

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **045225**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2023.11.03**

(21) Номер заявки  
**202193022**

(22) Дата подачи заявки  
**2020.06.02**

(51) Int. Cl. **C12B 13/00** (2006.01)  
**C21B 13/14** (2006.01)  
**F27B 15/00** (2006.01)

---

(54) **СПОСОБ ПРЯМОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВОДОРОДА**

---

(31) **62/857,843**

(32) **2019.06.06**

(33) **US**

(43) **2022.04.04**

(86) **PCT/US2020/035635**

(87) **WO 2020/247328 2020.12.10**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:  
**МИДРЭКС ТЕКНОЛОДЖИЗ, ИНК.**  
**(US)**

(72) Изобретатель:  
**Асториа Тодд Майкл, Хьюз Грегори**  
**Дарел, Синтрон Энрике Жозе,**  
**Барстоу-Кокс Кит Маршалл (US)**

(74) Представитель:  
**Носырева Е.Л. (RU)**

(56) **WO-A1-2019042574**  
**US-A-6063155**  
**WO-A1-2019219340**  
**US-A1-20130205951**  
**WO-A2-2011116141**  
**US-A1-20180036804**  
**US-A-5618032**

(57) Предложен способ получения железа прямого восстановления (ЖПВ), с или без углерода, с применением водорода, где водород получают с применением воды, получаемой внутри в ходе процесса. Способ характеризуется наличием либо одного, либо двух контуров для газа, при этом один предназначен для влияния на восстановление оксида, а другой предназначен для влияния на карбюризацию ЖПВ. Основной контур, который отвечает за восстановление, обеспечивает рециркуляцию использованного газа из шахтной печи в контуре, в котором выполняется этап сухого обеспыливания, этап удаления кислорода для выработки водорода и сообщение с шахтной печью для восстановления. При отсутствии второго контура этот контур, в сочетании с добавлением природного газа, может быть использован для осаждения углерода. Посредством вспомогательного контура для карбюризации, установленного ниже по потоку относительно шахтной печи, можно точнее контролировать добавление углерода. Этот контур содержит сосуд реактора, блок газоотделения и связан с этапом обеспыливания.

**B1**

**045225**

**045225**

**B1**

### Перекрестная ссылка на родственную заявку

Настоящее изобретение заявляет преимущество приоритета одновременно находящейся на рассмотрении предварительной заявки на патент США № 62/857 843, поданной 6 июня 2019 под названием "MIDREX PROCESS UTILIZING HYDROGEN", содержание которой в полном объеме включено в этот документ посредством ссылки.

### Область техники

Настоящее изобретение в целом относится к областям производства железа прямого восстановления (ЖПВ) и стали. В частности, настоящее изобретение в целом относится к способу использования водорода, позволяющему получать ЖПВ с более низкими общими выбросами CO<sub>2</sub>.

### Предпосылки создания изобретения

Большую часть стали, производимой сегодня в мире, получают с применением маршрута в доменной печи (BF) или маршрута в электродуговой печи (EAF). Маршрут в BF характеризуется выбросами большого количества CO<sub>2</sub>, в диапазоне 1,6-2,0 кг CO<sub>2</sub>/кг стали, и, несмотря на многие улучшения, маловероятно снизить выбросы значительно ниже этой точки. Ввиду использования переработанного металлолома маршрут в EAF создает значительно меньше выбросов CO<sub>2</sub>, но все равно в размере 0,5 кг CO<sub>2</sub>/кг стали. Альтернативные железные блоки (AIF), полученные из железной руды, такие как ЖПВ, горячекатанное железо (ГБЖ) или чугун в чушках, часто требуются в EAF для обеспечения соответствия целям качества и производительности; эти AIF увеличивают выбросы CO<sub>2</sub> из EAF, но выбросы CO<sub>2</sub> все же меньше, чем при маршруте в BF.

За последнее время было много попыток устранить углекислый газ в сталелитейной промышленности путем применения таких подходов, как улавливание углекислого газа или исключение углекислого газа. С недавних пор много европейских проектов направлено на использование экологически чистого водорода (то есть полученного из возобновляемых источников энергии) для восстановления оксида железа в ЖПВ и последующего его плавления в EAF (см., например, EP2895631 B1). Недостаток основополагающей концепции заключается в том, что эффективность процесса не соответствует тому, чтобы удовлетворять запросы рынка. Кроме того, есть проблемы в работе, которые необходимо решить, чтобы установка работала надлежащим образом. Проблемы, которые требуют решения, включают: исключение ненужных потерь энергии; регулирование образования второстепенных компонентов в рециркуляционном контуре; и обеспечение надлежащего уровня углерода, необходимого для производства стали с применением направленного вниз потока.

