

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **046343**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента
2024.03.01

(21) Номер заявки
202292726

(22) Дата подачи заявки
2021.03.24

(51) Int. Cl. **F24H 3/04** (2006.01)
F24H 9/20 (2006.01)
H05B 3/16 (2006.01)

(54) **СПОСОБ И СИСТЕМА ДЛЯ НАГРЕВАНИЯ ЖЕЛЕЗА ПРЯМОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ (DRI) МЕЖДУ ИСТОЧНИКОМ DRI И ОБРАБАТЫВАЮЩИМ ОБОРУДОВАНИЕМ ДЛЯ DRI**

(31) **62/993,836; 17/209,561**

(32) **2020.03.24; 2021.03.23**

(33) **US**

(43) **2023.03.16**

(86) **PCT/US2021/023804**

(87) **WO 2021/195162 2021.09.30**

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

(72) Изобретатель:
Астория Тодд Майкл, Льюис Джеймс
Ллойд Джр. (US)

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

(56) **US-A1-20030097908**
US-A-3918956
US-A-3612577
US-A-5376774
US-A1-20170009309
US-A-3740042

(57) Способ нагревания железа прямого восстановления между источником железа прямого восстановления и обрабатывающим оборудованием для железа прямого восстановления включает предоставление узла трубопроводного нагревателя между источником железа прямого восстановления и обрабатывающим оборудованием, при этом узел трубопроводного нагревателя принимает поток железа прямого восстановления из источника железа прямого восстановления и нагревает железо прямого восстановления при протекании железа прямого восстановления через узел трубопроводного нагревателя и в обрабатывающее оборудование.

B1

046343

046343

B1

Перекрестная ссылка на родственную заявку

Изобретение, не являющееся предварительным, заявляет преимущество приоритета предварительной заявки на патент США № 62/993836, поданной 24 марта 2020 г. и озаглавленной "IDREX HOT DRI REHEATING", содержание которой в полном объеме включено в данный документ посредством ссылки.

Область техники

Настоящее изобретение относится в целом к областям железа прямого восстановления (DRI) и производства стали. Более конкретно, настоящее изобретение относится в целом к процессу прямого восстановления с использованием средств электрического нагрева для добавления тепла к DRI или рекуперации тепла из него перед обработкой металлического железа после процесса восстановления.

Предпосылки изобретения

Горячее железо прямого восстановления (HDRI) распределяется при приблизительно 700-750°C посредством изолированных стальных трубопроводов или питающих ветвей от печи DRI к, среди других процессов, брикетировочным машинам для формирования горячебрикетированного железа (HBI), которое необходимо формировать при температуре не менее 650°C. Другие процессы могут включать горячую транспортировку в качестве средств для снабжения плавильных печей, вперемежку, герметизирующие сосуда, конвейеры или безнапорные каналы, другие способы горячего прессования или дополнительные процессы химического превращения, например науглероживание.

В операции плавки с использованием предпочтительно электродуговой печи (EAF), но возможно и других плавильных печей, HDRI можно охлаждать вплоть до приблизительно 550-600°C. HDRI подается в промежуточный бункер для содержания материала и сохранения его тепла в максимальной степени и затем для подачи в плавильный аппарат по мере необходимости. Преодоление потерь тепла между высшей точкой приблизительно 700-750°C и точкой подачи в плавильный аппарат, приблизительно 550-600°C, предоставляет возможность улучшить качество и энергоэффективность. Добавление тепла в DRI перед плавкой предоставляет возможность улучшить эффективность и производительность плавильной печи.

На качество DRI может оказывать неблагоприятное влияние охлаждение HDRI в питающих ветвях, при этом плотность уплотнения и прочность уменьшаются и, во-вторых, уменьшается содержание цементита, который необходим для качества металла. HDRI может охлаждаться вплоть до приблизительно 50°C в питающих ветвях в зависимости от нескольких факторов, которыми возможно или невозможно управлять в рамках работы установки. Оптимальным является брикетирование при приблизительно 680°-720°C, но не менее чем при 650°C, чтобы получать плотности брикета выше 5,0 г/см³ и чтобы улучшать значения коэффициента прочности при определении в барабане на вплоть до 3% без продолжения работы выше приблизительно 720°C. Брикет, образованный при приблизительно 715°C, в целом является брикетом высокого качества, демонстрирующими большую устойчивость к атмосферным воздействиям и более низкую склонность к бою, измеряемому потерями металлизации и образованием мелочи. Хотя при брикетировании при более высоких температурах можно получить HBI более высокого качества, продолжительная работа при температуре выше приблизительно 720°C приводит к неприемлемо высоким затратам на обслуживание брикетировочного оборудования, например подающих шнеков брикетной машины.

Кроме того, опубликовано исследование, которое указывает оптимальное удержание цементита (карбида железа) при приблизительно 750°C. Стабильность цементита является самой высокой в диапазоне от 730 до 750°C, причем декомпозиция происходит быстрее вне этого диапазона. Цементит является наиболее желательной формой содержания углерода в HBI для производства стали. Оптимизация температуры HDRI около этого диапазона помогает избежать декомпозиции цементита на углерод в виде графита.

Краткое описание сущности изобретения

Следовательно, основной целью вариантов осуществления настоящего изобретения является фиксация и поддержание температуры HDRI на уровне или около 715-720°C посредством использования средств индукционного нагрева, расположенных на питающих ветвях или в качестве, например, дополнительной конструкции, или в качестве замещающей конструкции питающей ветви. Задачи, решаемые преимущественно, включают: 1) преодоление потерь тепла в питающих ветвях перед машинами для брикетирования; и 2) способствование достижению и/или удержанию желаемого уровня углерода в HBI.

Другой основной целью вариантов осуществления этого изобретения является повторное нагревание или предварительное нагревание HDRI перед подачей в плавильный аппарат с использованием новой конструкции для выгрузки промежуточного бункера HDRI. Дополнительные задачи, решаемые преимущественно, включают то, как: 1) повторно нагреть HDRI перед плавильным аппаратом (вернуть HDRI к температуре приблизительно 700°-750°C); и 2) предварительно нагреть материал до более высокого уровня (например, приблизительно 1000°C) для подачи в плавильный аппарат.

