

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **040980**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2022.08.25**

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

(21) Номер заявки  
**202193066**

(22) Дата подачи заявки  
**2020.05.13**

---

(54) **СПОСОБ ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПЕЧИ**

---

(31) **LU101210**

(32) **2019.05.14**

(33) **LU**

(43) **2022.03.21**

(86) **PCT/EP2020/063342**

(87) **WO 2020/229545 2020.11.19**

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

(72) Изобретатель:  
**Кастаньола Кристиано, Микелетти  
Лоренцо (IT)**

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

(56) **WO-A2-2016048709  
JP-A-2001240906  
GB-A-2513185  
DE-A1-102013015019**

(57) Изобретение относится к способу эксплуатации металлургической печи (10). Для предоставления упрощенного способа получения синтез-газа для металлургической печи изобретение предлагает, что способ включает в себя осуществление процесса сгорания за пределами металлургической печи (10) путем сжигания углеродсодержащего материала (41) вместе с обогащенным кислородом газом (40) для получения отходящего газа (42), причем отходящий газ (42) является газом, содержащим CO<sub>2</sub>, смешивание отходящего газа (42), имеющего при этом повышенную, вызванную сгоранием температуру в результате процесса сгорания, с содержащим углеводороды топливным газом (43) для получения первой газовой смеси (44) с температурой больше температуры риформинга, необходимой для процесса риформинга, предпочтительно процесса сухого риформинга, выполнение процесса риформинга первой газовой смеси (44), получая тем самым синтез-газ (45), содержащий CO и H<sub>2</sub>, причем процесс риформинга осуществляют некаталитическим образом, и подачу синтез-газа (45) в металлургическую печь (10).

**B1**

**040980**

**040980**

**B1**

### Область техники

Изобретение относится к способу эксплуатации металлургической печи.

### Уровень техники

Несмотря на альтернативные способы, такие как плавка скрапа или прямое восстановление железа внутри электродуговой печи, плавка в доменной печи на сегодня все еще представляет собой наиболее широко используемый процесс для производства стали. Одной из проблем установки доменной печи является доменный газ, выходящий из доменной печи. Поскольку этот газ выходит из доменной печи на ее колошнике, то его обычно обозначают также как "колошниковый газ". При том, что на первых порах этот доменный газ позволительно было просто сбрасывать в атмосферу, это уже давно считается непроизводительным расходом ресурсов и чрезмерной нагрузкой на окружающую среду. Одним из компонентов в составе доменного газа является диоксид углерода  $\text{CO}_2$ , который вреден для окружающей среды и в большинстве случаев не пригоден для промышленного использования. Фактически, в отходящем от доменной печи доменном газе, как правило, содержится концентрация  $\text{CO}_2$  порядка от 20 до 30%. Кроме этого, в доменном газе обычно содержатся значительные количества  $\text{N}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{H}_2$ . При этом содержание  $\text{N}_2$  в значительной мере зависит от того, используют ли во время плавки в доменной печи горячий воздух или (чистый) кислород.

Для уменьшения выбросов  $\text{CO}_2$  было предложено осуществлять конверсию доменного газа для получения синтез-газа (также обозначаемого как сингаз), который может использоваться для различных промышленных целей. В соответствии с наиболее распространенным процессом риформинга доменный газ смешивают с топливным газом, который содержит по меньшей мере один углеводород (например,  $\text{CH}_4$  и, возможно, углеводороды с большим молекулярным весом). По ходу реакции так называемой сухой конверсии углеводороды из состава топливного газа вступают в реакцию с  $\text{CO}_2$  в составе доменного газа с получением  $\text{H}_2$  и  $\text{CO}$ . По ходу реакции так называемой мокрой конверсии углеводороды вступают в реакцию с  $\text{H}_2\text{O}$  в составе доменного газа с получением также  $\text{H}_2$  и  $\text{CO}$ . И в том и в другом случае получают синтез-газ, который имеет существенно повышенную концентрацию  $\text{H}_2$  и  $\text{CO}$ . Также было предложено использовать этот синтез-газ в качестве восстановительного газа, который можно направлять на повторный цикл, то есть повторно вводить в доменную печь. В соответствии с одним процессом синтез-газ подают в доменную печь вместе с обогащенным кислородом горячим дутьем (то есть, горячим воздухом) и пылеугольным топливом. Этот тип печи также может быть обозначен как "доменная печь на сингазе".