### Краткое описание графических материалов

Настоящее изобретение представлено и описано со ссылкой на различные графические материалы, в которых подобные номера ссылок используют для обозначения подобных компонентов способа, в зависимости от ситуации, и при этом:

на фиг. 1 представлено схематическое изображение, на котором показан один представленный в качестве примера вариант осуществления способа прямого восстановления (ПВ) согласно настоящему изобретению, в котором выработку водорода осуществляют в основном технологическом контуре посредством электролизера;

на фиг. 2 представлено схематическое изображение, на котором показан другой представленный в качестве примера вариант осуществления способа прямого восстановления согласно настоящему изобретению, в котором содержание углерода в ЖПВ регулируют посредством газового карбюризатора, вводимого непосредственно в шахтную печь, и оно зависит от основного технологического контура;

на фиг. 3 представлено схематическое изображение, на котором показан еще один представленный в качестве примера вариант осуществления способа прямого восстановления согласно настоящему изобретению, в котором содержание углерода в ЖПВ регулируют посредством контура для карбюризации, который работает независимо от основного технологического контура в отдельном сосуде; и

на фиг. 4 представлено схематическое изображение, на котором показан еще один представленный в качестве примера вариант осуществления способа прямого восстановления согласно настоящему изобретению, в котором содержание углерода в ЖПВ регулируют посредством контура для карбюризации, который работает независимо от основного технологического контура в одном сосуде.

### Суть изобретения

Настоящее изобретение относится к улучшению процесса, в котором для получения ЖПВ используют водород. На общем уровне этот процесс вводит этап получения водорода внутри основного контура для технологического газа. Это отличает его от других способов получения ПВ на основе водорода, в которых водород или предшественник водорода в виде метана подают как топливо. Основные этапы способа следующие: (a) этап рециркуляции отработанного восстановительного газа из шахтной печи в электролизер (то есть этап удаления кислорода), предпочтительно в твердооксидный электролитический топливный элемент (SOEC); (b) этап сбора пыли без быстрого охлаждения; (c) непосредственное использование пара из коллоидного газа в шахтной печи с получением водорода; и (d) непосредственное использование тепла, присутствующего в газе после электролизера.

Этот способ частично устраняет указанные ранее недостатки путем удаления кислорода из основной технологической линии для газа. Этот способ обладает существенными преимуществами над обще-

признанными способами восстановления с применением водорода. Эти преимущества без ограничения включают: отсутствие необходимости в подаваемом извне топливном газе, требуемом для восстановления, снижение требований к местной инфраструктуре для подачи и хранения водорода или природного газа; ограниченная обработка воды, при этом большая часть необходимой воды уже присутствует в рециркулированном колошниковом газе; минимальная потеря тепла в ходе этапа обеспыливания; непосредственное использование физического тепла технологического газа внутри электролизера; и простая интеграция с карбюризацией после восстановления и другими технологиями регулирования углерода в ЖПВ.

В одном представленном в качестве примера варианте осуществления согласно настоящему изобретению предложен способ прямого восстановления железа, включающий: использование водорода как химического носителя для удаления кислорода из железной руды и восстановления возникающего пара электролизом; при этом колошниковый газ из шахтной печи обеспыливают без конденсирования пара в колошниковом газе; при этом в технологический контур, связанный со способом, не добавляют жидкой воды; и при этом водород получают с применением водяного пара, присутствующего в колошниковом газе из шахтной печи, с помощью электролизера, образующего часть технологического контура. При необходимости электролизер содержит твердооксидный электролизер. При необходимости способ дополнительно включает сжатие колошникового газа без охлаждения при температуре выше 100°C. При необходимости способ дополнительно включает добавление кислорода в водород перед введением водорода в шахтную печь для восстановления из железной руды. При необходимости способ дополнительно включает осаждение углерода на железо прямого восстановления, полученное из железной руды, путем введения газового карбюратора в шахтную печь. При необходимости газовый карбюратор вводят под давлением непосредственно в шахтную печь под ее кольцевым воздухопроводом. Диоксид углерода преобразуют в монооксид углерода в электролизере. Технологический газ в технологическом контуре содержит не меньше чем 20%  $\text{CH}_4$ . При необходимости продувочный поток технологического контура связан с огневым нагревателем для нагревания газа горячего дутья, вводимого в шахтную печь. При необходимости зону карбюризации под зоной восстановления шахтной печи используют для увеличения процентного содержания углерода в железе прямого восстановления и водород отделяют и направляют в технологический контур с получением тем самым вспомогательного контура для газа, содержащего: твердый материал, поступающий в зону карбюризации под действием силы тяжести и взаимодействующий с газом для добавления углерода в железо прямого восстановления; поток газа, затем входящий в зону карбюризации и поступающий на этап обеспыливания для удаления твердых частиц; водород, удаляемый из газа посредством блока газоотделения и возвращаемый в технологический контур; природный газ или другой газовый карбюратор, вводимый в газ; и компрессор, используемый для увеличения давления газа для обеспечения двигательной силы для циркуляции и отделения газа. При необходимости зону карбюризации обеспечивают в отдельном сосуде, отличающемся от шахтной печи.