Таким образом, в различных примерных вариантах осуществления настоящее изобретение предоставляет способ нагревания железа прямого восстановления между источником железа прямого восстановления и обрабатывающим оборудованием для железа прямого восстановления. Способ включает предоставление узла трубопроводного нагревателя между источником железа прямого восстановления и

обрабатывающим оборудованием, при этом узел трубопроводного нагревателя принимает поток железа прямого восстановления из источника железа прямого восстановления и нагревает железо прямого восстановления при протекании железа прямого восстановления через узел трубопроводного нагревателя и в обрабатывающее оборудование. Железо прямого восстановления может быть горячим железом прямого восстановления из шахтной печи прямого восстановления или печи повторного нагрева для железа прямого восстановления. Источник железа прямого восстановления может быть по меньшей мере одним из шахтной печи прямого восстановления, печи повторного нагрева для железа прямого восстановления, промежуточного бункера, питающего бункера для горячего железа прямого восстановления, разделителя и барабанного питателя. Обрабатывающее оборудование может быть по меньшей мере одним из плавильного аппарата, брикетизирующей машины и оборудования для горячего прессования для прессования до более высокой плотности. Узел трубопроводного нагревателя может содержать трубопровод, выполненный с возможностью приема потока железа прямого восстановления; и нагревательный элемент, расположенный смежно с трубопроводом; при этом нагревательный элемент выполнен с возможностью передачи энергии из блока питания в форме тепла на трубопровод и нагревания потока железа прямого восстановления, проходящего через трубопровод. Нагревательный элемент может содержать индукционные нагревательные катушки. Трубопровод может содержать изолированную наружную трубу и внутреннюю трубу, образующую внутренний трубопровод, расположенную внутри изолированной наружной трубы и выполненную с возможностью приема потока железа прямого восстановления; и при этом нагревательный элемент может быть расположен концентрически вокруг наружной поверхности внутреннего трубопровода и внутри изолированной наружной трубы. Нагревательный элемент может содержать проводящие металлические (например, из медных трубок) индукционные катушки, прикрепленные к наружному периметру внутренней трубы внутри изолированной наружной трубы и выполненные с возможностью обеспечения магнитного потока для опосредованного нагревания железа прямого восстановления. Нагнетание газового карбюризатора может быть реализовано дальше по ходу потока или раньше по ходу потока относительно катушек, обеспечивая поток газового карбюризатора через трубопровод. Трубопровод может переходить в путь потока кольцевой формы для приема потока железа прямого восстановления, при этом нагревательный элемент содержит параллельный набор индукционных катушек. Трубопровод может переходить в путь потока прямоугольной формы, при этом нагревательный элемент содержит прямоугольные дисковые индукционные катушки. Железо прямого восстановления может быть повторно нагрето до приблизительно 700-750°C и предварительно нагрето до приблизительно 1000°C или более. Горячее железо прямого восстановления может быть нагрето до приблизительно 730°C для стабилизации содержания цементита и сведения к минимуму дальнейшей декомпозиции.

В различных примерных вариантах осуществления настоящее изобретение также предоставляет систему для нагревания железа прямого восстановления между источником железа прямого восстановления и обрабатывающим оборудованием для железа прямого восстановления. Система содержит источник железа прямого восстановления; обрабатывающее оборудование для железа прямого восстановления; и узел трубопроводного нагревателя, соединяющий источник железа прямого восстановления и обрабатывающее оборудование и расположенный между источником железа прямого восстановления и обрабатывающим оборудованием. Узел трубопроводного нагревателя выполнен с возможностью приема потока железа прямого восстановления из источника железа прямого восстановления и нагревания железа прямого восстановления при протекании железа прямого восстановления через узел трубопроводного нагревателя и в обрабатывающее оборудование. Узел трубопроводного нагревателя может содержать трубопровод, выполненный с возможностью приема потока железа прямого восстановления; и нагревательный элемент, расположенный смежно с трубопроводом; при этом нагревательный элемент выполнен с возможностью передачи энергии из блока питания в форме тепла на трубопровод и нагревания потока железа прямого восстановления, проходящего через трубопровод. Нагревательный элемент содержит индукционные нагревательные катушки. Система может быть выполнена с возможностью выполнения по меньшей мере одного из повторного нагревания железа прямого восстановления до приблизительно 700 - 750°C и предварительного нагревания железа прямого восстановления до приблизительно 1000°C или более.

В различных примерных вариантах осуществления настоящее изобретение дополнительно предоставляет узел питающего трубопроводного нагревателя, содержащий трубопровод, выполненный с возможностью приема потока железа прямого восстановления; и нагревательный элемент, расположенный смежно с трубопроводом. Нагревательный элемент выполнен с возможностью передачи энергии из блока питания в форме тепла на трубопровод и нагревания потока железа прямого восстановления, проходящего через трубопровод. Трубопровод может содержать изолированную наружную трубу и внутреннюю трубу, образующую внутренний трубопровод, расположенную внутри изолированной наружной трубы и выполненную с возможностью приема потока железа прямого восстановления. Нагревательный элемент может содержать индукционные катушки, расположенные концентрически вокруг наружной поверхности внутреннего трубопровода и внутри изолированной наружной трубы.

Краткое описание графических материалов

Настоящее изобретение проиллюстрировано и описано со ссылкой на различные графические мате-

риалы, на которых подобные номера ссылок используют для обозначения подобных этапов способа / компонентов системы / компонентов устройства в соответствующих случаях и на которых:

на фиг. 1 представлено схематическое изображение, иллюстрирующее один примерный вариант осуществления нагревательного устройства питающей ветви / узла питающего трубопроводного нагревателя согласно настоящему изобретению;

на фиг. 2 представлено схематическое изображение, иллюстрирующее другой примерный вариант осуществления нагревательного устройства питающей ветви / узла питающего трубопроводного нагревателя со вспомогательным нагнетанием газового карбюризатора согласно настоящему изобретению;

на фиг. 3 представлено схематическое изображение, иллюстрирующее примерный вариант осуществления системы/способа повторного нагрева HDR1 согласно настоящему изобретению;

на фиг. 4 представлено схематическое изображение, иллюстрирующее примерный вариант осуществления узла предварительного нагрева подачи плавильного аппарата для HDR1 согласно настоящему изобретению; и

на фиг. 5 представлено схематическое изображение, иллюстрирующее другой примерный вариант осуществления узла предварительного нагрева подачи плавильного аппарата для HDR1 согласно настоящему изобретению.

Подробное описание изобретения

Опять-таки, основной целью вариантов осуществления настоящего изобретения является фиксация и поддержание температуры HDR1 на уровне или около 715-720°C посредством использования средств индукционного нагрева, расположенных на питающих ветвях или в качестве, например, дополнительной конструкции, или в качестве замещающей конструкции питающей ветви. Задачи, решаемые преимущественно вариантами осуществления и подробно описанные ниже, включают: 1) преодоление потерь тепла в питающих ветвях перед машинами для брикетирования; и 2) способствование достижению и/или удержанию желаемого уровня углерода в HBI. Другой основной целью вариантов осуществления этого изобретения является повторное нагревание или предварительное нагревание HDR1 перед подачей в плавильный аппарат с использованием новой конструкции для выгрузки промежуточного бункера HDR1. Таким образом, дополнительные задачи, преимущественно решаемые вариантами осуществления настоящего изобретения и подробно описанные ниже, включают то, как: 1) повторно нагреть HDR1 перед плавильным аппаратом (вернуть HDR1 к температуре приблизительно 700°-750°C); и 2) предварительно нагреть материал до более высокого уровня (например, приблизительно 1000°C) для подачи в плавильный аппарат.

Преимущественные признаки различных вариантов осуществления настоящего изобретения описаны далее в данном документе, они решают вышеизложенные задачи.

Индукционное нагревание позволяет нагревать HDR1, не беспокоясь о подаче потоков газа или управлении ими для передачи тепла. Кроме того, индукционное нагревание использует электрическую энергию, один из наиболее экономичных и эффективных источников энергии в установке; электрическая мощность непосредственно преобразуется в тепловую мощность с высокой эффективностью.

