного газа;

предоставление плавильной печи для железа прямого восстановления; и

присоединение разгрузочного желоба между разгрузочным выходом шахтной печи прямого восстановления и входом плавильной печи для железа прямого восстановления; при этом железо прямого восстановления и восстановительный газ из шахтной печи проходят через разгрузочный желоб, и восстановительный газ регулирует атмосферу плавильной печи с получением восстановительной среды.

2. Способ прямого восстановления по п. 1, отличающийся тем, что разгрузочный желоб содержит разгрузочный желоб для железа прямого восстановления и питательный желоб для железа прямого восстановления.

3. Способ прямого восстановления по п. 1, отличающийся тем, что дополнительно включает предоставление соединительного канала между плавильной печью для железа прямого восстановления и шахтной печью для возврата отходящего газа из плавильной печи в установку прямого восстановления.

4. Способ прямого восстановления по п. 1, отличающийся тем, что отходящий газ из плавильной печи для железа прямого восстановления возвращают по меньшей мере в одну из следующих линий рециркуляции отходящего газа: линия рециркуляции из плавильной печи для железа прямого восстановления в шахтную печь между кольцевым воздухопроводом шахтной печи и верхней частью шихты, линия рециркуляции из плавильной печи для железа прямого восстановления в верхнюю часть шахтной печи и линия рециркуляции из плавильной печи для железа прямого восстановления в скруббер колошникового газа.

5. Способ прямого восстановления по п. 4, отличающийся тем, что включает предоставление вращающегося питателя или питательного шнека на желобе для регулирования скорости подачи железа прямого восстановления из шахтной печи в плавильную печь для железа прямого восстановления.

6. Способ прямого восстановления по п. 4, отличающийся тем, что включает предоставление разгрузочного желоба для подачи навалом для передачи железа прямого восстановления для создания кучи согласно углу естественного откоса в плавильной печи для железа прямого восстановления.

7. Способ прямого восстановления по п. 4, отличающийся тем, что включает предоставление заслонки регулирования давления по меньшей мере в одной из линий рециркуляции отходящего газа для регулирования внутреннего давления плавильной печи для железа прямого восстановления и присоединения холодного разбавляющего газа на отводе для отходящего газа плавильной печи прямого восстановления, при этом холодный разбавляющий газ удаляют по меньшей мере из одного из следующих источников холодного газа на установке прямого восстановления: выпуск охладителя риформированного газа, выпуск охладителя прямой рециркуляции и выпуск компрессора технологического газа; и причем отходящий газ из плавильной печи для железа прямого восстановления разбавляют холодным разбавляющим газом для снижения температуры отходящего газа на отводе для отходящего газа печи для предотвращения накопления пыли в линиях рециркуляции отходящего газа.

8. Способ прямого восстановления по п. 4, отличающийся тем, что включает предоставление линии горячего восстановительного газа от выпуска установки риформинга до плавильной печи для железа прямого восстановления для регулирования внутреннего давления плавильной печи прямого восстановления.

9. Способ прямого восстановления по п. 1, отличающийся тем, что плавильная печь для железа прямого восстановления работает при положительном давлении, составляющем по меньшей мере 0,3 бар изб.

10. Способ прямого восстановления по п. 1, отличающийся тем, что плавильная печь для железа прямого восстановления работает при положительном давлении, составляющем более 1,3 бар изб.

11. Способ прямого восстановления по п. 1, отличающийся тем, что шлак и горячий металл выпускают из плавильной печи для железа прямого восстановления через отдельные выпускные отверстия, или шлак и горячий металл выпускают из одного и того же выпускного отверстия.

12. Способ прямого восстановления по п. 4, отличающийся тем, что включает предоставление мокрого скруббера для очистки и охлаждения отходящего газа из плавильной печи для железа прямого восстановления, а также заслонки регулирования давления и/или компрессора для регулирования внутреннего давления плавильной печи для железа прямого восстановления, расположенных в линии рециркуляции отходящего газа из плавильной печи для железа прямого восстановления в шахтную печь.

13. Способ прямого восстановления по п. 4, отличающийся тем, что флюс добавляют в оксидные окатыши перед загрузкой в шахтную печь.