В другом представленном в качестве примера варианте осуществления согласно настоящему изобретению предложена система для прямого восстановления железа, содержащая: технологический контур, использующий водород как химический носитель для удаления кислорода из железной руды и восстановления возникающего пара электролизом; обеспыливающее устройство, выполненное с возможностью обеспыливания колошникового газа из шахтной печи в технологическом контуре без обеспыливания пара в колошниковом газе; при этом в технологический контур не добавлена жидкая вода; и электролизер, выполненный с возможностью получения водорода с применением водяного пара, присутствующего в колошниковом газе из шахтной печи, и образующий часть технологического контура. При необходимости электролизер содержит твердооксидный электролизер. При необходимости система также содержит одно или более из: компрессора, выполненного с возможностью сжатия колошникового газа без охлаждения при температуре выше 100°C; устройства впуска кислорода, выполненного с возможностью добавления кислорода в водород перед введением водорода в шахтную печь для восстановления из железной руды; устройства впуска газового карбюратора, выполненного с возможностью осаждения углерода на железо прямого восстановления, полученное из железной руды, путем введения газового карбюратора в шахтную печь, при этом обеспечено введение под давлением газового карбюратора непосредственно в шахтную печь под ее кольцевым воздухопроводом; и продувочного потока, связанного с огневым нагревателем, выполненным с возможностью нагревания газа горячего дутья, вводимого в шахтную печь. При необходимости зона карбюризации под зоной восстановления шахтной печи предусмотрена для увеличения процентного содержания углерода в железе прямого восстановления и предусмотрено отделение водорода с его направлением в технологический контур с получением тем самым вспомогательного контура для газа, содержащего: твердый материал, поступающий в зону карбюризации под действием силы тяжести и взаимодействующий с газом для добавления углерода в железо прямого восстановления; поток газа, затем входящий в зону карбюризации и поступающий на этап обеспыливания для удаления твердых частиц; водород, удаляемый из газа посредством блока газоотделения и возвращаемый в технологический контур; природный газ или другой газовый карбюратор, вводимый в газ; и компрессор, используемый для увеличения давления газа для обеспечения двигательной силы для циркуляции и отделения газа; при этом зона карбюризации реализована в одном из шахтной печи и

отдельного сосуда, отличающегося от шахтной печи.

#### **Описание представленных в качестве примера вариантов осуществления**

Настоящее изобретение относится к используемому в шахтной печи способу для прямого восстановления из железной руды с применением водорода. По сравнению с существующими способами, этот способ обеспечивает улучшение за счет лучшей интеграции этапа удаления кислорода (и равным образом этапа выработки водорода) в основную рециркуляцию газа для снижения тепла и потерь материала. Как и во всех способах ПВ, газ, используемый для восстановления железа, по-прежнему содержит непрореагировавшие восстановители после прохождения через шахтную печь. Эффективное использование этого непрореагировавшего газа делает большую часть экономики зависимой от установок для получения ЖПВ, в том числе основанного на водороде восстановления. Согласно настоящему изобретению предложен способ восстановления железа, который дополнительно улучшает использование теплосодержания, водорода и присутствующей воды в рециркуляции газа и также обеспечивает средство для регулирования содержания углерода в ЖПВ.