Выполненные и расположенные согласно отдельным требованиям индукционные катушки преимущественно нагревают материал питающей ветви, а также DRI, добавляя излучающий и проводящий компонент передачи тепла к потоку DRI. Магнитный поток поля индукции может быть спроектирован таким, чтобы соответствовать геометрической форме питающей ветви и скорости потока массы в каждой установке для достижения оптимального проникновения в DRI, в то же время предотвращая раннюю плавку на поверхностях окатышей, которая могла бы приводить к образованию сгустков или отложению твердого материала на стенках питающей ветви.

В качестве вторичного эффекта, при поддержании температуры HDR1 на уровне приблизительно 700°C или выше, может быть преимущественным вводить газовый карбюризатор в противоток HDR1, что может быть полезным для "шлифования" уровня углерода с добавлением вплоть до приблизительно 0,1% C (ограничения времени пребывания). Температура потока газового карбюризатора может представлять собой, например, приблизительно от 700 до 950°C или выше, или любую другую подходящую температуру для поддержания желаемой температуры HDR1. HDR1 будет, таким образом, доставлено при оптимальной температуре в машины для горячего брикетирования, чтобы формировать брикеты высокого качества.

Подающая ветвь или трубопровод, как в отношении питающей ветви/трубопровода к машине для брикетирования, так и в отношении подачи HDR1 из питающего бункера для HDR1 в плавильный аппарат, могут быть выполнены в виде концентрических труб, чтобы позволять выполнять внутреннюю трубу (фактический питающий трубопровод) из устойчивого к теплу и коррозии сплава для переноса HDR1, тогда как внешняя труба выполнена из углеродистой стали для обеспечения конструкционной прочности. Внутренний трубопровод может быть альтернативно выполнен из твердого керамического огнеупорного материала для достижения той же цели с другой магнитной восприимчивостью к индукции. Оптимально выполненные индукционные катушки, обычно содержащие проводящие металлические трубки, выполненные в виде катушки определенной формы, будут прикреплены к наружному периметру внутренней трубы в одном или более местах для обеспечения магнитного потока, необходимого для ин-

дукционного нагрева HDRI. Катушки, выполненные предпочтительно из медных трубок, но потенциально также из других проводящих металлов, будут снабжаться охлаждающей водой для предотвращения перегрева. Форма и размер катушки будут соответствовать конструкции питающей ветви и потоку массы DRI, а также необходимому подводимому теплу, как необходимо. Катушки могут быть заключены в ферритный конструкционный материал, чтобы он служил концентратором магнитного потока для фокусировки индуцированных магнитных полей внутрь относительно материала.

При перемещении HDRI через трубопровод и зону индукционного нагрева материал будет реагировать на магнитный поток, во-первых, индуцированным электрическим током в окатышах и, во-вторых, преобразованием этого индуцированного тока в тепло при его столкновении с естественным сопротивлением окатышей. Окатыши не будут реагировать единообразно. Ожидается, что часть теплопередачи может происходить от окатыша к окатышу и от внутренней поверхности трубы (если она является металлической) к окатышу по мере протекания массы через поля индукции (т. е. металлическая труба и наружные слои окатышей вероятно будут нагреваться быстрее, чем центральная масса, для нагрева которой может потребоваться дополнительная теплопередача). Чтобы дополнить этот процесс, может быть желательно использовать катушки разной формы для нагрева центрального материала DRI по сравнению с наружными слоями, в этом случае наборы катушек будут установлены близко друг к другу на внутренней трубе. Магнитная проницаемость является параметром индукции, который можно оптимизировать, и выполнение катушек в виде каскада может обеспечить возможность нагрева на разных глубинах. Катушки могут получать питание от специальных источников питания, настроенных на оптимальную частоту для выполнения нагрева. Эти источники питания могут быть расположены на вспомогательной площадке оборудования возле питающих ветвей или на рабочей платформе возле питающих бункеров для HDRI.

Альтернативно питающие ветви с концентрическими трубами могут быть заменены трубопроводами с кольцевым потоком или прямоугольным потоком для обеспечения возможности монтажа индукционных катушек других видов. Если необходимо более равномерное или более интенсивное нагревание, меньшее поперечное сечение материала позволит монтировать катушки на обеих сторонах трубопровода. Например, кольцевой трубопровод может содержать приемный конус и цилиндрический сосуд, расположенный вокруг внутреннего вставного конуса для облегчения потока, чтобы расширять поток материала из питающей ветви диаметром 400 мм в кольцевое пространство с наружным диаметром 700 мм и внутренним диаметром 550 мм. Таким образом, пласт окатышей диаметром 400 мм будет переходить посредством конуса в пласт окатышей меньшей ширины, составляющей 75 мм. Концентрически расположенные внешняя и внутренняя катушки будут индуцировать магнитные поля с обеих сторон пласта окатышей и обеспечивать более интенсивное и равномерное нагревание. Внешняя катушка будет прикреплена к наружной части цилиндрического сосуда подобно катушкам подвода, описанным ранее. Внутренние катушки будут установлены внутри вставного устройства для облегчения потока, которое будет поддерживаться статическими стержнями, чтобы как удерживать вставное приспособление на месте, так и служить в качестве трубопровода доступа для подачи питания и охлаждающей воды к внутренней катушке. Нагретые окатыши будут затем поступать в подобную коническую переходную зону, обратную в трубопровод диаметром 400 мм.

Кроме того, конструкция с прямоугольным потоком, особенно подходящая для вывода потока из питающих бункеров для HDRI, может предусматривать переход от круглого к прямоугольному трубопроводу, например от диаметра 400 мм до внутренних размеров 100 x 1250 мм. Этот прямоугольный канал будет оснащен катушками в виде "блина", которые обозначают катушки, выполненные так, что ось катушки перпендикулярна сторонам трубопровода, на каждой стороне, чтобы обеспечивать проникновение в пласт окатышей посредством более интенсивного нагрева. Выпуск можно переводить в любую желаемую геометрическую форму. Вышеизложенные альтернативные геометрические формы могут быть использованы, если необходимо большее количество подводимого тепла, например при повторном нагревании или предварительном нагревании HDRI.

Теперь со ссылкой конкретно на фиг. 1, раскрыто нагревательное устройство питающей ветви / узел 20 питающего трубопроводного нагревателя, выполненный специально для питающей ветви к машине для брикетирования и подвода HDRI от питающего бункера для HDRI в плавильный аппарат, однако предполагаются также и другие применения. Узел 20 содержит изолированную наружную трубу 22 и внутреннюю трубу 24 питающей ветви, расположенную внутри изолированной наружной трубы 22 для приема потока 26 HDRI, как показано на фиг. 1. Таким образом, согласно вариантам осуществления узел 20 сконструирован в виде концентрических труб, чтобы обеспечить возможность преимущественного выполнения внутренней трубы 24, которая является фактическим питающим трубопроводом, из устойчивого к теплу и коррозии сплава для транспортировки HDRI. Внутренняя труба 24 может также содержать твердый керамический огнеупорный материал. Узел 20 дополнительно содержит нагревательный элемент, показанный в виде индукционных катушек 28 на фиг. 1 как прикрепленный к наружному периметру внутренней питающей трубы 24. Катушки 28 могут содержать трубки из меди или другого проводящего металла, выполненные в виде желаемой формы катушки, и они прикреплены в одном или более местах на внутренней трубе 24 питающей ветви для обеспечения магнитного потока, необходимого для

индукционного нагрева HDRI. Катушки 24 могут снабжаться охлаждающей водой для предотвращения перегрева. Кроме того, катушки 28 могут быть заключены в ферритный конструкционный материал, чтобы он служил концентратором 30 магнитного потока. Как также проиллюстрировано на фиг. 1, катушки 24 могут получать питание от специального блока или источника 32 питания, настроенного на желаемую и оптимальную частоту для обеспечения желаемого нагрева. Таким образом, блок или источник 32 питания может быть соединен с нагревательным элементом/катушками 28. Катушки 28 выполнены с возможностью передачи энергии из блока 32 питания в форме тепла для нагрева потока железа прямого восстановления через трубопровод. Опорные фланцы 34 дополнительно показаны на фиг. 1, и катушки/узел могут быть вставлены как трубная секция.

