

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **045314**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента
2023.11.15

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

(21) Номер заявки
202390766

(22) Дата подачи заявки
2021.09.09

(54) **СПОСОБ ЭКСПЛУАТАЦИИ УСТАНОВКИ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ**

(31) **LU102055**

(56) **US-A-3909446
WO-A1-2015078962**

(32) **2020.09.09**

(33) **LU**

(43) **2023.06.30**

(86) **PCT/EP2021/074750**

(87) **WO 2022/053538 2022.03.17**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
ПАУЛЬ БЮРТ С.А. (LU)

(72) Изобретатель:
**Кинцель Клаус Петер (LU), Валериус
Мириам (DE), Кастаньола Кристиано,
Микелетти Лоренцо (IT)**

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

(57) Предложен способ эксплуатации доменной печи для производства передельного чугуна, включающий в себя шаги: (А) нагревание потока углеводородного газа и потока пара в первом нагревателе для обеспечения нагретого потока углеводородного газа и пара, (Б) подача и частичный реформинг нагретого потока углеводородного газа и пара в печи предварительного реформинга для обеспечения потока частично реформированного сингаза, (В) нагревание первого потока доменного газа из доменной печи и потока частично реформированного сингаза во втором нагревателе перед или после их совместного смешивания для обеспечения нагретого питающего углеродом потока, (Г) реформирование нагретого питающего углеродом потока во второй печи реформинга для обеспечения второго потока сингаза, и (Д) подача второго потока сингаза к шахте доменной печи.

045314
B1

045314
B1

Область техники

В общем, настоящее изобретение относится к способу эксплуатации установки доменной печи, а также к такой установке доменной печи.

Уровень техники

Несмотря на альтернативные способы, такие как плавление металлического лома или восстановление в электродуговой печи, доменная печь в настоящее время представляет собой наиболее широко используемый процесс производства стали. Одной из проблем установки доменной печи является доменный газ (BFG), выходящий из доменной печи. Поскольку этот газ выходит из доменной печи в верхней части, он обычно также называется верхним газом (top gas). В то время как в начале этому доменному газу позволяли просто выходить в атмосферу, это позднее предотвращалось посредством использования его в питаемых BFG электростанциях, чтобы не растрчивать энергосодержание газа и не вызывать чрезмерной нагрузки на окружающую среду. Одним компонентом доменного газа является CO_2 , который является экологически вредным и главным образом бесполезным для промышленных применений. Действительно, отходящий газ, покидающий питаемую доменным газом электростанцию, типичным образом имеет концентрацию CO_2 от 20 об.% до 40 об.%. Доменный газ после сжигания обычно содержит кроме вышеупомянутого CO_2 значительные количества N_2 , CO , H_2O и H_2 . Однако содержание N_2 в значительной степени зависит от того, используется ли в доменной печи горячий воздух или (чистый) кислород.

Главным образом для уменьшения количества используемого кокса или другого источника углерода предлагалось возвращать доменный газ из доменной печи, обрабатывать его для улучшения его восстановительного потенциала и вводить его назад в доменную печь для содействия процессу восстановления. Одним способом выполнения этого является снижение содержания CO_2 в доменном газе посредством адсорбции с перепадом давления (PSA) или вакуумной адсорбции с перепадом давления (VPSA), как это раскрыто в патентной заявке EP 2 886 666 A1. PSA/VPSA установки вырабатывают первый поток газа, который является богатым CO и H_2 , и второй поток газа, богатый CO_2 и H_2O . Первый поток газа может быть использован в качестве восстановительного газа и подается назад в доменную печь. Примером такого подхода является процесс ULCOS (производство стали с ультранизким CO_2), где помимо рециркулированного первого потока газа в доменную печь подаются пылевидный уголь и холодный кислород. Этот тип печи также называется "печью с кислородным дутьем (OBF) с рециркуляцией верхнего газа".

Второй поток газа может быть удален из установки и, после извлечения оставшейся теплотворной способности, утилизирован. Эта утилизация противоречиво заключается в закачивании богатого CO_2 газа для хранения в подземные полости. Кроме того, хотя PSA/VPSA установки делают возможным значительное снижение содержания CO_2 в доменном газе от примерно 35% до примерно 5%, они являются очень дорогостоящими в приобретении, поддержке и эксплуатации и, кроме того, они требуют много места.

Также было предложено использовать доменный газ в качестве агента реформинга для углеводородов для получения синтетического газа (также называемого сингазом), который может быть использован для нескольких промышленных целей. Согласно обычному процессу реформинга доменный газ смешивается с топливным газом, который содержит по меньшей мере один углеводород (например, низшие алканы). В так называемой реакции сухого реформинга углеводороды топливного газа реагируют с CO_2 в доменном газе с образованием H_2 и CO . Одновременно углеводороды реагируют с H_2O в доменном газе также с образованием H_2 и CO в так называемой реакции парового реформинга. В любом случае полученный таким образом синтетический газ имеет значительно увеличенную концентрацию H_2 и CO .

Проблемами с вышеупомянутыми решениями является то, что они требуют дорогого и технически сложного оборудования и/или не являются применимыми к работе доменной печи.

Техническая проблема

Таким образом, целью настоящего изобретения является разработка нового способа эксплуатации установки доменной печи, то есть доменной печи и ее вспомогательного оборудования, а также соответствующей установки доменной печи, делающей возможным снижение выбросов CO_2 , образующихся при традиционном производстве стали в доменной печи, и по меньшей мере частичное преодоление вышеупомянутых проблем.

Общее описание изобретения

Для достижения этой цели настоящее изобретение предлагает, в первом аспекте, способ эксплуатации доменной печи для производства передельного чугуна, включающий в себя шаги:

(А) нагревание потока углеводородного газа и потока пара в первом нагревателе для обеспечения нагретого потока углеводородного газа и пара,

(Б) подача и частичный реформинг нагретого потока углеводородного газа и пара в печи предварительного реформинга для обеспечения потока частично реформированного сингаза, причем, предпочтительно, от 2 до 25%, предпочтительно от 5 до 18%, содержащегося в углеводородном газе метана (эквивалент) было конвертировано в CO и H_2 , более предпочтительно, согласно термодинамическому равновесию при рабочей температуре между 400 и 550°C и давлении между 1 и 4 бар избыточных,

(В) нагревания первого потока доменного газа из доменной печи и потока частично реформирован-

ного сингаза во втором нагревателе перед или после их совместного смешивания для обеспечения нагретого питающего углеродом потока,

(Г) реформирования нагретого питающего углеродом потока в печи вторичного реформинга для обеспечения второго потока сингаза, и

(Д) подача второго потока сингаза к шахте доменной печи.

Во втором аспекте настоящее изобретение предлагает установку доменной печи для производства передельного чугуна, включающее в себя доменную печь, оснащенную газоподводами в шахте, выполненной для подачи второго потока сингаза в доменную печь. Доменная печь также включает в себя первый нагреватель в гидродинамическом соединении с источником потока углеводородного газа и источником потока пара, причем первый нагреватель выполнен для нагревания потока углеводородного газа и потока пара для обеспечения нагретого потока углеводородного газа и пара, и причем первый нагреватель находится в гидродинамическом соединении ниже по потоку с входом печи предварительного реформинга. Печь предварительного реформинга выполнена для частичного реформинга нагретого потока углеводородного газа и пара для обеспечения потока частично реформированного сингаза. Доменная печь также включает в себя второй нагреватель в гидродинамическом соединении с верхней частью доменной печи, выполненной для подвода первого потока доменного газа, причем второй нагреватель выполнен для нагревания первого потока доменного газа и потока частично реформированного сингаза либо отдельно, либо в смеси для обеспечения нагретого питающего углеродом потока; и печь вторичного реформинга в гидродинамическом соединении со вторым нагревателем, причем печь вторичного реформинга выполнена для преобразования нагретого питающего углеродом потока во второй поток сингаза и находится в гидродинамическом соединении ниже по потоку с газоподводами в шахте доменной печи. Предпочтительно, установка доменной печи выполнена для эксплуатации посредством осуществления способа согласно первому аспекту и как описано более подробно ниже.