Для облегчения понимания представлено несколько фигур. На фиг. 1 в наиболее простом виде представлена технологическая схема настоящего изобретения. На фиг. 1 показано, что твердый оксид железа (1) поступает через верхнюю часть шахтной печи (А). По мере того как оксид железа перемещается в шахтной печи вниз, он восстанавливается до ЖПВ в окружении, состоящем в основном из водорода. ЖПВ покидает шахтную печь под действием силы тяжести (10). Отработанный восстановительный газ (2) низкого давления (называемый колошниковым газом) выходит из верхней части шахтной печи и направляется на этап сбора пыли без быстрого охлаждения (В) (то есть сухого обеспыливания, например, посредством свечных фильтров) для удаления выносимых твердых частиц (то есть мелких фракций). После обеспыливания предусмотрен продувочный поток (3) для осуществления контроля в отношении давления в системе и образования инертных газов. Большая часть газа (4) (называемого технологическим газом) рециркулируется и сжимается (С). Добавляется пар (5), который затем подается на этап удаления кислорода (D). Кислород удаляется из процесса (6), и выработанный водород направляется обратно в шахтную печь (7). В зависимости от выходных условий этапа удаления кислорода может быть необходим газовый нагреватель (Е) для нагревания водорода (9) (называемого газом горячего дутья) для снижения температур перед введением в шахтную печь. Кислород (8) также может быть непосредственно введен в газ (9) горячего дутья для повышения его температуры.

Этот способ характеризуется ключевыми преимуществами над традиционными способами восстановления. Осуществление выработки водорода внутри основного контура для технологического газа создает топливо в ходе процесса, ограничивая требования касательно подготовки топлива вне границ проектирования установки.

Очень важен правильный выбор технологии электролиза для этапа удаления кислорода (D). Для эффективного использования технологического потока предпочтительный выбор электролизера будет влиять на водяной пар, присутствующий в потоке газа рециркуляции. Для этого является предпочтительным использование твердооксидного электролитического топливного элемента (SOEC). SOEC могут работать с высокотемпературными потоками, имеющими высокие концентрации водорода. Это исключает необходимость в отделении или конденсировании воды из водорода, присутствующего в потоке, входящем в электролизер (4). В состав колошникового газа (2) входит где-то от 60% до 80% водорода по объему, но обычно его содержание поддерживается равным приблизительно 70%. Для обеспечения подходящего восстановительного газа для оксида железа содержание воды в выходном потоке из электролизера (7) должно быть уменьшено до 6% или ниже, в идеале до 0,5%. В некоторых случаях в технологическом газе используется более высокое процентное содержание азота, и поэтому такие процентные содержания будут снижать.

Благодаря использованию в колошниковом газе (2) воды уже в паровой фазе, удается избежать неэффективности общего процесса касательно потребления энергии, связанной с конденсированием и повторным нагреванием воды, требуемой для выработки водорода, необходимого для восстановления. Дополнительная эффективность обеспечивается за счет рециркуляции водорода обратно в шахтную печь. Блоки SOEC работают при температурах, делающих возможным высокотемпературный электролиз, обычно при 500-800°C. Электролизер, работающий на более высоком конце этого диапазона, может обеспечивать температуру, требуемую для непосредственного использования вырабатываемого восстановительного газа в шахтной печи.

Температура колошникового газа (2) требует дополнительного рассмотрения. Согласно варианту осуществления на фиг. 1 температуры колошникового газа могут находиться в диапазоне 200-600°C. На такую температуру может влиять ряд факторов, характерных для конкретной установки. Например, температура колошникового газа на выходе может быть более высокой, если оксид железа (1) предварительно нагревается перед попаданием в шахтную печь или если используется поток более высококалорийного газа горячего дутья для восстановления из особенно трудной для обработки железной руды (обычно >2000 Нм/т ЖПВ для процесса, представленного на фиг. 1).

Контур для технологического газа может быть спроектирован для такой температуры, и тепло может быть использовано, а не потрачено. Это отличается от традиционных способов восстановления, в

которых более высокие температуры колошникового газа приводят к потерям энергии из-за конденсации воды в потоке газа. В способах согласно настоящему изобретению тепло, наоборот, сохраняется в технологическом контуре и используется электролизером. Подобного рода интеграция также минимизирует потребление топлива в установке. Использование водяного пара в газе обеспечивает часть пара, требуемого для добавления в процесс. Это уменьшает затраты на обработку воды, которая понадобилась бы, если сравнивать с системой, в которой для электролизера применяется вода в жидкой фазе.