Таким образом, в одном примерном варианте осуществления, и как показано на фиг. 1, преимуществом признаком являются внешние индукционные катушки 28 вокруг внутренней трубы питающей ветви (внутренней трубопровода/трубы 24). Дополнительные преимущественные аспекты этого варианта осуществления включают внутреннюю трубу (из сплава или жаростойкую), снабженную катушкой, катушку с водяным охлаждением, заключенную в концентратор 30 потока из ферритного состава, и блок 32 питания для катушки.

Теперь со ссылкой конкретно на фиг. 2, раскрыты нагревательное устройство питающей ветви/узел 40 питающего трубопроводного нагревателя с дополнительным нагнетанием 36 газового карбюризатора. Как в случае с фиг. 1, узел 40 выполнен специально для питающей ветви к машине для брикетирования и подвода HDRI от питающего бункера для HDRI в плавильный аппарат, однако также предполагаются и другие применения. Узел 40 содержит изолированную наружную трубу 22 и внутреннюю трубу 24 питающей ветви, расположенную внутри изолированной наружной трубы 22 для приема потока 26 HDRI, как показано на фиг. 2. Таким образом, согласно вариантам осуществления узел 40 также сконструирован в виде концентрических труб для обеспечения возможности преимущественного выполнения внутренней трубы 24, которая является фактическим питающим трубопроводом, из устойчивого к теплу и коррозии сплава для транспортировки HDRI. Внутренняя труба 24 может также содержать твердый керамический огнеупорный материал. Узел 40 дополнительно содержит нагревательный элемент, показанный в виде индукционных катушек 28 на фиг. 2 как прикрепленный к наружному периметру внутренней питающей трубы 24. Катушки 28 могут содержать трубки из меди или другого проводящего металла, выполненные в виде желаемой формы катушки, и они прикреплены в одном или более местах на внутренней трубе 24 питающей ветви для обеспечения магнитного потока, необходимого для индукционного нагрева HDRI. Катушки 24 могут снабжаться охлаждающей водой для предотвращения перегрева. Кроме того, катушки 28 могут быть заключены в ферритный конструкционный материал, чтобы он служил концентратором 30 магнитного потока. Как также проиллюстрировано на фиг. 2, катушки 24 могут получать питание от специального блока или источника 32 питания, настроенного на желаемую и оптимальную частоту для обеспечения желаемого нагрева. Таким образом, блок или источник 32 питания может быть соединен с нагревательным элементом/катушками 28. Катушки 28 выполнены с возможностью передачи энергии из блока 32 питания в форме тепла для нагрева потока железа прямого восстановления через трубопровод. Опорные фланцы 34 дополнительно показаны на фиг. 2, и катушки/узел могут быть вставлены как трубная секция.

Следует отметить, что хотя нагнетание 36 газового карбюризатора проиллюстрировано на фиг. 2 дальше по ходу потока, оно может также происходить раньше по ходу потока относительно катушек 28. Также при поддержании температуры HDRI на уровне приблизительно 700°C или выше может быть особенно преимущественным обеспечивать нагнетание 36 газового карбюризатора в виде встречного потока относительно HDRI, чтобы "шлифовать" уровень углерода с добавлением до приблизительно 0,1% C (ограничения времени пребывания). Температура потока газового карбюризатора может составлять, например, приблизительно от 700 до 950°C или представлять любую другую подходящую температуру для поддержания желаемой температуры HDRI. HDRI может, таким образом, быть доставлено при оптимальной температуре в машины для горячего брикетирования для формирования брикетов высокого качества.

Таким образом, в этом примерном варианте осуществления и как показано на фиг. 2, этот вариант обеспечивает возможность улучшенной обработки посредством нагнетания газового карбюризатора в нагреваемую питающую ветвь. Преимущественные аспекты этого варианта осуществления включают нагревательное устройство питающей ветви / узел питающего трубопроводного нагревателя как на фиг. 1 и зону нагнетания газа для нагнетания нагретого газового карбюризатора 36.

Теперь со ссылкой конкретно на фиг. 3, раскрыты система/способ 60 повторного нагрева HDRI. Этот примерный вариант осуществления преимущественно позволяет оснащать выпускные ветви питающего бункера для HDRI индукционными нагревательными катушками. Соответственно преимущественные аспекты этого варианта осуществления предусматривают замену разгрузочной питающей ветви/трубопровода нагревательным устройством питающей ветви / узлом питающего трубопроводного нагревателя, подобным представленному на фиг. 1, для повторного нагрева HDRI, размещение ветви/трубопровода повторного нагрева после барабанного питателя и зону нагнетания газа для нагнетания нагретого газового карбюризатора.

Фиг. 3 может также быть описана в контексте способа нагрева железа прямого восстановления между источником железа прямого восстановления и обрабатывающим оборудованием для железа прямого восстановления. Способ может включать предоставление нагревательного устройства питающей ветви/узла 20' питающего трубопроводного нагревателя, которые подобны нагревательному устройству питающей ветви/узлу 20 питающего трубопроводного нагревателя, представленным на фиг. 1, между источником железа прямого восстановления и обрабатывающим оборудованием, при этом трубопровод узла 20' (два показаны в нем) принимает поток железа прямого восстановления из источника железа прямого восстановления и нагревает железо прямого восстановления при протекании железа прямого восстановления через трубопровод и в обрабатывающее оборудование, такое как плавильный аппарат, через, например, точки 68 подачи плавильного аппарата. Следует понимать, что хотя ссылка осуществляется на фиг. 3 на конкретное обрабатывающее оборудование, могут быть использованы другие обрабатывающее оборудование и расположение узла 20'.