Таким образом, изобретение предлагает объединенный способ и соответствующую установку, позволяющие эксплуатировать доменную печь со сниженным потреблением кокса и других источников углерода и меньшим CO_2 следом.

Действительно, изобретатели установили, что данная технология производства сингаза может быть предпочтительно применена к смеси углеводородного газа и доменного газа, обеспечивая посредством этого сингаз с составами, которые особо пригодны для подачи в шахту доменной печи.

Фактически поданный сначала в печь предварительного реформинга углеводородный газ подвергают частичному паровому реформингу, перед тем как подвергнуться вторичному реформингу в присутствии доменного газа при более высоких температурах. Поскольку доменный газ имеет пониженное содержание углерода по сравнению с природным газом, возможно увеличение процентного содержания доменного газа при питании печи вторичного реформинга, однако подобные критическим отношениям значения, например отношение пара к углероду, и максимально приемлемые концентрации компонентов в выработанном сингазе, должны сохраняться. По этой причине может быть предпочтительным ограничить пропорцию подлежащего смешению с потоком углеводородного газа доменного газа для облегчения работы процесса.

Действительно, изобретатели установили, что особо предпочтительное качество сингаза может быть получено посредством регулирования молярного отношения пар/углерод ($\text{H}_2\text{O}/\text{C}$) для печи предварительного реформинга в зависимости от его рабочего давления и соотношенной с ним возможной рабочей температуры до значений от 0,3 до 0,7 мол./мол., более идеально между 0,35 и 0,65 мол./мол., и предпочтительно между 0,4 и 0,6 мол./мол. Работа печи предварительного реформинга осуществляется вблизи термодинамического равновесия, для которого превращение метана зависит от рабочих условий, таких как температура и давление. Точное молярное отношение доменного газа к углеводородному газу для печи вторичного реформинга зависит от состава доменного газа и для обычных составов типичным образом регулируется до приблизительно 2-6, идеально до примерно 2,5-5, и предпочтительно до примерно 3-4,5.

Одним важным преимуществом настоящего способа и установки является то, что посредством регенерации части доменного газа для повторного использования общая выработка CO_2 при работе доменной печи может быть существенно снижена.

Кроме того, ввод полученного сингаза в шахту доменной печи делает возможным значительное уменьшение количества кокса и/или другого источника углерода на тонну произведенного передельного чугуна, также называемого удельным расходом кокса. Дополнительно, ввод сингаза в шахту доменной печи делает возможным более высокий ввод через фурмы порошкообразного угля или природного газа или другого материала. Итак, дополнительные количества кокса могут быть заменены, позволяя косвенно уменьшить расходы на эксплуатацию доменной печи и в зависимости от содержания углерода во введенном материале также выбросы CO_2 .

Кроме того, в то время как в других отраслях промышленности уровень давления в печах реформинга относительно высок, в большинстве случаев выше 20 бар абсолютных и даже выше 40 бар абсолютных, при использовании доменной печи требуемый уровень давления составляет лишь от 2 до 6 бар абсолютных. Это оказывает важное воздействие на рабочие условия и ограничения для реформинга, та-

кие как образование углерода и равновесная конверсия. В то время как более низкий уровень давления будет способствовать более высокой степени конверсии метана при одном и том же уровне температуры, он, к сожалению, также способствует образованию углерода, по причине чего использование описанной здесь печи предварительного реформинга является особо предпочтительным в производстве сингаза для его использования в доменной печи.

Это и другие преимущества настоящего способа эксплуатации доменной печи, а также раскрытой сейчас установки доменной печи будут более подробно описаны ниже.

В настоящем способе и установке доменной печи поток углеводородного газа и поток пара или нагревают отдельно в первом нагревателе и затем смешивают перед входом в печь предварительного реформинга или нагревают в виде предварительно смешанного потока углеводородного газа и пара.

Температура нагретого потока углеводородного газа и/или нагретого потока пара, или нагретого потока углеводородного газа и пара при входе в печь предварительного реформинга на шаге (Б) обычно находится между 300°C и 600°C, идеально между 400°C и 500°C, предпочтительно от 425°C до 480°C. Рабочую температуру печи предварительного реформинга обычно выбирают в соответствии с условиями осаждения углерода на катализаторе.

Было установлено, что может быть желательным или выгодным для работы доменной печи добавлять водород, прежде всего, так называемый возобновляемый или "зеленый" водород в подходящем месте технологического потока. В этом контексте возобновляемый или "зеленый" водород является водородом (H_2), вырабатываемым посредством электролиза воды с использованием электроэнергии, поступающей из возобновляемых источников, таких как ветер, солнечная энергия и гидроэнергия. В качестве первой опции этот поток водорода может быть добавлен перед или после нагревания потока углеводородного газа в первом нагревателе перед шагом (Б) (то есть выше по потоку или ниже по потоку относительно первого нагревателя, но выше по потоку относительно печи предварительного реформинга), что приводит к более низкой конверсии метана в печи предварительного реформинга при данной температуре по сравнению с добавлением водорода, но осаждение углерода частично подавляется, и печь предварительного реформинга может эксплуатироваться при более высоких температурах, например до 700°C. В качестве второй опции водород может быть добавлен к потоку подаваемого к печи вторичного реформинга частично реформированного сингаза перед или после нагревания во втором нагревателе перед шагом (Г) (то есть выше по потоку или ниже по потоку относительно второго нагревателя, но выше по потоку относительно печи вторичного реформинга), также снижая осаждение углерода. В качестве третьей опции водород может быть добавлен ко второму потоку сингаза после печи вторичного реформинга перед шагом (Д) для приспособления его температуры к требуемому уровню температуры сингаза для ввода в шахту или если водород предварительно нагрет до того же уровня температуры. Все упомянутые случаи интегрирования водорода в процесс могут быть объединены, и поток(-и) H_2 , предпочтительно, будут предварительно нагреты. Предварительный нагрев водорода обычно реализуют в подходящем теплообменнике, таком как четвертый нагреватель или теплообменник, интегрированный в линию обработки отходящего газа другого теплообменника. Поэтому место добавления водорода также зависит от температурного уровня предварительного нагрева.