Другое отличие от предшествующих технологий прямого восстановления заключается в уменьшенном продувочном потоке из контура для газа. В традиционных установках на основе природного газа часть колошникового газа (2) в качестве источника топлива разделяется для удовлетворения требования выбранной технологии конверсии касательно нагревания и конверсии. Часть колошникового газа (2), которая разделяется, называется топливным колошниковым газом. Этот поток применяется для двух целей. Одна цель применения топливного колошникового газа заключается в удалении кислорода из системы в виде воды, монооксида углерода и диоксида углерода. Другая цель заключается в как можно более экономной и эффективной рекуперации некоторой части энергии из неиспользованного восстановительного газа. Предложенный способ, представленный на фиг. 1, минимизирует продувочный поток колошникового газа (2) путем сочетания удаления кислорода с выработкой водорода в электролизере (D) и способен исключить потерю восстановительного газа так, как описано для традиционной технологии на основе природного газа.

Если в водороде после электролиза не достаточно тепла, то может быть использован необязательный газовый нагреватель (E). Для осуществления эффективного восстановления водород необходимо вводить в шахтную печь при температурах выше  $760^{\circ}\text{C}$ . Ввиду того, что реакции восстановления с применением водорода в целом являются эндотермическими, и чтобы учитывались потери тепла в канале, рабочая температура газа, когда он поступает в шахтную печь (9), должна быть ближе к  $800\text{--}1000^{\circ}\text{C}$ . Выбор типа газового нагревателя на фиг. 1 не является жестко ограниченным. Предпочтительный способ заключается в применении электрического нагревателя, поскольку в установке из-за наличия электролизера (D) уже имеется большая потребность в электроэнергии. В отрасли получения ЖПВ особенно распространены работающие на газе нагреватели, и в качестве источника энергии может быть использовано любое поступающее извне топливо, например природный газ. Хотя это и является противоречием в отношении некоторых рассмотренных ранее преимуществ, но для обеспечения такой энергии также может сжигаться водород, вырабатываемый для нужд процесса. Продувочный поток (3) как источник топлива для необязательного нагревателя (E) дает возможность объединить технологический контур и систему сжигания, как в традиционной технологической схеме прямого восстановления. Наконец, в газ (9) горячего дутья может быть непосредственно добавлен кислород (8), поскольку у газа как источника энергии выше температура самовоспламенения. Этот процесс функционирует идентично системам введения кислорода под давлением, используемым в традиционных установках для получения ЖПВ. Кислород (8) может подаваться из внешнего источника, или он может поступать из самого электролизера (D).

Другим аспектом способа восстановления на основе водорода, требующим внимания, является наличие углерода в продукте в виде ЖПВ. Осаждение углерода ограничено термодинамикой и сильно зависит от температуры и состава потока газа. Осаждение является предпочтительным в случае газов, характеризующихся высокими температурами и отношениями водорода к углероду, и ухудшается при наличии кислорода в таких соединениях, как вода или диоксид углерода. В традиционном способе восстановления природный газ добавляется в переходную зону внутри шахтной печи под кольцевым воздухопроводом. Там из газа при температурах выше  $800^{\circ}\text{C}$  осаждается углерод.

Для получения ЖПВ с уровнями углерода, как в традиционных способах прямого восстановления на основе природного газа, требуются модификации основанного на водороде способа. Настоящее изобретение может быть модифицировано относительно варианта осуществления, представленного на фиг. 1, для облегчения добавления углерода путем выборочного введения под давлением газового карбюризатора. Дополнительные варианты осуществления настоящего изобретения для добавления углерода показаны на фиг. 2, фиг. 3 и фиг. 4. На фиг. 2 показан представленный в качестве примера вариант осуществления для способа, в котором газовый карбюризатор вводят в шахтную печь и углеродные соединения частично рециркулируют через основной технологический контур. На фиг. 3 представлен способ, в котором для предотвращения образования углеродных соединений в основном контуре и обеспечения лучшего контроля газового карбюризатора применяют второй контур. На фиг. 4 представлен вариант способа на фиг. 3. Эти варианты осуществления рассмотрены более подробно.