Другой возможностью для использования синтез-газа является (в контексте поставленной цели) увеличение расхода вспомогательного топлива (например, пылеугольного топлива), поступающего в доменную печь на уровне фурменного пояса. При этом требуется увеличение содержания кислорода в горячем дутье и, в связи с этим, уменьшение расхода горячего дутья. Это, в свою очередь, могло бы привести к нежелательному уменьшению температуры колошниковых газов. Этот эффект может быть компенсирован за счет вдувания горячего газа, прежде всего горячего восстановительного газа, на уровне шахты печи. Как описано выше, для этой цели может быть использован синтез-газ. Так или иначе, при том, что производство синтез-газа с использованием, например, доменного газа может быть обеспечено, как это описано, например, в WO 2019/057930 A1, процесс риформинга представляет собой эндотермическую реакцию и, следовательно, требует значительного нагрева доменного газа и/или топливного газа. В некоторых случаях требуется катализатор для поддержки процесса риформинга. Нагрев усложняет процесс риформинга, а также обуславливает необходимость расхода топлива для горелок или т. п., тем самым частично нивелируя восстановление  $\text{CO}_2$ , достигаемое за счет направления колошниковых газов на повторный цикл.

### Техническая задача

Таким образом, цель настоящего изобретения заключается в предоставлении упрощенного способа получения синтез-газа для металлургической печи. Эта цель достигнута с помощью способа в соответствии с п.1 формулы изобретения.

### Общее описание изобретения

Изобретение предусматривает способ эксплуатации металлургической печи. На первом шаге осуществляют процесс сгорания за пределами металлургической печи путем сжигания углеродсодержащего материала вместе с обогащенным кислородом газом для получения отходящего газа, причем отходящий газ является газом, содержащим  $\text{CO}_2$ . Углеродсодержащий материал может быть твердотельным, жидким и/или газообразным. Этим материалом также может быть смесь различных химических веществ, содержащих углерод. Как правило, углерод не содержится (в материале) в своей элементарной форме, а присутствует как составная часть химического соединения, например углеводородного соединения. Прежде всего, углеродсодержащий материал может включать в себя смолу, коксовую мелочь, древесный уголь, каменный уголь и/или вязкий мазут. По ходу процесса сгорания углеродсодержащий материал подвергают горению, то есть сжигают вместе с обогащенным кислородом газом. Обогащенным кислородом газом является, как правило, газ, концентрация  $\text{O}_2$  в котором значительно больше, чем в воздухе. Обычно обогащенный кислородом газ состоит, главным образом, из  $\text{O}_2$ , то есть он имеет концентрацию  $\text{O}_2$  более чем в 50%. Предпочтительно он содержит по меньшей мере 60%, более предпочтительно по меньшей

мере 80%, наиболее предпочтительно по меньшей мере 90% O<sub>2</sub>. В некоторых случаях обогащенный кислородом газ даже может обозначаться как "кислород", хотя вполне понятно, что вряд ли можно избежать незначительных концентраций (например, <5%) других компонентов, таких как N<sub>2</sub>. Продуктом процесса сгорания является отходящий газ, который содержит в себе CO<sub>2</sub>. Вполне понятно, что отходящий газ может содержать в себе и другие компоненты, такие как H<sub>2</sub>O, CO и не вступившие в реакцию компоненты углеродсодержащего материала и/или обогащенного кислородом газа. При этом содержание CO<sub>2</sub> может быть относительно высоким, например свыше 30%. Процесс сгорания осуществляют за пределами металлургической печи, то есть он не является частью внутренних процессов внутри металлургической печи. При этом его можно осуществлять внутри реактора, расположенного рядом с металлургической печью. Сжигание углеродсодержащего материала вместе с обогащенным кислородом газом может приводить к получению очень высоких температур пламени, например свыше 2000, 2500 или даже 3000°C.