Изобретатели не только установили, что посредством питания печи предварительного реформинга питающим газом с такими температурами, второй поток сингаза, покидающий расположенную ниже по потоку печь вторичного реформинга, достигает температур примерно от 900 до 1100°C, идеально примерно 1000°C, которые являются температурами, требуемые для ввода сингаза в шахту доменной печи. Кроме того, это делает возможным частичный реформинг (конверсию CH_4) от 2 до 25 мол.%, предпочтительно от 5 до 18 мол.%, в печи предварительного реформинга, облегчая посредством этого реформинг в расположенной ниже по потоку печи вторичного реформинга. Как уже упоминалось выше, другим преимуществом описанного здесь предварительного реформинга является то, что высшие углеводороды устраняются/разлагаются при относительно низких температурах, уменьшая посредством этого риск осаждения сажи/твердых осадков углерода в печи вторичного реформинга или в любых промежуточных каналах, нагревателях и т.д. Действительно, высшие углеводороды имеют тенденцию к термическим реакциям, приводящим к ненасыщенным компонентам и углероду, прежде всего когда они нагреты до относительно высоких температур, таких как между 700 и 1000°C, то есть температур, измеренных в печи вторичного реформинга. Другими словами, настоящий способ и установка доменной печи могут, таким образом, использовать большой диапазон источников углеводородов в качестве углеводородного газа. Используя частично реформированный газ, в котором высшие углеводороды были конвертированы, делает возможным нагревание до более высоких температур во втором нагревателе и печи вторичного реформинга без или по меньшей мере со значительно меньшим нежелательным осаждением углерода. Для дальнейшего уменьшения отложений углерода (так называемых усов углерода) в печи вторичного реформинга к нагретому питающему углеродом потоку могут быть добавлены небольшие, хорошо контролируемые количества H_2S перед печью вторичного реформинга для пассивирования или стабилизации катализатора, например никелевого катализатора, посредством этого сильно уменьшая отложение углерода на катализаторе.

Катализаторами для генерирования сингаза типичным образом являются металлы VIII группы, та-

кие как родий, платина, палладий, рутений, кобальт, никель и иридий, которые нанесены на оксидные подложки или используются без подложки. Главными показателями для выбора катализатора в связи с этим являются скорость конверсии, избирательность, термическая стабильность, предотвращение образования углерода и, конечно, стоимость. Перечисленные выше параметры зависят от условий питания и реакции. Использование печи предварительного реформинга и печи вторичного реформинга предоставляет возможность использования двух разных катализаторов согласно разным условиям реформинга. Вследствие этого может быть снижена стоимость катализатора и достигнуты более длительные сроки службы более дорогого катализатора в печи вторичного реформинга.

Кроме того, потенциальные сернистые компоненты, H_2S и другие, такие как меркаптан и тиоэфирные соединения, присутствующие в углеводородном газе, будут осаждаться на катализаторе печи предварительного реформинга, защищая посредством этого катализатор в расположенной ниже по течению печи вторичного реформинга от отравления серой.

Частичный реформинг на шаге (Б) может быть выполнен во множестве известных реакторах реформинга, выполненных для парового реформинга. Однако, предпочтительно, частичный реформинг на шаге (Б) осуществляется в печи реформинга теплообменного типа в качестве печи предварительного реформинга. Будучи сама по себе эндотермической реакцией, паровой реформинг углеводородов требует значительного ввода тепла для получения требуемой конверсии в водород и монооксид углерода. В обычных печах парового реформинга теплопередача происходит посредством излучения, в то время как в печах реформинга теплообменного типа значительная часть теплопередачи происходит за счет конвекции с горячим отходящим газом или горячим технологическим газом (как будет далее пояснено ниже), посредством чего тепловая эффективность может быть повышена по сравнению с излучением. Вдобавок к их высокой тепловой эффективности теплообменные печи реформинга очень компактные.

В предпочтительных вариантах осуществления первый нагреватель и второй нагреватель выполнены в виде теплообменников, использующих отходящее тепло, выработанное ниже по потоку в способе посредством тепловой интеграции. Предпочтительно, (остаточное) тепло из отходящего/выхлопного газа второго теплообменника направляют назад в качестве нагревательной среды, подлежащей использованию (в так называемом гидродинамическом нагревательном соединении) при нагревании расположенного выше по течению первого нагревателя. Следовательно, в особо предпочтительных вариантах осуществления настоящего изобретения отходящее/отработанное тепло из шагов ниже по течению используют выше по течению в противоточном теплообмене (следовательно, направление гидродинамического нагревательного соединения противоположно направлению гидродинамического соединения технологических потоков), предпочтительно, в теплообменниках и в печи предварительного реформинга теплообменного типа, повышая посредством этого эффективность способа. Термины "выше по потоку" и "ниже по потоку" в данном контексте всегда относятся к направлению течения участвующих в производстве сингаза потоков реагентов и продуктов (технологический поток), а не к направлению противоточной нагревательной среды (гидродинамического нагревательного соединения).

Печь вторичного реформинга на шаге (Г) может быть так называемой печью сухого реформинга или печью автотермического реформинга.

В первых вариантах печь вторичного реформинга является печью смешанного сухого и парового реформинга, для упрощения и согласно общему пониманию в данном документе называемой просто печью сухого реформинга. Главными реакциями в печи вторичного реформинга являются эндотермические реакции сухого реформинга в присутствии CO_2 , то есть $CH_4 + CO_2 = 2CO + 2H_2O$ и парового реформинга в присутствии пара, то есть $CH_4 + H_2O = CO + 3H_2$.

В таких вариантах печь вторичного реформинга обычно требует подвода тепла, чтобы сделать возможной конверсию питающего углеродом потока в поток пригодного для использования в доменной печи сингаза. Поэтому питающий углеродом поток после шага (В) нагревают во втором нагревателе до соответствующих температур, причем такие температуры обычно находятся между $500^\circ C$ и $800^\circ C$, предпочтительно между $600^\circ C$ и $750^\circ C$, более предпочтительно между $850^\circ C$ и $700^\circ C$.

Кроме того, шаг (Г) также включает в себя нагревание печи сухого вторичного реформинга посредством соответствующих средств, таких как сжигающая горючий газ горелка, но более предпочтительно посредством сжигания второго потока доменного газа в горелке в присутствии воздуха, обогащенного кислородом воздуха или даже кислорода, получая за счет этого также горячий отходящий газ. Использование обогащенного кислородом воздуха или кислорода для сжигания второго потока доменного газа возможно в комбинации с рециркулируемым для регулирования температуры пламени отходящим газом, особо предпочтительно, если получающийся отходящий газ также (частично) подают в печь вторичного реформинга в качестве дополнительно источника CO_2 , который также снижает содержание N_2 в получающемся втором потоке сингаза. В этом контексте "обогащенный кислородом воздух" означает, что газообразный кислород (O_2) добавляют к воздуху для повышения доли кислорода в получающейся обогащенной кислородом смеси до значений от 23 до 85 об.%, предпочтительно от 60 до 75 об.%.

Использование чистого кислорода или обогащенного кислородов воздуха приводит к низким концентрациям азота, обеспечивая преимущества также для улавливающей углерод установки.

В дополнение к упомянутой выше противоточной тепловой интеграции использование печи сухого

реформинга в качестве печи вторичного реформинга позволяет рекуперировать (остаточное) тепло из самой этой нагретой печи сухого реформинга и тепла отходящего газа ее горелок для использования его для нагревания расположенного выше по потоку второго нагревателя, предпочтительно, в комбинации с уже описанным противоточным переносом тепла к печи предварительного реформинга и первому нагревателю, если они выполнены в виде теплообменников. Следовательно, тепло из горячего отходящего газа используют, предпочтительно, для нагревания расположенного выше по потоку второго нагревателя, печи предварительного реформинга и/или первого нагревателя, предпочтительно, последовательно в таком порядке: расположенного выше по потоку второго нагревателя, печи предварительного реформинга, и первого нагревателя.