В варианте осуществления, представленном на фиг. 2, показан прямой подход к добавлению газового карбюризатора. Оборудование, необходимое для этого способа, такое же, как и для способа на фиг. 1. Газовый карбюризатор (11), обычно природный газ, добавляют непосредственно в шахтную печь (A) в области под кольцевым воздухопроводом (называется переходной зоной). Газовый карбюризатор, теперь в контакте с горячим железом, текущим вниз в шахтной печи (A), разлагается, в результате чего осаждается углерод и вырабатывается газообразный водород. Как указано выше, этот процесс ограничен термодинамикой. Непрореагировавший метан перемещается вверх в шахтной печи, где он присоединяется к газу (9) горячего дутья. В присутствии воды и железа происходит конверсия метана, и в шахтной печи

(А) создается эндотермическая нагрузка, которая больше, чем имеется в первом варианте осуществления. В этом варианте осуществления температуру газа (9) горячего дутья увеличивают с помощью работающего на газе нагревателя (Е) после электролиза для поддержания температуры восстановления. Этот нагреватель работает на газе из продувочного потока (3) в качестве топлива.

Этот способ эксплуатации является осуществимым благодаря более высокой величине продувки (3), необходимой ввиду добавления газового карбюризатора. В дополнение к внесению углерода газовый карбюризатор также вводит углеродсодержащие газы (из непрореагировавшего метана) и водород. В зависимости от эксплуатации это означает, что колошниковый газ (2) теперь содержит не меньше чем 20% метана по объему, но является предпочтительным для поддержания его содержания на уровне 5% или 10%. Ввиду ограничений способа касательно сохранения степени металлизации и углерода количество метана контролируется только косвенно. В отношении некоторой части метана в шахтной печи (А) происходит конверсия в монооксид углерода и водород. Диоксид углерода, который проходит через электролизер, преобразуется в монооксид углерода, где он может быть использован снова в восстановлении. Содержание воды может регулироваться путем охлаждения и конденсации части основного технологического потока газа. Это может быть выполнено так, чтобы общий объем газа уменьшался без существенного влияния на теплосодержание газа. Хотя в крайнем случае избыточный газ должен быть как-то выпущен, что приводит к определенным выбросам углекислого газа. Эта операция представляет сочетание традиционных основанных на водороде способов с традиционными основанными на природном газе способами, где углеродсодержащее ЖПВ может быть получено с определенной степенью выбросов.

Для добавления углерода в ЖПВ представлен еще один вариант осуществления. В этом варианте осуществления используется второй контур для газа с целью регулирования карбюризации. Этот вариант осуществления может быть выполнен в одном сосуде или в отдельном сосуде, как понятно из разницы между фиг. 3 и фиг. 4. Добавленный контроль делает возможным осаждение углерода без наличия углерода в основном контуре для газа и, таким образом, ограничивает выброс диоксида углерода. Этот процесс представлен на фиг. 3. Здесь под шахтной печью (А) используется второй сосуд (F) для добавления углерода в ЖПВ. Основной контур для технологического газа работает так же, как и в примере на фиг. 1. Отличие в этом случае состоит в том, что твердый продукт (10), получаемый на выходе из шахтной печи (А), вводят в дополнительный сосуд (F) реактора для карбюризации. Здесь газовый карбюризатор (18) вводят в сосуд (F) реактора для карбюризации для добавления углерода в ЖПВ. Газ из сосуда (12) для карбюризации собирают и на этапе обеспыливания (G) удаляют выносимые твердые частицы для предотвращения повреждения расположенного ниже по потоку оборудования. Для этой конкретной конфигурации этап обеспыливания (G) может быть выполнен либо влажным, либо сухим способом. Обеспыленный газ (13) сжимается (H) и направляется на этап газоотделения (I). С помощью газоотделения выборочно удаляют водород из рециркулированного газового карбюризатора, и оно может быть выбрано из известных технологий, таких как мембранное отделение или адсорбция с перепадом давления. На этом этапе обеспечивают выпуск для водорода, вырабатываемого в результате реакций осаждения углерода, или входящего нисходящего потока (10) из шахтной печи (А). Богатый водородом поток (14) направляется обратно в основной технологический контур для использования в качестве восстановителя. Оставшийся поток (15) обогащают углеродсодержащим газом (17) и повторно вводят обратно в сосуд (F) реактора для карбюризации. При достаточном удалении водорода и/или обогащении углеродом состав газа (18) будет продолжать оставаться предпочтительным для осаждения углерода.