Как правило, HDRI получают посредством восстановления окатышей, блоков и/или агломератов оксида железа в шахтной печи DR или посредством повторного нагрева холодных окатышей, блоков и/или агломератов DRI в печи повторного нагрева для DRI (не показана). Как показано на примерной фиг. 3, HDRI может быть размещено в питающих бункерах А, В для HDRI. Хотя показано два питающих бункера, следует понимать, что может быть использовано меньшее или большее количество. Питающие бункеры А, В для HDRI могут быть промежуточными бункерами, принимающими поток HDRI, со скользящими заслонками 62, используемыми для управления потоком HDRI в каналы 64, принимающие поток HDRI из питающих бункеров А, В для HDRI для прохождения материала к барабанному питателю 66. Барабанный питатель 66 может отвечать требованиям плавильного аппарата (не показан), расположенного дальше по ходу потока. Как показано на фиг. 3, HDRI, вытекающее из барабанного питателя 66, может поступать в нагревательное устройство питающей ветви/узла 20' питающего трубопроводного нагревателя, которые подобны нагревательному устройству питающей ветви/узлу 20 питающего трубопроводного нагревателя, представленным на фиг. 1. Таким образом, можно сослаться на описания узла 20 для этого варианта осуществления с добавлением межсоединения 61 как в отношении двух соединенных трубопроводов, показанных на фиг. 3. Например, узел 20' может подобным образом содержать изолированную наружную трубу 22 и внутреннюю трубу 24 питающей ветви, расположенную внутри изолированной наружной трубы 22 для приема потока 26 HDRI, как лучше всего видно на фиг. 1. Таким образом, согласно вариантам осуществления узел 20' может также быть сконструирован в виде концентрических труб для обеспечения возможности преимущественного выполнения внутренней трубы 24, которая является фактическим питающим трубопроводом, из устойчивого к теплу и коррозии сплава для транспортировки HDRI. Внутренняя труба 24 может также содержать твердый керамический огнеупорный материал. Узел 20' дополнительно содержит нагревательный элемент, показанный в виде индукционных катушек 28, которые могут быть прикреплены к наружному периметру внутренней питающей трубы 24. Катушки 28 могут содержать трубки из меди или другого проводящего металла, выполненные в виде желаемой формы катушки, и они прикреплены в одном или более местах на внутренней трубе 24 питающей ветви для обеспечения магнитного потока, необходимого для индукционного нагрева HDRI. Катушки 24 могут иметь минимальную длину 4 мм и могут снабжаться охлаждающей водой для предотвращения перегрева. Кроме того, катушки 28 могут быть заключены в ферритный конструкционный материал. Как также проиллюстрировано на фиг. 3, катушки 28 могут получать питание от специального блока или источника 32 питания, настроенного на желаемую и оптимальную частоту для обеспечения желаемого нагрева. Таким образом, блок или источник 32 питания может быть соединен с нагревательным элементом/катушками 28. Катушки 28 выполнены с возможностью передачи энергии из блока 32 питания в форме тепла для нагрева потока железа прямого восстановления через каждый трубопровод. Следует дополнительно отметить, что нагнетание 36 газового карбюризатора, показанное и описанное выше со ссылкой на фиг. 2, может также быть преимущественно использовано в этом варианте осуществления, если необходимо.

Теперь со ссылкой конкретно на фиг. 4 в еще одном дополнительном примерном варианте осуществления показан кольцевой трубопровод/нагревательный узел 70 с альтернативным потоком, выполненный в виде трубопровода с кольцевым потоком и особенно подходящий для предварительного нагрева / повторного нагрева высокой мощности. Следует изначально отметить, что эта конфигурация может быть альтернативой конфигурации питающей ветви/трубопровода с концентрической трубой, описанной в отношении фиг. 1. Катушки 28 могут быть предоставлены параллельно как внешний и внутренний наборы катушек, как дополнительно описано ниже и подобным образом, как описано для фиг. 1 и 2, но с дополнительными катушками. Как показано на фиг. 4, поток HDRI поступает в первую часть 72 трубопровода 70 с первым диаметром, и его форма расширяется в конической переходной зоне до больших диаметра/ширины во второй части 74, переходя в кольцевую форму, обеспечивающую путь потока кольцевой формы для поступления HDRI. В третьей части 76 его форма сужается во второй конической переходной зоне и затем переходит в четвертую часть 78 для выхода потока HDRI с диаметром по существу таким же, как и у первой части 72, в которую изначально поступает поток HDRI. Этот вариант осуществления преимущественно обеспечивает возможность размещения внешней и внутренней катушек 28

для улучшения профиля нагревания материала, как показано на фиг. 4.

Более того, этот вариант осуществления, представленный на фиг. 4, является особенно преимущественным, если требуется более равномерное или более интенсивное нагревание, поскольку меньшее поперечное сечение материала будет обеспечивать возможность установки катушек 28 на обеих сторонах трубопровода. Например, кольцевой трубопровод 70 может содержать приемный конус и цилиндрический сосуд, расположенный вокруг внутреннего вставного конуса для облегчения потока, чтобы расширить поток материала из питающей ветви диаметром 400 мм в кольцевое пространство 71 с наружным диаметром 700 мм и внутренним диаметром 550 мм. Таким образом, пласт окатышей диаметром 400 мм будет переходить посредством конуса в пласт окатышей меньшей ширины, составляющей 75 мм. Концентрически расположенные внешняя и внутренняя катушки 28 индуцируют магнитные поля с обеих сторон пласта окатышей и обеспечивают более интенсивное и равномерное нагревание. Внешняя катушка будет прикреплена к наружной части цилиндрического сосуда подобно питающим катушкам 28, изображенным на фиг. 1 и 2. Внутренние катушки 28 могут быть установлены внутри вставного устройства для облегчения потока, которое может поддерживаться опорами 73, такими как статические стержни, чтобы как удерживать вставное приспособление на месте, так и служить в качестве трубопровода доступа для подачи питания и охлаждающей воды к внутренней катушке 28. Нагретые окатыши будут затем поступать в подобную коническую переходную зону, обратно в трубопровод диаметром 400 мм. Катушки 28 выполнены с возможностью передачи энергии из блока 32 питания (не показан) в форме тепла для нагревания потока железа прямого восстановления.

Преимущественно этот вариант обеспечивает возможность альтернативных геометрических форм выпускных ветвей / трубопроводов питающего бункера для HDRI для целей предварительного нагревания HDRI. Дополнительные преимущественные аспекты этого варианта осуществления (вариант А) предусматривают после барабанного питателя переход округлых питающих ветвей в кольцевую зону нагревания с двумя наборами катушек 28, концентрически расположенных в виде внешних и внутренних нагревательных катушек.

Теперь со ссылкой конкретно на фиг. 5, в еще одном дополнительном примерном варианте осуществления раскрыт прямоугольный узел 80 нагревания трубопровода/поддачи плавильного аппарата для HDRI с альтернативным потоком, выполненный в виде трубопровода с прямоугольным потоком и особенно подходящий для предварительного нагревания/повторного нагревания высокой мощности. Следует изначально отметить, что эта конфигурация может также быть альтернативой конфигурации питающей ветви/трубопровода с концентрической трубой, описанной в отношении фиг. 1. Катушка может быть предоставлена в конфигурации "блина" на каждой стороне трубопровода, как показано на фиг. 5, и как дополнительно описано ниже. Как показано на фиг. 5, поток HDRI поступает в первую часть 82 трубопровода 80 с первым диаметром и его форма расширяется в переходной зоне до большей ширины во второй части 84, переходя в прямоугольную форму, обеспечивающую путь потока прямоугольной формы для поступления HDRI. В третьей части 86 его форма сужается во второй переходной зоне и затем переходит в четвертую часть 88 для выхода потока HDRI с диаметром по существу таким же, как у первой части 82, в которую изначально поступает поток HDRI. Однако выход может также иметь отличающиеся круглые, квадратные или другие подходящие формы. Катушки 28 выполнены с возможностью передачи энергии из блока 32 питания в форме тепла для нагревания потока железа прямого восстановления через трубопровод. Этот вариант осуществления преимущественно обеспечивает возможность размещения катушек 28 в конфигурации "блина" для улучшения профиля нагревания материала, как показано на фиг. 5.