Некоторыми преимуществами и выгодами этих первых вариантов являются:

благодаря печи предварительного реформинга с приблизительно 2-25% конверсией метана (эквивалент), более высокая энергетическая эффективность, чем у соответствующего процесса без печи предварительного реформинга,

поскольку доменный газ в печь предварительного реформинга не добавляют, получается общее более низкое падение давления,

теплообменники и печь предварительного реформинга являются дешевым оборудованием,

разделение предварительного реформинга, нагревания и вторичного реформинга позволяет более просто разрабатывать и эксплуатировать каждый шаг в отношении осаждения углерода, отравления катализатора, и это прежде всего также принимая во внимание изменение состава доменного газа как функции работы доменной печи.

Во вторых вариантах вторичный реформинг на шаге (Г) осуществляется в печи автотермического реформинга, также известной как ATR, в присутствии соответствующих количеств кислорода. Автотермический реформинг объединяет реакции парового и сухого реформинга и окисление топлива в одном устройстве, причем экзотермическое окисление обеспечивает тепло для эндотермических реакций реформинга.

В такой конфигурации, включающей ATR в качестве печи вторичного реформинга, шаг предварительного реформинга приводит к значительному уменьшению потребности в энергии для вторичного реформинга, посредством этого также снижая расход кислорода, что в свою очередь помогает значительно повысить восстановительный потенциал (второго потока) выработанного в печи вторичного реформинга сингаза. В связи с этим восстановительный потенциал определяется как молярное отношение $(CO + H_2)/(CO_2 + H_2O)$.

Температура питающего углеродом потока после шага (В) в соответствии с требованиями регулируется и будет обычно находиться между 750°C и 950°C, предпочтительно между 800°C и 900°C. Соответственно, шаг (Г) дополнительно включает в себя нагревание второго нагревателя посредством сжигания соответствующего газообразного топлива или, предпочтительно, посредством сжигания второго потока доменного газа с воздухом или кислородом в горелке, соотношенной со вторым нагревателем. Опять, как упомянуто выше в контексте других вариантов, выработанный посредством сжигания в горелке отходящий газ может (частично) подаваться во вторичную ATR в качестве дополнительного источника CO_2 .

Некоторыми преимуществами и выгодами этих вторых вариантов являются:

благодаря печи предварительного реформинга с приблизительно 2-25% конверсией метана (эквивалент) более высокий восстановительный потенциал сингаза, чем только с ATR,

тогда более высокий потенциал восстановления CO_2 только с ATR вследствие повышенного использования доменного газа,

более низкая потребность в O_2 чем только с ATR печью реформинга,

разделение предварительного реформинга, нагревания и вторичного реформинга позволяет более просто разрабатывать и эксплуатировать каждый шаг в отношении осаждения углерода, отравления катализатора, и это прежде всего также принимая во внимание изменение состава доменного газа как функции работы доменной печи.

Дополнительно, третий поток доменного газа может, предпочтительно, подаваться к печи предварительного реформинга на шаге (Б), предпочтительно после того как третий поток доменного газа был нагрет, например, в первом нагревателе и/или подвергнут шагу охлаждения газа и/или очистки, предпочтительно шагу удаления пара, шагу удаления пыли, шагу удаления металлов, шагу удаления HCl и/или шагу удаления сернистых компонентов.

Было установлено, что может быть желательным или выгодным для работы доменной печи добавлять водород, так называемый возобновляемый или "зеленый" водород, в подходящем месте технологического потока. В случае использования печи сухого реформинга в качестве печи вторичного реформинга водород, предпочтительно, добавляют к первому потоку частично реформированного сингаза, к первому потоку доменного газа и/или к нагретому питающему углеродом потоку перед шагом (Г). В случае печи автотермического реформинга в качестве печи вторичного реформинга водород, наиболее предпочтительно, добавляют ко второму потоку сингаза перед шагом (Д). В этом контексте возобновляемый или "зеленый" водород является водородом (H_2), вырабатываемым посредством электролиза воды с использованием электроэнергии, поступающей из возобновляемых источников, таких как ветер, солнечная

энергия и гидроэнергия.

В случае интегрирования водорода в процесс он, предпочтительно, будет предварительно нагреваться. Предварительное нагревание водорода обычно реализуют в соответствующих теплообменниках, таких как четвертый теплообменник или теплообменник, который в идеале интегрируется в технологическую линию отходящего газа других теплообменников.

Перед направлением в дымовую трубу нагревающая среда или отходящий газ, например покидающий первый нагреватель, все еще содержит тепловую энергию, которая может быть использована в настоящем способе и в установке доменной печи. В предпочтительных вариантах осуществления поток нагревающей среды или отходящий газ проходит в предварительный нагреватель для предварительного нагревания первого, второго и/или третьего потока доменного газа, воздуха, обогащенного кислородом воздуха или кислорода для использования в горелке; и/или потока(-ов) водорода (в последнем случае предварительный нагреватель является четвертым упомянутым выше нагревателем).

Альтернативно или дополнительно, поток нагревающей среды или отходящий газ факультативно дополнительно подвергают одной или более обработкам выпуска, направленным, например, на дальнейшее снижение CO_2 следа настоящего способа. Это может быть достигнуто посредством улавливания и утилизации углерода (CCU), например, посредством использования отходящего газа (или его части) в печи вторичного реформинга, как описано выше, как такового или после обработки в установке удаления CO_2 с использованием адсорбции с перепадом давления (PSA), адсорбции с перепадом вакуума (VSA) или адсорбции с перепадом вакуума и давления (VPSA), обработки амином (так называемой аминовой очистки), в которых получается обогащенный CO_2 поток и обедненный CO_2 поток, причем последний направляют в дымовую трубу. Альтернативно, снижение CO_2 следа может быть достигнуто посредством захвата углерода и хранения (CCS), причем CO_2 захватывается как в случае CCU, но после этого хранится так, что он не поступает в атмосферу, а обычно в подземную геологическую формацию.

Описанный ранее способ является особо интересным, если кислород или обогащенный кислородом воздух используют в качестве кислорода для сжигания для горелки вследствие более низкой концентрации азота в отходящем газе.

В особо предпочтительных вариантах осуществления полученный на шаге (Г) поток сингаза имеет химический состав, удовлетворяющий следующим ограничениям:

$\text{CH}_4 < 5$ об. % и

$(\text{CO} + \text{H}_2)/(\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2) > 7$.

Выражение "в гидродинамическом соединении" означает, что два устройства соединены каналами или трубами так, что текучая среда, например газ, может течь от одного устройства к другому. Как уже говорилось выше, выражение "в гидродинамическом нагревательном соединении" означает, что два устройства соединены посредством каналов или труб так, что нагревающая среда, например газ, может течь от одного устройства к другому. Направление потока в гидродинамическом нагревательном соединении для тепловой интеграции противоположно направлению гидродинамического соединения, означая, что тепловой поток находится в противоточном потоке относительно технологических потоков. Эти выражения включают в себя средства для изменения этого течения, например клапаны или вентиляторы для регулирования массового расхода, компрессоры для регулирования давления и т.д., а также управляющие элементы, такие как датчики, исполнительные механизмы и т.д., необходимые или желательные для соответствующего управления работой доменной печи в целом или работой каждого из элементов в установке доменной печи.

Выражение "углеводородный газ" в контексте настоящего изобретения означает любой углеводород, имеющий до десяти атомов углерода на молекулу, предпочтительно, до шести атомов углерода, который находится в газообразном состоянии при температурах первого нагревателя, то есть имеющий температуру кипения ниже 200°C , предпочтительно ниже 100°C . Таким образом, такой углеводородный газ включает в себя природный газ, то есть встречающуюся в природе смесь углеводородных газов ископаемого происхождения, состоящую главным образом из метана и включающую в себя переменные количества других высших алканов, а также газов с подобными углеводородными компонентами, такими как лигроин, например легкий лигроин или даже фракции тяжелого лигроина, биогаз, коксовый газ и т.д.