14. Способ прямого восстановления по п. 7, отличающийся тем, что уголь или другой углеродистый материал вводят в плавильную печь для железа прямого восстановления, а часть холодного газа используют для пневматической транспортировки угля или другого углеродистого материала в плавильную печь для железа прямого восстановления.

15. Способ прямого восстановления по п. 7, отличающийся тем, что часть холодного газа используют в качестве уплотнительного газа для динамического уплотнения вокруг плавильной печи для железа прямого восстановления, например, в качестве газа для уравнивания давления в затворном бункере для загрузки флюса и/или углеродистого материала в плавильную печь для железа прямого восстановления.

16. Система для прямого восстановления, содержащая:

шахтную печь установки прямого восстановления, выполненную с возможностью восстановления оксида железа с помощью восстановительного газа;

плавильную печь для железа прямого восстановления; и

разгрузочный желоб, присоединенный между разгрузочным выходом шахтной печи для железа прямого восстановления и входом плавильной печи для железа прямого восстановления; при этом железо прямого восстановления и восстановительный газ из шахтной печи проходят через разгрузочный желоб, и восстановительный газ регулирует атмосферу плавильной печи для железа прямого восстановления с получением восстановительной среды.

17. Система для прямого восстановления по п. 16, отличающаяся тем, что дополнительно содержит соединительный канал между плавильной печью для железа прямого восстановления и шахтной печью, выполненный с возможностью возврата отходящего газа из плавильной печи в установку прямого восстановления.

18. Система для прямого восстановления по п. 16, отличающаяся тем, что плавильная печь для железа прямого восстановления представляет собой электродуговую печь или печь с погруженной дугой.

19. Система для прямого восстановления по п. 16, отличающаяся тем, что отходящий газ из плавильной печи для железа прямого восстановления предусмотрен для возвращения по меньшей мере в одну из следующих линий рециркуляции отходящего газа: линия рециркуляции из плавильной печи для железа прямого восстановления в шахтную печь между кольцевым воздухопроводом шахтной печи и верхней частью шихты, линия рециркуляции из плавильной печи для железа прямого восстановления в верхнюю часть шахтной печи и линия рециркуляции из плавильной печи для железа прямого восстановления в скруббер колошникового газа.

20. Система для прямого восстановления по п. 19, отличающаяся тем, что содержит вращающийся питатель или питательный шнек, установленный на желобе и выполненный с возможностью регулирования скорости подачи железа прямого восстановления из шахтной печи в плавильную печь для железа прямого восстановления.

21. Система для прямого восстановления по п. 19, отличающаяся тем, что содержит разгрузочный желоб для подачи навалом, выполненный с возможностью передачи железа прямого восстановления для создания кучи согласно углу естественного откоса в плавильной печи для железа прямого восстановления.

22. Система для прямого восстановления по п. 19, отличающаяся тем, что содержит заслонку регулирования давления по меньшей мере в одной из линий рециркуляции отходящего газа, выполненную с возможностью регулирования внутреннего давления плавильной печи для железа прямого восстановления и присоединения холодного разбавляющего газа на отводе для отходящего газа плавильной печи прямого восстановления, при этом холодный разбавляющий газ предусмотрен для удаления по меньшей мере из одного из следующих источников холодного газа на установке

прямого восстановления: выпуск охладителя риформированного газа, выпуск охладителя прямой рециркуляции и выпуск компрессора технологического газа.

23. Система для прямого восстановления по п. 19, отличающаяся тем, что содержит линию горячего восстановительного газа от выпуска установки риформинга до плавильной печи для железа прямого восстановления, выполненную с возможностью регулирования внутреннего давления плавильной печи для железа прямого восстановления.

24. Система для прямого восстановления по п. 19, отличающаяся тем, что содержит мокрый скруббер, выполненный с возможностью очистки и охлаждения отходящего газа из плавильной печи для железа прямого восстановления, а также заслонки регулирования давления и/или компрессора, выполненного с возможностью регулирования внутреннего давления плавильной печи для железа прямого восстановления, расположенных в линии рециркуляции отходящего газа из плавильной печи для железа прямого восстановления в шахтную печь.