Кроме того, эта конструкция с прямоугольным потоком, особенно подходящая для выходного потока из питающих бункеров для HDRI, может предусматривать переход от круглого к прямоугольному трубопроводу, например от диаметра 400 мм к внутренним размерам 100 x 1250 мм. Этот прямоугольный канал снабжен катушками в виде "блина", которые обозначают катушки, выполненные так, что ось катушки перпендикулярна сторонам трубопровода, на каждой стороне, чтобы обеспечивать проникновение в пласт окатышей посредством более интенсивного нагревания. Выпуск можно переводить в любую желаемую геометрическую форму. Вышеизложенные альтернативные геометрические формы могут быть использованы, если необходимо большее количество подводимого тепла, например при повторном нагревании или предварительном нагревании HDRI.

Преимущественно этот вариант также обеспечивает возможность альтернативных геометрических форм выпускных ветвей/трубопроводов питающего бункера для HDRI для целей предварительного нагревания HDRI. Дополнительные преимущественные аспекты этого варианта осуществления (вариант В) предусматривают после барабанного питателя переход круглых питающих ветвей в прямоугольную зону нагревания с двумя наборами катушек в виде "блина", по одному на каждой стороне сосуда.

Хотя настоящее изобретение проиллюстрировано и описано со ссылкой на его предпочтительные варианты осуществления и конкретные их примеры, специалистам в данной области техники будет очевидно, что другие варианты осуществления и примеры могут выполнять подобные функции и/или достигать подобных результатов. Все такие эквивалентные варианты осуществления и примеры находятся в рамках идеи и объема настоящего изобретения и предусмотрены им, и предполагается, что они охваты-

ваются следующей формулой изобретения. Кроме того, все элементы и признаки, описанные в данном документе, могут быть использованы в любой комбинации в вариантах осуществления.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ нагревания железа прямого восстановления между источником железа прямого восстановления и обрабатывающим оборудованием для железа прямого восстановления, включающий:

предоставление узла трубопроводного нагревателя между источником железа прямого восстановления и обрабатывающим оборудованием, при этом узел трубопроводного нагревателя принимает поток железа прямого восстановления из источника железа прямого восстановления и нагревает железо прямого восстановления при протекании железа прямого восстановления через узел трубопроводного нагревателя и в обрабатывающее оборудование,

при этом узел трубопроводного нагревателя содержит:

трубопровод, выполненный с возможностью приема потока железа прямого восстановления, и нагревательный элемент, содержащий индукционные нагревательные катушки, расположенный смежно с трубопроводом, при этом нагревательный элемент выполнен с возможностью передачи энергии из блока питания в форме тепла на трубопровод и нагревания потока железа прямого восстановления, проходящего через трубопровод; и

при этом трубопровод содержит изолированную наружную трубу и внутреннюю трубу, образующую внутренний трубопровод, расположенную внутри изолированной наружной трубы и выполненную с возможностью приема потока железа прямого восстановления, и при этом нагревательный элемент расположен концентрически вокруг наружной поверхности внутреннего трубопровода и внутри изолированной наружной трубы.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что железо прямого восстановления нагревают до температуры приблизительно от 700 до 750°C.

3. Способ по п.1, отличающийся тем, что железо прямого восстановления нагревают до приблизительно 1000°C или более.

4. Способ по п.1, отличающийся тем, что включает нагревание горячего железа прямого восстановления до приблизительно 730°C для стабилизации содержания цементита и сведения к минимуму дальнейшей декомпозиции.

5. Способ по п.1, отличающийся тем, что железо прямого восстановления является горячим железом прямого восстановления из шахтной печи прямого восстановления или печи повторного нагрева для железа прямого восстановления.

6. Способ по п.1, отличающийся тем, что источник железа прямого восстановления является по меньшей мере одним из шахтной печи прямого восстановления, печи повторного нагрева для железа прямого восстановления, промежуточного бункера, питающего бункера для горячего железа прямого восстановления, разделителя и барабанного питателя.

7. Способ по п.6, отличающийся тем, что обрабатывающее оборудование является по меньшей мере одним из плавильного аппарата, брикетировочной машины и оборудования для горячего прессования для прессования до более высокой плотности.

8. Способ по п.1, отличающийся тем, что нагревательный элемент содержит индукционные катушки из трубок из проводящего металла, прикрепленные к наружному периметру внутренней трубы внутри изолированной наружной трубы и выполненные с возможностью обеспечения магнитного потока для опосредованного нагревания железа прямого восстановления.

9. Способ по п.1, отличающийся тем, что дополнительно включает нагнетание газового карбюризатора, реализуемое дальше по ходу потока или раньше по ходу потока относительно индукционных нагревательных катушек, которое обеспечивает поток газового карбюризатора через трубопровод.

10. Способ нагревания железа прямого восстановления между источником железа прямого восстановления и обрабатывающим оборудованием для железа прямого восстановления, включающий:

предоставление узла трубопроводного нагревателя между источником железа прямого восстановления и обрабатывающим оборудованием, при этом узел трубопроводного нагревателя принимает поток железа прямого восстановления из источника железа прямого восстановления и нагревает железо прямого восстановления при протекании железа прямого восстановления через узел трубопроводного нагревателя и в обрабатывающее оборудование,

при этом узел трубопроводного нагревателя содержит:

трубопровод, выполненный с возможностью приема потока железа прямого восстановления, и нагревательный элемент, содержащий нагревательные индукционные катушки, расположенный смежно с трубопроводом, при этом нагревательный элемент выполнен с возможностью передачи энергии из блока питания в форме тепла на трубопровод и нагревания потока железа прямого восстановления, проходящего через трубопровод; и

при этом участок трубопровода содержит трубу и переходит в путь потока кольцевой формы для приема потока железа прямого восстановления и нагревательный элемент содержит параллельный набор

индукционных нагревательных катушек.

11. Способ по п.10, отличающийся тем, что источник железа прямого восстановления является по меньшей мере одним из шахтной печи прямого восстановления, печи повторного нагрева для железа прямого восстановления, промежуточного бункера, питающего бункера для горячего железа прямого восстановления, разделителя и барабанного питателя.

12. Способ по п.10, отличающийся тем, что обрабатывающее оборудование является по меньшей мере одним из плавильного аппарата, брикетировочной машины и оборудования для горячего прессования для прессования до более высокой плотности.

13. Способ по п.10, отличающийся тем, что железо прямого восстановления нагревают до температуры приблизительно от 700 до 750°C.

14. Способ по п.10, отличающийся тем, что железо прямого восстановления нагревают до приблизительно 1000°C или более.