Используемое здесь выражение "поток пара" означает поток, содержащий пар, то есть газообразную воду, в значительных количествах, например обычно более чем 50 мол.%, предпочтительно более чем 80 мол.%, наиболее предпочтительно более чем 90 мол.%. Такой поток пара может также содержать инертные компоненты, такие как N_2 , а также небольшие количества газообразных компонентов, таких как CO_2 , CO или H_2 . Однако, предпочтительно, поток пара не содержит более чем 10% N_2 .

"Питание шахты", "питание шахты доменной печи" или "газоподводы в шахте" подразумевают ввод материала выше уровня горячего дутья (фурмы), то есть выше заплечиков доменной печи, предпочтительно в зоне восстановления газ-твердое тело железной руды выше когезионной зоны.

Выражение "сухой реформинг" в контексте настоящего изобретения включает в себя не только реакцию метана с CO_2 , но и скорее реакцию метана с паром, остающемся в выходящем из печи предварительного реформинга сингазе и в специфическом содержании пара в доменном газе.

"Приблизительно" в настоящем контексте означает, что данное цифровое значение перекрывает

диапазон значений от -10% до +10% цифрового значения, предпочтительно в диапазон от -5% до +5% цифрового значения.

Краткое описание чертежей

Предпочтительные варианты изобретения будут теперь описаны в качестве примера со ссылкой на соответствующие чертежи, на которых:

фиг. 1 является схематической схемой технологического процесса осуществления первого варианта установки доменной печи, выполненной для обеспечения осуществления настоящего способа эксплуатации доменной печи, и

фиг. 2 является схематической схемой технологического процесса осуществления второго варианта установки доменной печи, выполненной для обеспечения осуществления настоящего способа эксплуатации доменной печи.

Другие подробности и преимущества настоящего изобретения будут понятны из следующего подробного описания нескольких не ограничивающих вариантов осуществления со ссылкой на прилагаемые чертежи.

Описание предпочтительных вариантов осуществления

Требования к сингазу для его использования в доменной печи отличаются от требований для применений в других отраслях промышленности.

Главными требованиями для использования сингаза в доменной печи являются:

Степень восстановления и уровень температуры сингаза:

В других отраслях промышленности сингаз обычно вырабатывается и затем охлаждается для отделения избытка пара из сингаза. В связи с этим только охлажденный газ используется в расположенных ниже по потоку процессах. Поэтому в существующих промышленных применениях, кроме сталелитейной промышленности, высокая степень восстановления не важна. Однако в сталелитейной промышленности высокая степень восстановления, предпочтительно выше 7, является предпочтительной и важной, поскольку степень восстановления определяется как: $(cCO + cH_2)/cH_2O + cCO_2$.

Кроме того, высокие температуры сингаза благоприятно совместимы с уровнем температуры, требуемым для введения в шахту, чтобы сделать возможной максимальную термическую эффективность. Таким образом, температура должна быть порядка 900-1100°C, чтобы сделать возможным введение в шахту над когезионной зоной доменной печи.

Отношение H_2/CO .

В других отраслях промышленности, за исключением сталелитейной промышленности, сингаз используется для специфических применений, таких как производство чистого водорода, аммиака или производства других химических компонентов. В связи с этим обычно требуется специфическое отношение водорода к CO.

По сравнению с этим целью использования сингаза в доменной печи является восстановление руды, что достигается посредством обоих восстановительных компонентов, CO и водорода. В то время как существует различие между восстановлением руды с помощью CO или водорода, это различие является относительно неосуществленным, учитывая, что сингаз является только частью используемого в доменной печи восстановительного газа.

Уровень давления.

В то время как в других отраслях промышленности уровень давления в печах реформинга относительно высокий, главным образом выше 20 бар абсолютных или даже выше 40 бар абсолютных, в применении к доменной печи требуемый уровень давления составляет только 2-6 бар абсолютных. Это оказывает существенное влияние на рабочие условия и пределы для оборудования для реформинга, такие как образование углерода и равновесная конверсия. В то время как более низкий уровень давления будет способствовать более высокой конверсии метана при том же самом уровне температуры, это, к сожалению, также способствует образованию углерода, по причине чего использование печи предварительного реформинга является особо предпочтительным при производстве сингаза для его использования в доменной печи.

Выбросы CO_2 .

Кокс является главным источником энергии при производстве чугуна в доменной печи. С экономической и связанной с CO_2 точки зрения это наименее благоприятный источник энергии. Широко используется замена кокса другими источниками энергии, в большинстве случаев вводимыми на уровне фурм. В силу соображений стоимости главным образом вводится порошкообразный уголь, однако в странах с низкой ценой на природный газ используется этот источник энергии. Часто в доменную печь вводятся остатки наподобие пластмассовых отходов.

Эти вспомогательные топлива могут оказывать положительное влияние на выбросы CO_2 из доменной печи при производстве стали, между тем их использование ограничивается по технологическим причинам и очень часто эти ограничения в настоящее время уже достигнуты. Доменная печь вырабатывает доменный газ (BFG), который содержит приблизительно до 40% подводимой к доменной печи энергии. Этот газ обычно используется для покрытия внутренних потребностей в тепле сталеплавильного завода, а также для выработки электроэнергии. С целью уменьшения CO_2 следа основанного на доменной печи

производства стали важной стратегией является, таким образом, использование такого BFG для металлургических целей и применение других энергий с малыми выбросами CO₂, таких как зеленая электрическая энергия для покрытия остающихся потребностей в энергии сталелитейного завода.

Поэтому производство синтетического газа, помимо использования образующего малые количества CO₂ углеводорода, должно также включать в себя насколько возможно доменный газ для улучшения потенциала снижения выбросов CO₂ при производстве чугуна в доменной печи.

Добавление водорода.

Если желательно или выгодно, к способу может быть добавлен поток водорода, предпочтительно возобновляемого водорода, прежде всего, перед печью предварительного реформинга и/или печью вторичного реформинга с уменьшением осаждения углерода, в связи с этим поток водорода может быть добавлен перед или после первого нагревателя или перед или после второго нагревателя. Перед добавлением может быть выгодным нагревать поток водорода, предпочтительно, с использованием другого теплообменника, установленного в гидродинамических нагревательных соединениях интегрирующих теплоканалов, например в местоположениях А (если применимо), В, С или D.

Загрязнения.

В силу использования угля и кокса, а также часто дешевых вторичных топлив, таких как пластмассовые отходы или смола для использования в доменной печи, типичные и вредные химические компоненты, такие как содержащие хлор и серу молекулы, являются частью доменного газа. При использовании этого газа для производства сингаза эти компоненты могут приводить к быстрому отравлению катализатора реформинга, если он не подвергается должным образом обработке.

Реформинг и вспомогательные технологии для производства сингаза:

Реакции реформинга.

Реформинг углеводородного газа, такой как реформинг природного газа, в принципе может быть выполнен посредством следующих реакций:

Частичное окисление в присутствии пара: $\text{CH}_4 + 1/2\text{O}_2 = \text{CO} + \text{H}_2$.

Эта реакция является сильно экзотермической, и выделяется большое количество энергии.

Паровой реформинг в присутствии пара: $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} = \text{CO} + 3\text{H}_2$.

Сухой реформинг в присутствии CO₂: $\text{CH}_4 + \text{CO}_2 = 2\text{CO} + 2\text{H}_2$.