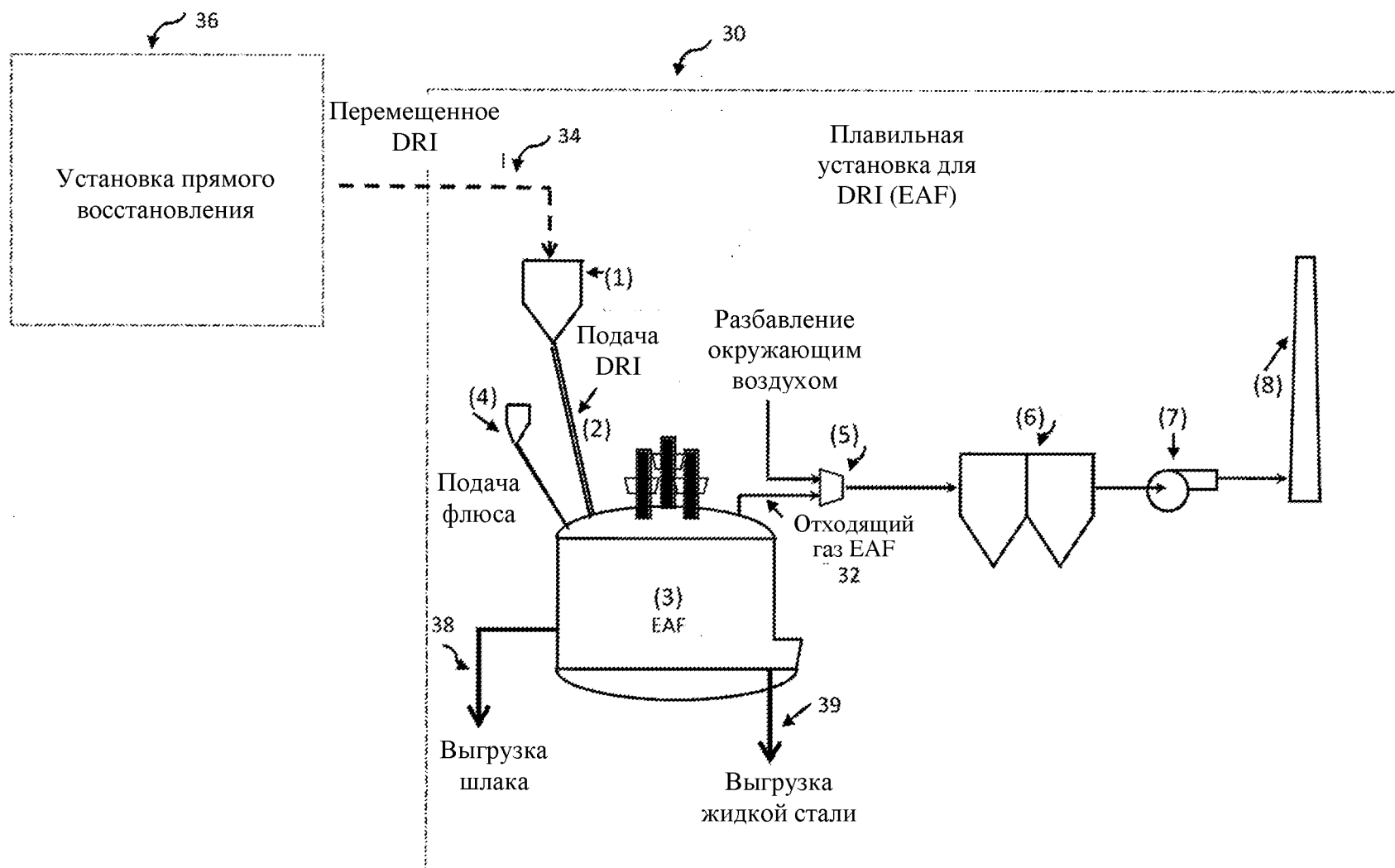
25. Система для прямого восстановления по п. 16, отличающаяся тем, что разгрузочный желоб содержит разгрузочный желоб для железа прямого восстановления и питательный желоб для железа прямого восстановления.