Пара дополнительных признаков представлена на фиг. 3 для иллюстрации возможного средства для осуществления контроля и кондиционирования в отношении газового карбюризатора (18). Регулирование давления может быть осуществлено посредством вспомогательной продувочной линии (16). Это также служит для предотвращения образования инертного азота из уплотнительного газа, а также любых других нежелательных компонентов в системе. Необязательный газовый нагреватель (J) также предусмотрен в качестве примера, который может быть реализован для получения лучшего контроля в отношении требований к энергии для карбюризации ЖПВ.

Наличие контура для карбюризации, который работает независимо от основного контура для восстановления, также обеспечивает гибкость касательно возможности применения дополнительных типов технологий. Например, для выработки монооксида углерода, который может быть использован для обогащения газового карбюризатора (17), может быть использована система с регулируемой технологией получения углерода (АСТ). Это позволяет дополнительно адаптировать состав подаваемого газового карбюризатора, чтобы он соответствовал необходимому содержащему углерод продукту. Несмотря на то, что для осуществления изобретения не требуется, чтобы зона карбюризации была расположена в строго отдельном сосуде, как видно на фиг. 4, отделение обеспечивает дополнительную гибкость в герметизации и контроле касательно потоков газа в ходе всего процесса, а также делает возможным больший контроль в отношении добавления углерода и выбросов углекислого газа. Без гибкости в том, что предусмотрен независимый контур для карбюризации, как показано на фиг. 3, количество содержащегося в продукте углерода было бы ограниченным условиями работы оборудования основного технологического контура (особенно электролизера), как было рассмотрено ранее.

Таким образом, согласно настоящему изобретению предложен способ получения железа прямого

восстановления (ЖПВ) с углеродом или без него, с применением водорода, где водород получают с применением воды, получаемой внутри в ходе процесса. Способ характеризуется наличием либо одного, либо двух контуров для газа, при этом один предназначен для влияния на восстановление оксида, а другой предназначен для влияния на карбюризацию ЖПВ. Основной контур, который отвечает за восстановление, обеспечивает рециркуляцию использованного газа из шахтной печи в контуре, в котором выполняется этап сухого обеспыливания, этап удаления кислорода для выработки водорода и сообщение с шахтной печью для восстановления. При отсутствии второго контура этот контур, в сочетании с добавлением природного газа, может быть использован для осаждения углерода. Посредством вспомогательного контура для карбюризации, установленного ниже по потоку относительно шахтной печи, можно точнее контролировать добавление углерода. Этот контур содержит сосуд реактора, блок газоотделения и связан с этапом обеспыливания.

Хотя настоящее изобретение проиллюстрировано и описано в данном документе со ссылкой на предпочтительные варианты осуществления и его конкретные примеры, специалистам в данной области будет очевидно, что другие варианты осуществления и примеры могут выполнять похожие функции и/или достигать подобных результатов. Все такие эквивалентные варианты осуществления и примеры находятся в пределах сущности и объема настоящего изобретения и тем самым предполагаются, и при этом подразумевается, что они охватываются следующими неограничительными пунктами формулы изобретения для всех целей.

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Система для прямого восстановления железа, содержащая:
  - шахтную печь, выполненную с возможностью использования водорода в качестве восстановителя для металлизации железорудного сырья;
  - электролизер, выполненный с возможностью электролиза пара, полученного в результате металлизации железорудного сырья;
  - обеспыливающее устройство, выполненное с возможностью обеспыливания колошникового газа из шахтной печи;
  - при этом система выполнена таким образом, что циркулирующая в системе вода получена в результате металлизации железорудного сырья;
  - при этом зону карбюризации под зоной восстановления шахтной печи используют для увеличения процентного содержания углерода в железе прямого восстановления и водород отделяют и направляют в шахтную печь с получением тем самым вспомогательного контура для газа, содержащего:
    - твердый материал, поступающий в зону карбюризации под действием силы тяжести и взаимодействующий с газом для добавления углерода в железо прямого восстановления;
    - поток газа, затем входящий в зону карбюризации и поступающий на этап обеспыливания для удаления твердых частиц;
    - водород, удаляемый из газа посредством блока газоотделения и возвращаемый в шахтную печь;
    - природный газ или другой газовый карбюризатор, вводимый в газ; и
    - компрессор, используемый для увеличения давления газа.
2. Система по п. 1, отличающаяся тем, что электролизер содержит твердооксидный электролизер.
3. Система по п. 1, отличающаяся тем, что дополнительно содержит одно или более из:
  - компрессора, выполненного с возможностью сжатия колошникового газа без охлаждения при температуре выше 100°C;
  - устройства впуска кислорода, выполненного с возможностью добавления кислорода в водород перед введением водорода в шахтную печь для восстановления из железной руды;
  - устройства впуска газового карбюризатора, выполненного с возможностью осаждения углерода на железо прямого восстановления, полученное из железной руды, путем введения газового карбюризатора в шахтную печь, при этом обеспечено введение под давлением газового карбюризатора непосредственно в шахтную печь под ее кольцевым воздухопроводом; и
  - продувочного потока, связанного с огневым нагревателем, выполненным с возможностью нагревания газа горячего дутья, вводимого в шахтную печь.
4. Система по п. 1, отличающаяся тем, что зона карбюризации реализована в одном из шахтной печи и отдельного сосуда, отличающегося от шахтной печи.
5. Способ работы системы для прямого восстановления железа по п. 1, включающий:
  - подачу водорода для металлизации железорудного сырья;
  - электролиз пара, возникающего в результате металлизации железорудного сырья; и
  - при этом зону карбюризации под зоной восстановления шахтной печи используют для увеличения процентного содержания углерода в железе прямого восстановления, и водород отделяют и направляют в шахтную печь с получением тем самым вспомогательного контура для газа, содержащего:
    - твердый материал, поступающий в зону карбюризации под действием силы тяжести и взаимодействующий с газом для добавления углерода в железо прямого восстановления;