Эти две последние реакции являются сильно эндотермическими и требуют много тепла.

Технологии реформинга и их адаптации к вводу в шахту доменной печи.

Для технологий ATR реформинга термодинамическое равновесие при требуемом наилучшем восстановительном потенциале газа приводит к температуре сингаза, которая еще слишком низкая для его подачи в шахту. Фактически повышение температуры дополнительно приводит к более высоким требованиям к кислороду и пониженному восстановительному потенциалу сингаза, что не является благоприятным для предназначенного использования.

Предварительное нагревание подаваемого газа.

Изобретатели установили, что для улучшения ситуации может быть применено предварительное нагревание вводимого газа. Термодинамический состав сингаза при его оптимуме может быть получен посредством предварительного нагревания подаваемых газов до температуры между 400 и 550°C. Действительно, с таким предварительным нагреванием может быть не только увеличен восстановительный потенциал сингаза, но также может быть получена требуемая температура сингаза от примерно 900 до 1100°C.

Предварительный реформинг.

При использовании предварительно реформированного газа или частично реформированного газа, который был реформирован при средних температурах до 600°C, предпочтительно между 430 и 500°C, и наиболее предпочтительно между 450 и 480°C, восстановительный потенциал газа из второй печи реформинга может быть дополнительно улучшен. Конверсии метана примерно от 2 до 18% могут быть достигнуты, облегчая требуемую работу для печи вторичного реформинга. Другими преимуществами являются удаление высших углеводородов перед входом в печь вторичного реформинга и, таким образом, уменьшение возможного образования сажи. В дополнение катализатор в реакторе предварительного реформинга обычно является типом катализатора с большой поверхностью, который может выдерживать более высокие концентрации яда, чем используемый в печи вторичного реформинга катализатор. Кроме того, сера будет осажаться на катализаторе печи предварительного реформинга, защищая тем самым катализатор печи вторичного реформинга от отравления серой.

При использовании технологии ATR в качестве печи вторичного реформинга, предварительный реформинг метана приводит к значительному снижению энергетической потребности для этого второго шага процесса, позволяя снизить расход кислорода. Это, в свою очередь, значительно повышает восстановительный потенциал выработанного в печи вторичного реформинга синтетического газа.

Дополнительно, предварительный реформинг будет, предпочтительно, реализован с побочным снабжением энергией. Источником тепла может быть сжигание доменного газа в горелке с дальнейшим улучшением баланса CO₂ процесса в комбинации с производством стали.

Нагревание частично реформированного газа.

Высшие углеводороды имеют тенденцию к тепловым реакциям, приводящим к ненасыщенным компонентам и углероду. Это может приводить к углеродным отложениям в теплообменниках, если не-реформированный газ нагревается до относительно высоких температур, типичным образом между 700 и 1000°C. Использование предварительно реформированного газа, в котором высшие углеводороды конвертированы, делает возможным нагревание до высоких температур.

При использовании технологии ATR в качестве печи вторичного реформинга высокая входная температура предварительно реформированного газа приводит к значительному снижению энергетической потребности для этого шага процесса, что позволяет значительно снизить расход кислорода.

Дополнительно, это помогает значительно повысить восстановительный потенциал вырабатываемого в печи вторичного реформинга синтетического газа.

Дополнительно, предварительное нагревание будет, предпочтительно, реализовано с косвенным нагреванием. Источником тепла может быть сжигание доменного газа, что приводит к дальнейшему улучшению баланса CO₂ в отношении процесса в комбинации с производством стали.

Ниже, в связи с прилагаемыми чертежами показаны два разных варианта способа эксплуатации доменной печи и установки доменной печи согласно изобретению с использованием или сухого реформинга или ATR в качестве печи вторичного реформинга с соответствующими вспомогательными технологиями.

На фиг. 1 показано осуществление первого варианта настоящего способа эксплуатации доменной печи, включающего в себя ввод в шахту потока сингаза при температурах от 900 до 1100°C, то есть около 1000°C и при давлении от 1 до 6 бар избыточного давления.

Этот поток сингаза был произведен исходя из природного газа (NG), факультативно очищенного от загрязнений, например, приблизительно 100 нм³/ч, и пара, например, приблизительно 50 нм³/ч, которые были нагреты в первом нагревателе перед или после смешения, предпочтительно в первом теплообменнике до температуры приблизительно от 400°C до 550°C перед частичным реформированием в печи предварительного реформинга, предпочтительно в печи предварительного парового реформинга теплообменного типа, где от 2 до 18% содержащегося в природном газе метана конвертируется в CO и H₂, образуя посредством этого поток частично реформированного сингаза.

Этот поток частично реформированного сингаза затем смешивают с первым потоком доменного газа, например, приблизительно от 300 до 400 нм³/ч при давлении примерно от 1,5 до 6,5 бар избыточного давления или перед или после его нагревания во втором нагревателе, предпочтительно, при температурах от примерно 500 до 800°C, более предпочтительно приблизительно от 600°C до 700°C, для образования нагретого питающего углеродом потока. Доменный газ обычно сначала охлаждают для уменьшения содержания пара, очищают, прежде всего, посредством удаления пыли и/или HCl и/или металлических соединений и/или сернистых соединений. В предпочтительных вариантах осуществления этот первый поток доменного газа сначала предварительно нагревают, например, в одном или нескольких местоположениях A, B, C или D.

Дополнительно, третий поток доменного газа, предпочтительно, может быть подан к печи предварительного реформинга на шаге (B), предпочтительно, после того как третий поток доменного газа был нагрет в первом нагревателе и/или подвернут шагу охлаждения газа и/или очистки, шагу удаления HCl и/или шагу удаления сернистых соединений. Снова в предпочтительных вариантах осуществления этот третий поток доменного газа может быть сначала предварительно нагрет, например, в одном или нескольких местоположениях A, B, C или D.

Основной реформинг выполняют в печи вторичного реформинга, которая в данном случае является так называемой печью сухого реформинга. Требуемое для реакции сухого реформинга тепло обеспечивают посредством горелки, эксплуатируемой со вторым потоком доменного газа, который зависит от температуры предварительного нагревания и состава потока газа, например, примерно от 350 до 600 нм³/ч, как например, примерно 510 нм³/ч, из верхней части доменной печи. Эту горелку могут питать воздухом, обогащенным кислородом воздухом или даже кислородом, прежде всего, если отходящий газ от горелки повторно вводится в печь сухого реформинга в качестве источника CO₂.

Покидающий печь вторичного сухого реформинга поток сингаза, например, примерно от 550 до 700 нм³/ч, как например, примерно 640 нм³/ч, имеет температуры примерно 1000°C и давление примерно от 1 до 6 бар избыточного давления и после этого напрямую вводится в непосредственно в шахту доменной печи.

Предпочтительно, остаточное тепло из печи вторичного реформинга получают в виде горячего отходящего газа как, например, (часть) отходящего газа от ее горелки и может быть использовано для нагревания второго теплообменника, оставшееся тепло в свою очередь используют для нагревания печи предварительного реформинга и в дальнейшем первого теплообменника, формируя посредством этого энергоэффективный противоточный поток концепции тепловой интеграции. Покидая первый теплообменник, газ может быть выпущен через дымовую трубу или далее обработан, например, чтобы сделать его пригодным для захвата и хранения углерода или захвата и утилизации углерода и т.п. В предпочтительных вариантах осуществления покидающий первый нагреватель отходящий газ может быть пропу-

шен через другой теплообменник, например, для предварительного нагрева второго потока доменного газа и/или воздуха, обогащенного кислородом воздуха или кислорода, используемых в горелке печи вторичного реформинга.