15. Способ нагревания железа прямого восстановления между источником железа прямого восстановления и обрабатывающим оборудованием для железа прямого восстановления, включающий:

предоставление узла трубопроводного нагревателя между источником железа прямого восстановления и обрабатывающим оборудованием, при этом узел трубопроводного нагревателя принимает поток железа прямого восстановления из источника железа прямого восстановления и нагревает железо прямого восстановления при протекании железа прямого восстановления через узел трубопроводного нагревателя и в обрабатывающее оборудование,

при этом узел трубопроводного нагревателя содержит:

трубопровод, выполненный с возможностью приема потока железа прямого восстановления, и нагревательный элемент, содержащий нагревательные индукционные катушки, расположенный смежно с трубопроводом, при этом нагревательный элемент выполнен с возможностью передачи энергии из блока питания в форме тепла на трубопровод и нагревания потока железа прямого восстановления, проходящего через трубопровод; и

при этом участок трубопровода содержит трубу и первую часть, которая расширяется в переходной зоне до большей ширины во второй части, которая переходит в путь потока прямоугольной формы, и индукционные нагревательные катушки содержат прямоугольные дисковые индукционные нагревательные катушки.

16. Способ по п.15, отличающийся тем, что источник железа прямого восстановления является по меньшей мере одним из шахтной печи прямого восстановления, печи повторного нагрева для железа прямого восстановления, промежуточного бункера, питающего бункера для горячего железа прямого восстановления, разделителя и барабанного питателя.

17. Способ по п.16, отличающийся тем, что обрабатывающее оборудование является по меньшей мере одним из плавильного аппарата, брикетировочной машины и оборудования для горячего прессования для прессования до более высокой плотности.

18. Способ по п.15, отличающийся тем, что железо прямого восстановления нагревают до температуры приблизительно от 700 до 750°C.

19. Способ по п.15, отличающийся тем, что железо прямого восстановления нагревают до приблизительно 1000°C или более.

20. Система для нагревания железа прямого восстановления между источником железа прямого восстановления и обрабатывающим оборудованием для железа прямого восстановления, содержащая:

источник железа прямого восстановления;

обрабатывающее оборудование для железа прямого восстановления;

узел трубопроводного нагревателя, соединяющий источник железа прямого восстановления и обрабатывающее оборудование и расположенный между источником железа прямого восстановления и обрабатывающим оборудованием, при этом узел трубопроводного нагревателя выполнен с возможностью приема потока железа прямого восстановления из источника железа прямого восстановления и нагревания железа прямого восстановления при протекании железа прямого восстановления через узел трубопроводного нагревателя и в обрабатывающее оборудование,

при этом узел трубопроводного нагревателя содержит:

трубопровод, выполненный с возможностью приема потока железа прямого восстановления, и нагревательный элемент, содержащий нагревательные индукционные катушки, расположенный смежно с трубопроводом, при этом нагревательный элемент выполнен с возможностью передачи энергии из блока питания в форме тепла на трубопровод и нагревания потока железа прямого восстановления, проходящего через трубопровод; и

при этом трубопровод содержит изолированную наружную трубу и внутреннюю трубу, образующую внутренний трубопровод, расположенную внутри изолированной наружной трубы и выполненную с возможностью приема потока железа прямого восстановления, и при этом нагревательный элемент расположен концентрически вокруг наружной поверхности внутреннего трубопровода и внутри изолированной наружной трубы.

21. Система по п.20, отличающаяся тем, что система выполнена с возможностью осуществления по

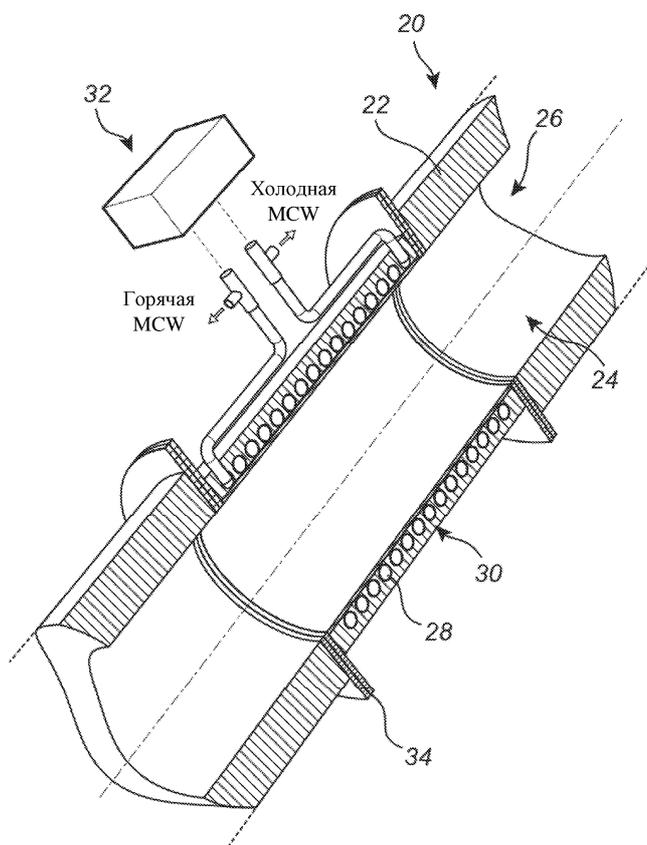
меньшей мере одного из нагрева железа прямого восстановления до температуры приблизительно от 700 до 750°C и нагрева железа прямого восстановления до приблизительно 1000°C или более.

22. Узел питающего трубопроводного нагревателя, содержащий:

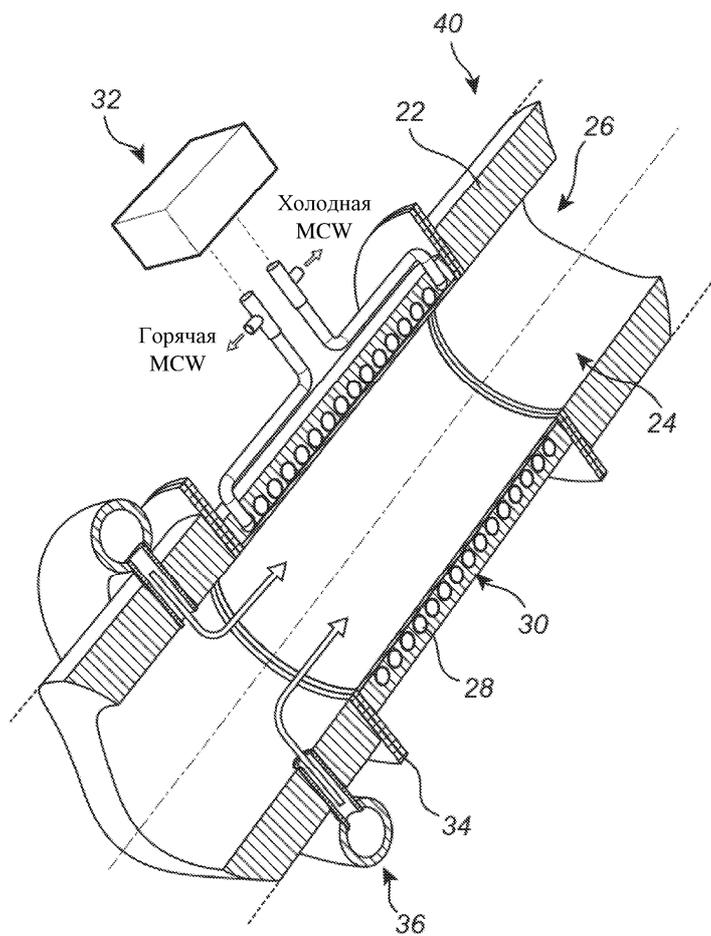
трубопровод, выполненный с возможностью приема потока железа прямого восстановления; и нагревательный элемент, содержащий индукционные нагревательные катушки, расположенный смежно с трубопроводом; и