поток газа, затем входящий в зону карбюризации и поступающий на этап обеспыливания для удаления твердых частиц;

водород, удаляемый из газа посредством блока газоотделения и возвращаемый в шахтную печь;

природный газ или другой газовый карбюризатор, вводимый в газ; и

компрессор, используемый для увеличения давления газа.

6. Способ по п.5, отличающийся тем, что электролизер содержит твердооксидный электролизер.

7. Способ по п.5, отличающийся тем, что дополнительно включает сжатие колошникового газа после его обеспыливания и перед электролизом без охлаждения при температуре выше 100°C.

8. Способ по п.5, отличающийся тем, что дополнительно включает добавление кислорода в водород перед введением водорода в шахтную печь для восстановления из железной руды.

9. Способ по п.5, отличающийся тем, что дополнительно включает осаждение углерода на железо прямого восстановления, полученное из железной руды, путем введения газового карбюризатора в шахтную печь.

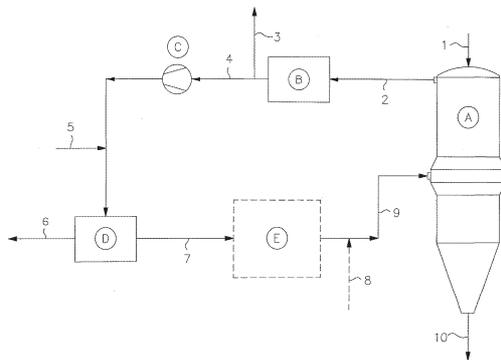
10. Способ по п.9, отличающийся тем, что газовый карбюризатор вводят под давлением непосредственно в шахтную печь под ее кольцевым воздухопроводом.

11. Способ по п.9, отличающийся тем, что диоксид углерода преобразуют в монооксид углерода в электролизере.

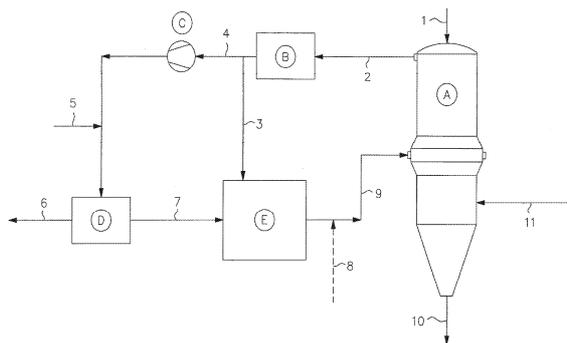
12. Способ по п.9, отличающийся тем, что технологический газ в шахтной печи содержит не меньше чем 20%  $\text{CH}_4$ .

13. Способ по п.9, отличающийся тем, что продувочный поток шахтной печи связан с огневым нагревателем для нагрева газа горячего дутья, вводимого в шахтную печь.

14. Способ по п.5, отличающийся тем, что зону карбюризации обеспечивают в отдельном сосуде, отличающемся от шахтной печи.



Фиг. 1



Фиг. 2