На фиг. 2 показано осуществление второго варианта настоящего способа эксплуатации доменной печи, включающего в себя ввод в шахту потока сингаза при температурах от 900 до 1100°C, то есть около 1000°C и при давлении от 1 до 6 бар избыточного давления.

Этот поток сингаза был произведен исходя из природного газа (NG), факультативно очищенного от загрязнений, например, приблизительно 100 нм³/ч, и пара, например, приблизительно 50 нм³/ч, которые были нагреты в первом нагревателе перед или после смешения, предпочтительно, в первом теплообменнике до температуры приблизительно от 400°C до 550°C перед частичным реформированием в печи предварительного реформинга, предпочтительно, в печи предварительного парового реформинга теплообменного типа, где от 2 до 25% содержащегося в природном газе метана конвертируется в СО и Н₂, образуя посредством этого поток частично реформированного сингаза.

Этот поток частично реформированного сингаза затем смешивают с первым потоком доменного газа, например, приблизительно 60 нм³/ч при давлении приблизительно от 1,5 до 6,5 бар избыточного давления или перед или после его нагрева во втором нагревателе, предпочтительно, при температурах от приблизительно 750 до 950°C, предпочтительно, приблизительно от 800°C до 900°C для образования нагретого питающего углеродом потока. В предпочтительных вариантах осуществления этот первый поток доменного газа могут сначала предварительно нагревать, например, в одном или нескольких местоположениях А, В, С или D. Как описано выше, доменный газ обычно сначала охлаждают и/или очищают, прежде всего, посредством удаления пара, металлов, сернистых компонентов и/или HCl.

Главный реформинг выполняют в печи вторичного реформинга, которая в этом случае является печью автотермического реформинга. Требуемое для второго нагревателя тепло могут обеспечивать посредством присоединенной к нему горелки и эксплуатировать со вторым потоком доменного газа, например, приблизительно 230 нм³/ч из верхней части доменной печи. Эту горелку могут питать посредством воздуха, обогащенного кислородом воздуха или даже кислорода, прежде всего, если отходящий из горелки газ вводят повторно в печь автотермического реформинга. В печи автотермического реформинга кислород нужен для экзотермической реакции окисления. Поэтому кислород, например, приблизительно 40 нм³/ч вводят в печь автотермического реформинга, факультативно предварительно нагретый, например, в одном или нескольких местоположениях В, С или D.

Покидающий печь вторичного автотермического реформинга сингаз, например, приблизительно 340 нм³/ч имеет температура приблизительно 1000°C и давление приблизительно от 1 до 6 бар абсолютных и после этого вводится непосредственно в шахту шахтной печи.

Предпочтительно, остаточное тепло из второго теплообменника получается в виде горячего газа, например отходящего газа из его горелки, может быть использовано для нагрева печи предварительного реформинга, оставшееся тепло затем в свою очередь используют для нагрева первого теплообменника, формируя посредством этого энергоэффективный противоточный поток концепции тепловой интеграции. Покидая первый теплообменник, газ может быть выпущен через дымовую трубу или далее обработан, например, чтобы сделать его пригодным для захвата и хранения углерода или захвата и утилизации углерода и т.п. В предпочтительных вариантах осуществления покидающий первый нагреватель отходящий газ может быть пропущен через другой теплообменник, например, для предварительного нагрева второго потока доменного газа и/или воздуха, обогащенного кислородом воздуха или кислорода, используемых в горелке печи вторичного реформинга.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ эксплуатации доменной печи для производства передельного чугуна, включающий в себя шаги:

(А) нагревание потока углеводородного газа и потока пара в первом нагревателе для обеспечения нагретого потока углеводородного газа и пара,

(Б) подача и частичный реформинг нагретого потока углеводородного газа и пара в печи предварительного реформинга для обеспечения потока частично реформированного сингаза,

(В) нагревание первого потока доменного газа из доменной печи и потока частично реформированного сингаза во втором нагревателе перед или после их совместного смешивания для обеспечения нагретого питающего углеродом потока,

(Г) реформирование нагретого питающего углеродом потока во второй печи реформинга для обеспечения второго потока сингаза, и

(Д) подача второго потока сингаза к шахте доменной печи.

2. Способ по п.1, причем температура нагретого потока углеводородного газа и пара находится между 300 и 600°C, предпочтительно между 400 и 500°C.

3. Способ по п.1 или п.2, причем от 2 до 25%, предпочтительно от 5 до 18%, содержащегося в углеводородном газе метана конвертируют в СО и Н₂, предпочтительно, при рабочих температурах между

400 и 550°C и давлениях между 1 и 4 бар избыточных.

4. Способ по п.1 или п.2, причем от 2 до 25%, предпочтительно от 5 до 18%, содержащегося в углеводородном газе метана конвертируют в CO и H₂, и причем выше по потоку или ниже по потоку относительно первого нагревателя перед шагом (Б) добавляют поток H₂, и рабочая температура печи предварительного реформинга составляет до 700°C, причем поток H₂, предпочтительно, был предварительно нагрет.

5. Способ по одному из пп.1-4, причем первый нагреватель и второй нагреватель выполнены в виде теплообменников, и нагревающую среду из второго нагревателя используют для нагревания расположенного выше по потоку первого нагревателя.

6. Способ по одному из пп.1-4, причем первый нагреватель и второй нагреватель выполнены в виде теплообменников, и частичный реформинг на шаге (Б) выполняют в печи реформинга теплообменного типа, причем нагревающую среду из второго нагревателя используют для нагревания печи реформинга теплообменного типа и первого нагревателя.

7. Способ по одному из пп.1-6, причем реформинг на шаге (Г) выполняют в виде процесса сухого реформинга.

8. Способ по п.7, причем температура нагретого питающего углеродом потока после шага (В) составляет между 500 и 800°C, предпочтительно между 600 и 750°C.

9. Способ по п.7 или п.8, причем шаг (Г) также включает в себя нагревание печи сухого реформинга, предпочтительно посредством сжигания второго потока доменного газа в горелке с воздухом, обогащенным кислородом воздухом или кислородом, и дополнительно получение потока горячего отходящего газа.

10. Способ по п.9, причем тепло из горячего отходящего газа используют для нагревания расположенного выше по потоку второго нагревателя и/или печи предварительного реформинга и/или первого нагревателя, предпочтительно последовательно расположенного выше по потоку второго нагревателя, печи предварительного реформинга и первого нагревателя.

11. Способ по одному из пп.1-6, причем реформирование на шаге (Г) выполняют в печи автотермического реформинга с добавлением кислорода.

12. Способ по п.11, причем температура нагретого питающего углеродом потока после шага (В) составляет между 750 и 950°C, предпочтительно между 800 и 900°C.

13. Способ по п.11 или п.12, причем шаг (Г) дополнительно включает в себя нагревание второго нагревателя посредством сжигания второго потока доменного газа в горелке с воздухом, обогащенным кислородом воздухом или кислородом, и дополнительно получение потока горячего отходящего газа.

14. Способ по п.13, причем тепло из горячего отходящего газа используют для нагревания расположенной выше по потоку печи предварительного реформинга и/или первого нагревателя, предпочтительно последовательно расположенной выше по потоку печи предварительного реформинга и первого нагревателя.

15. Способ по одному из пп.1-14, причем к первому потоку частично реформированного сингаза перед шагом (В), к первому потоку доменного газа перед шагом (В) и/или к нагретому питающему углеродом потоку перед шагом (Г) и/или ко второму потоку сингаза перед шагом (Д) добавляют поток H₂, причем этот поток H₂, предпочтительно, был нагрет.