при этом нагревательный элемент выполнен с возможностью передачи энергии из источника питания в форме тепла на трубопровод и нагрева потока железа прямого восстановления, проходящего через трубопровод, и

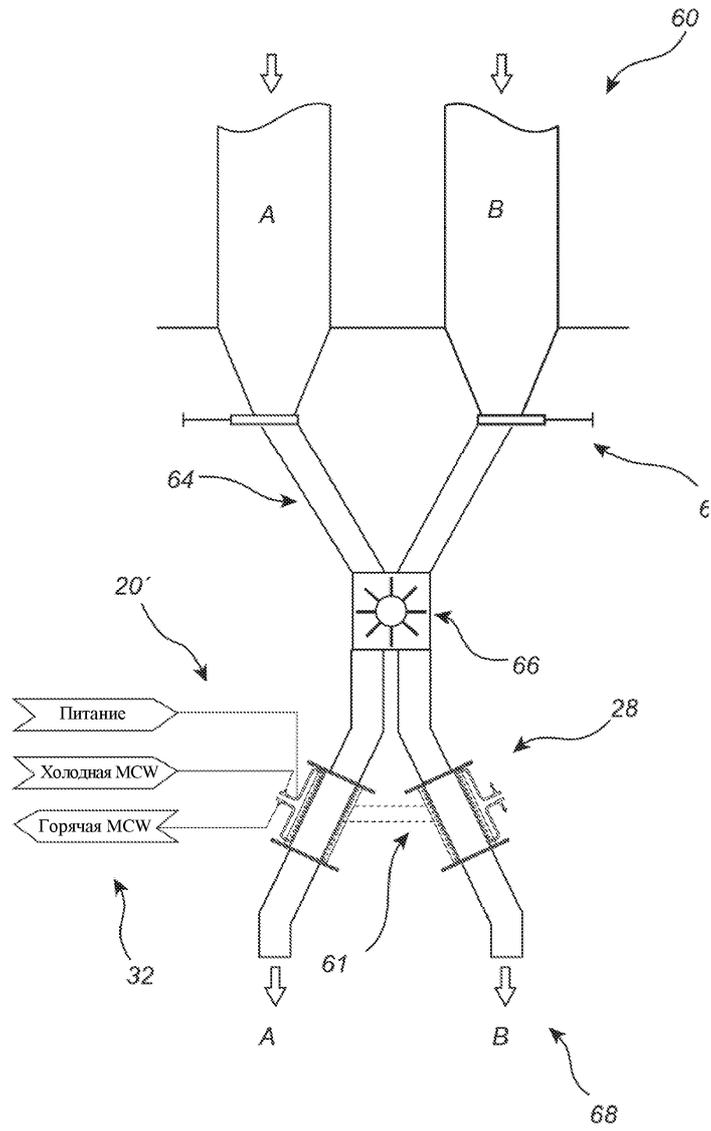
при этом трубопровод содержит изолированную наружную трубу и внутреннюю трубу, образующую внутренний трубопровод, расположенную внутри изолированной наружной трубы и выполненную с возможностью приема потока железа прямого восстановления, и при этом нагревательный элемент расположен концентрически вокруг наружной поверхности внутреннего трубопровода и внутри изолированной наружной трубы.



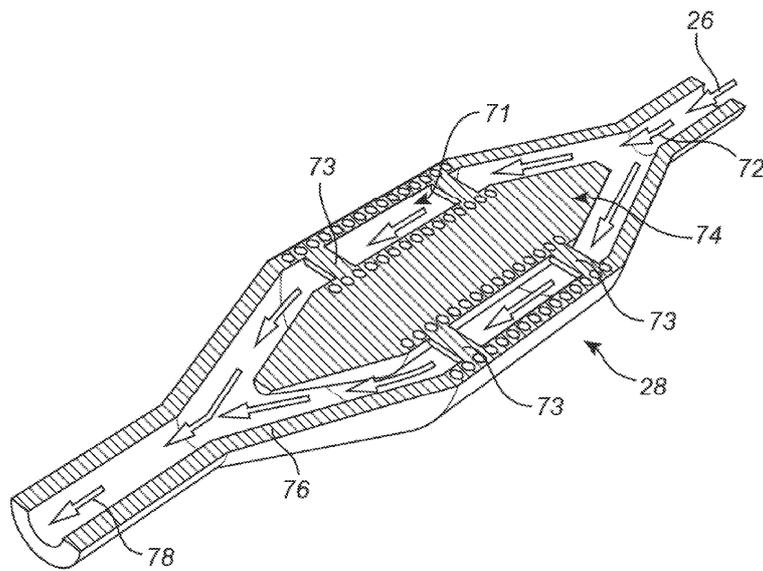
Фиг. 1



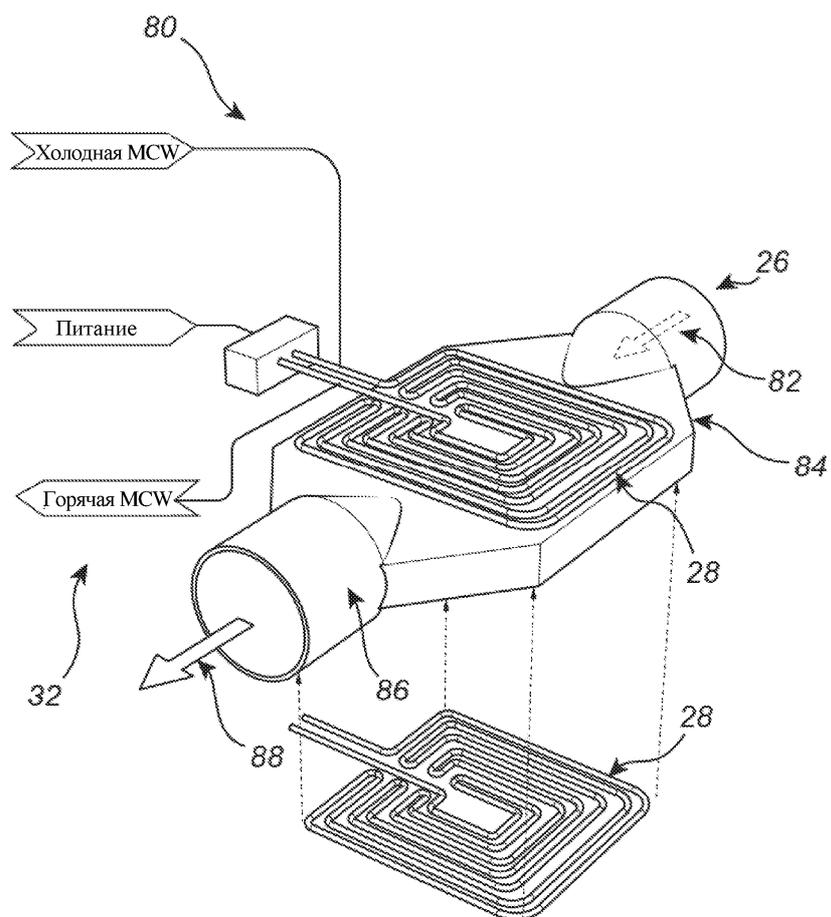
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5