26. Способ производства высококачественного железа, содержащего литейный чугун или горячий металл, с помощью установки прямого восстановления, объединенной с плавильной печью для железа прямого восстановления, включающий:

загрузку железа прямого восстановления непосредственно из шахтной печи в плавильную печь для железа прямого восстановления через соединительный желоб;

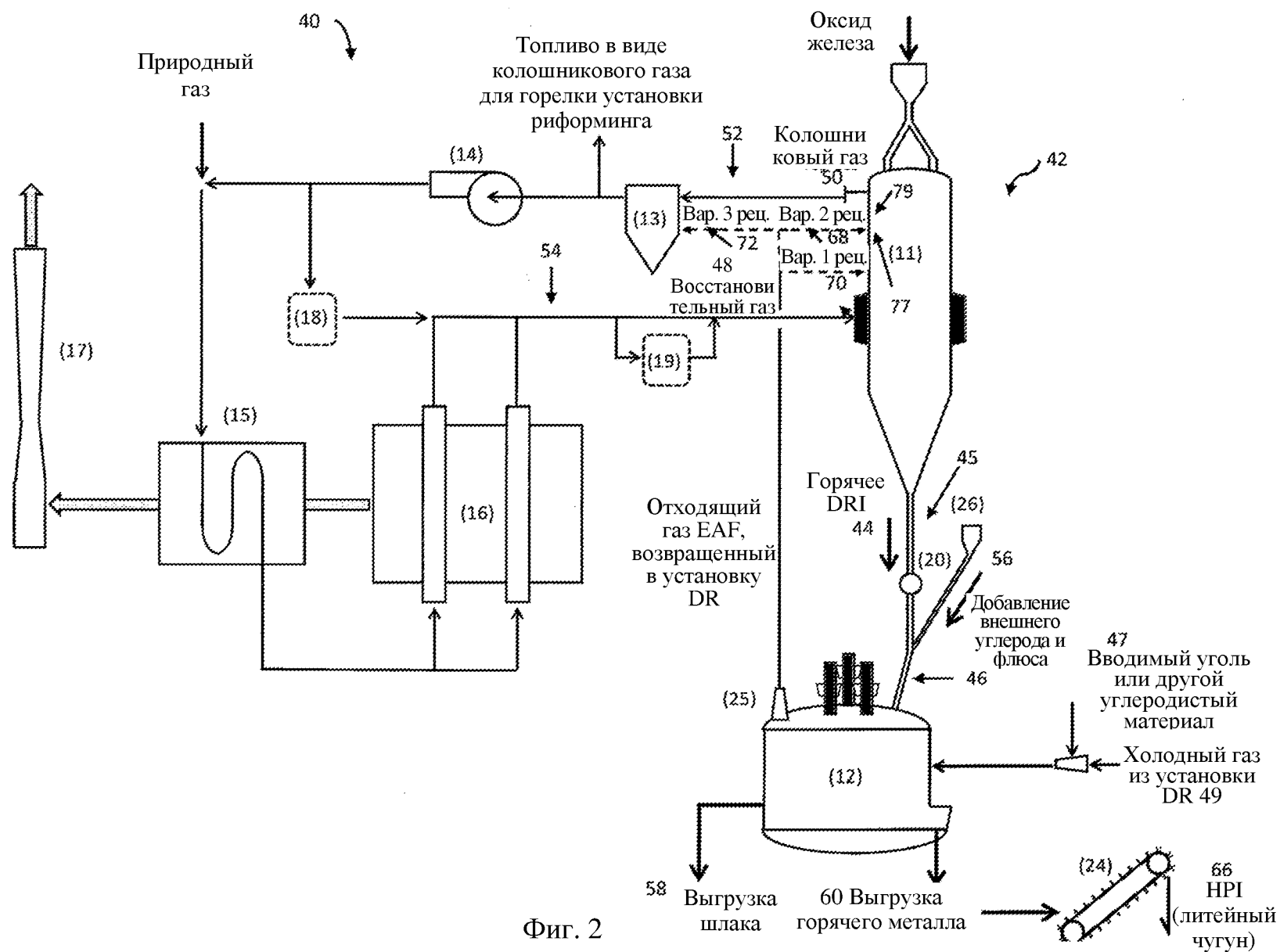
регулирование атмосферы плавильной печи с получением восстановительной среды путем введения восстановительного газа из шахтной печи в плавильную печь для железа прямого восстановления через соединительный желоб; и