16. Способ по одному из пп.1-15, причем первый поток доменного газа также подвергают шагу охлаждения и/или очистки газа, предпочтительно шагу удаления пара, шагу удаления пыли, шагу удаления металлов, шагу удаления HCl и/или шагу удаления сернистых компонентов, перед смешением с потоком частично реформированного сингаза.

17. Способ по одному из пп.1-16, причем к печи предварительного реформинга на шаге (Б) дополнительно подают третий поток доменного газа, предпочтительно после того как третий поток доменного газа был нагрет в первом нагревателе и/или подвергнут шагу охлаждения и/или очистки газа, предпочтительно шагу удаления пара, шагу удаления пыли, шагу удаления металлов, шагу удаления HCl и/или шагу удаления сернистых компонентов.

18. Способ по одному из пп.1-17, причем любой производимый в способе отходящий газ подвергают одной или более обработке выпуска перед выпуском в атмосферу, причем обработки выпуска выбирают из улавливания и утилизации углерода (CCU) и захвата углерода и хранения (CCS), причем захват углерода, предпочтительно, выполняют в устройстве удаления CO₂ с использованием адсорбции с перепадом давления (PSA), адсорбции с перепадом вакуума (VSA) или адсорбции с перепадом вакуума и давления (VPSA), обработки газа амином (аминовой очистки).

19. Установка доменной печи для производства передельного чугуна, включающая в себя доменную печь с газоподводами в шахте, выполненной для подачи второго потока сингаза в доменную печь, причем доменная печь также включает в себя первый нагреватель в гидродинамическом соединении с источником потока углеводородного газа и источником потока пара, причем первый нагреватель выполнен для нагревания потока углеводородного газа и потока пара для обеспечения нагретого потока углеводородного газа и пара, и причем первый нагреватель находится в гидродинамическом соединении ниже по потоку с входом печи предварительного реформинга, причем печь предварительного реформинга

выполнена для частичного реформинга нагретого потока углеводородного газа и пара для обеспечения потока частично реформированного сингаза, второй нагреватель в гидродинамическом соединении с верхней частью доменной печи, выполненной для подвода первого потока доменного газа, причем второй нагреватель выполнен для нагревания первого потока доменного газа и потока частично реформированного сингаза либо отдельно, либо в смеси для обеспечения нагретого питающего углеродом потока, и печь вторичного реформинга в гидродинамическом соединении со вторым нагревателем, причем печь вторичного реформинга выполнена для преобразования нагретого питающего углеродом потока во второй поток сингаза и находится в гидродинамическом соединении ниже по потоку с газоподводами в шахте доменной печи.

20. Установка доменной печи по п.19, причем установка доменной печи выполнена для осуществления способа эксплуатации доменной печи для производства передельного чугуна по одному из пп.1-18.

21. Установка доменной печи по п.19 или п.20, причем первый нагреватель и второй нагреватель выполнены в виде теплообменников, и второй теплообменник находится в гидродинамическом нагревательном соединении с расположенным выше по потоку первым нагревателем.

22. Установка доменной печи по п.19 или п.20, причем первый нагреватель и второй нагреватель выполнены в виде теплообменников, и печь предварительного реформинга является печью реформинга теплообменного типа, причем второй нагреватель находится в гидродинамическом нагревательном соединении с печью реформинга теплообменного типа, и причем печь реформинга теплообменного типа находится в гидродинамическом нагревательном соединении с первым нагревателем.

23. Установка доменной печи по пп.19-22, причем первый нагреватель и/или печь предварительного реформинга находятся в гидродинамическом соединении с источником потока H_2 .

24. Установка доменной печи по пп.19-23, причем печь вторичного реформинга является печью сухого реформинга.

25. Установка доменной печи по п.24, причем печь сухого реформинга включает в себя горелку в гидродинамическом соединении с верхней частью доменной печи, выполненной для подвода второго потока доменного газа к горелке.

26. Установка доменной печи по п.24 или п.25, причем печь сухого реформинга находится в гидродинамическом нагревательном соединении с расположенным выше по потоку вторым нагревателем.

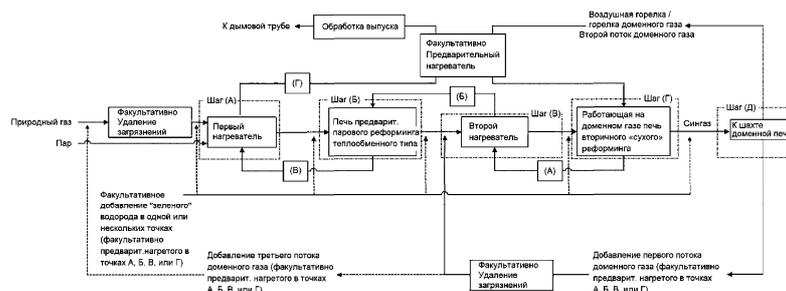
27. Установка доменной печи по пп.19-23, причем печь вторичного реформинга является печью автотермического реформинга, находящейся в гидродинамическом соединении с источником кислорода.

28. Установка доменной печи по п.27, причем второй нагреватель включает в себя нагреватель в гидродинамическом соединении с верхней частью доменной печи, выполненной для подвода второго потока доменного газа к горелке.

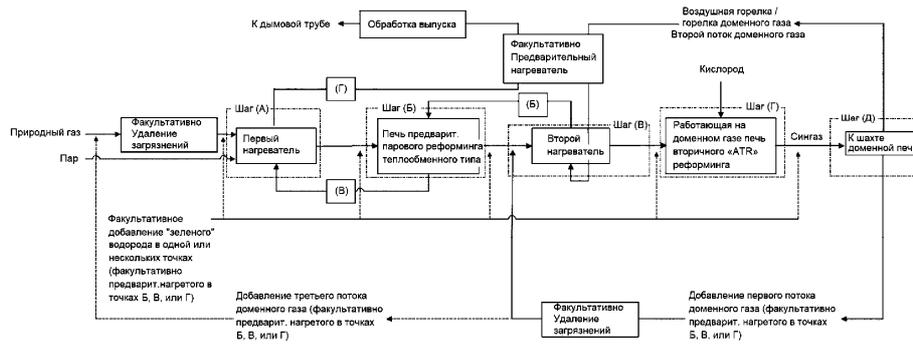
29. Установка доменной печи по пп.19-28, причем второй нагреватель и/или печь вторичного реформинга и/или газоподводы в шахте шахтной печи находятся в гидродинамическом соединении с источником потока H_2 , причем гидродинамическое соединение(-я), предпочтительно, включают в себя четвертый нагреватель для нагревания потока H_2 .

30. Установка доменной печи по пп.19-29, причем гидродинамическое соединение с верхней частью доменной печи, выполненной для подвода первого потока доменного газа, также включает в себя устройство охлаждения газа или очистки, предпочтительно устройство удаления пара, устройство удаления пыли, устройство удаления металлов, устройство удаления HCl и/или устройство удаления сернистых компонентов.

31. Установка доменной печи по пп.19-30, причем вход печи предварительного реформинга дополнительно находится в гидродинамическом соединении с верхней частью доменной печи, выполненной для подвода третьего потока доменного газа к печи предварительного реформинга, причем гидродинамическое соединение для третьего потока доменного газа, предпочтительно, находится в гидродинамическом нагревательном соединении с первым нагревателем.



Фиг. 1



Фиг. 2