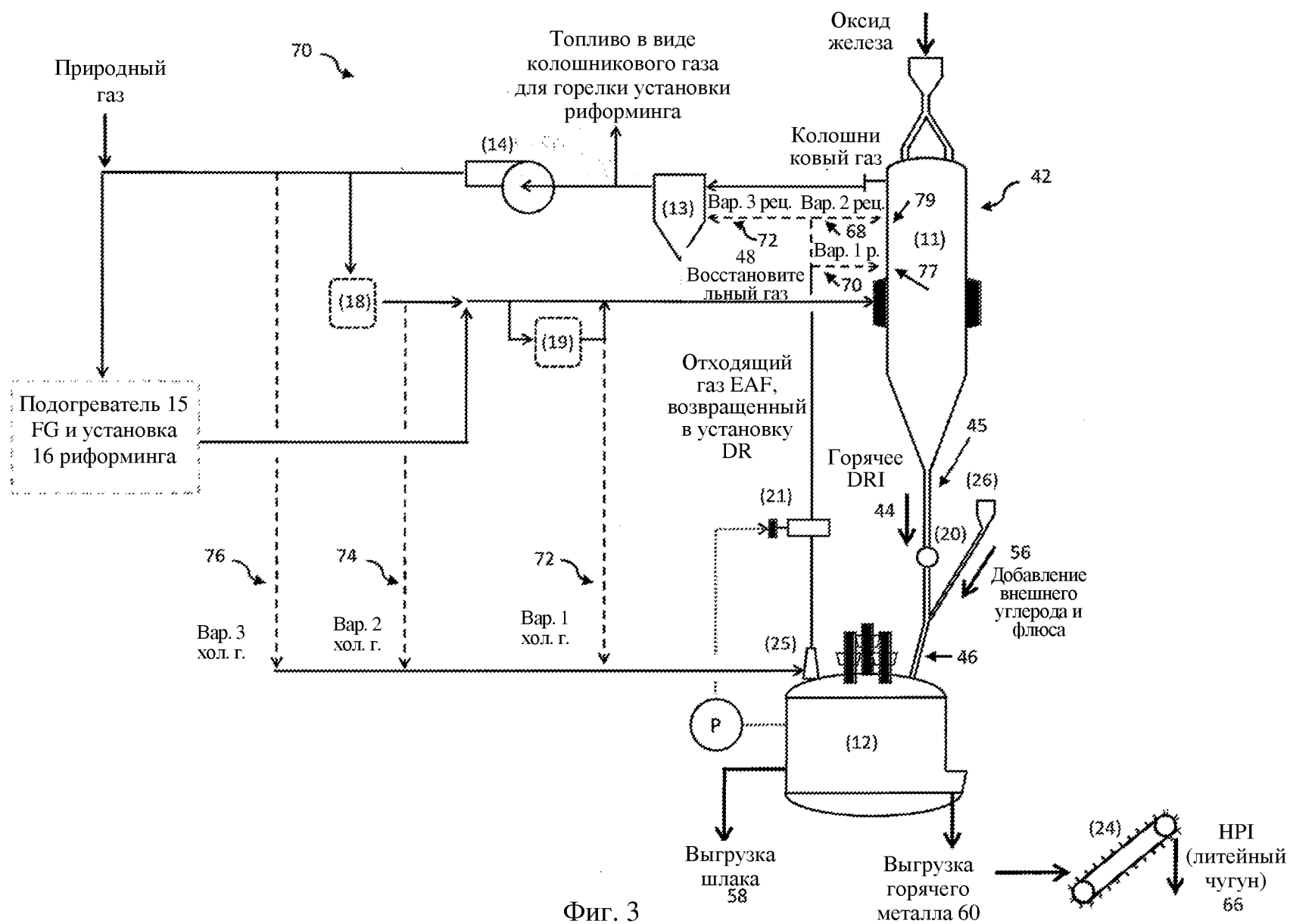
возврат отходящего газа из плавильной печи для железа прямого восстановления в установку прямого восстановления через соединительный канал между плавильной печью для железа прямого восстановления и шахтной печью.



Фиг. 1

(Уровень техники)





Фиг. 3

Фиг. 4