На другом шаге отходящий газ, имеющий при этом повышенную, вызванную сгоранием температуру в результате процесса сгорания, смешивают с содержащим углеводороды топливным газом для получения первой газовой смеси с температурой больше температуры риформинга, необходимой для процесса риформинга, предпочтительно для процесса сухого риформинга. Топливный газ может включать в себя, например, коксовый газ (КГ), природный газ и/или биогаз. Прежде всего, он может включать в себя смесь из любых этих газов. Как правило, он имеет высокую концентрацию низкомолекулярных углеводородов, прежде всего CH<sub>4</sub>. В составе первой газовой смеси отходящий газ и топливный газ могут быть смешаны между собой более или менее хорошо. Объединение отходящего газа с топливным газом обозначают, в целом, как "обеспечение смешивания отходящего газа с топливным газом". Этот процесс может включать в себя (активное) смешивание отходящего газа с топливным газом, то есть приложение механического усилия для смешивания газов. При этом в некоторых случаях достаточным может оказаться, например, вдувание двух газов в резервуар таким образом, что смешивание происходит более или менее пассивно за счет конвекционного течения и/или диффузии. При этом вполне понятно, что химическая реакция будет усиливаться в результате большей степени смешивания. Объединение отходящего газа с топливным газом для получения первой газовой смеси предусматривает возможность, что смешивают только отходящий газ и топливный газ, и возможность, что для получения первой газовой смеси используют по меньшей мере еще один газ. Представляется возможным, что (по меньшей мере) два газа смешивают в специальном резервуаре, который может обозначаться как смесительный резервуар или смесительная камера. Отходящий газ смешивают с топливным газом, когда он (отходящий газ) имеет повышенную температуру в результате процесса сгорания, которая в данном контексте обозначается как вызванная сгоранием температура. Эта вызванная сгоранием температура, само собой разумеется, является следствием чрезвычайно экзотермического характера процесса сгорания. Когда отходящий газ смешивают с топливным газом, то газовая смесь, следовательно, также имеет высокую температуру, которая больше температуры риформинга, каковая необходима для процесса риформинга, предпочтительно для процесса сухого риформинга. По условиям процесса сухого риформинга, который будет описан далее по тексту, необходимо, чтобы первая газовая смесь имела определенную минимальную температуру, в данном контексте обозначаемую как температура риформинга. Если первая газовая смесь имеет, по меньшей мере, эту температуру риформинга, то процесс риформинга предпочтительно начинается и происходит без необходимости в использовании катализатора или дополнительного нагрева.

На другом шаге способа газовую смесь подвергают процессу (предпочтительно, сухого) риформинга, получая в результате синтез-газ, содержащий CO и H<sub>2</sub>. Химический механизм процесса сухого риформинга не ограничен объемом изобретения, а, как правило, предполагает, по меньшей мере, что содержащийся в отходящем газе диоксид углерода CO<sub>2</sub> вступает в реакцию с углеводородом в составе топливного газа, например, в соответствии со следующей схемой реакции: CO<sub>2</sub>+CH<sub>4</sub>→2H<sub>2</sub>+2CO. Обычно этот процесс обозначают как сухая конверсия. Кроме того, содержащаяся в отходящем газе вода H<sub>2</sub>O, если таковая присутствует, может вступать в реакцию с углеводородом в составе топливного газа, например, в соответствии со следующей схемой реакции: H<sub>2</sub>O+CH<sub>4</sub>→3H<sub>2</sub>+CO. Следовательно, этот процесс может быть обозначен как мокрая конверсия. По условиям процесса сухого риформинга требуется повышенная температура риформинга, которая зависит от нескольких факторов, таких как наличие или отсутствие катализатора. При отсутствии катализатора температура риформинга должна составлять, например, более 800°C и может составлять предпочтительно от 900 до 1600°C. Поскольку вызванная сгоранием температура отходящего газа является достаточно высокой, чтобы инициировать и поддерживать процесс сухого риформинга, как только отходящий газ будет смешан с топливным газом, то процесс сухого риформинга может осуществляться в том же самом резервуаре, что и для объединения (или смешивания) газов. Необходимо отметить, что процесс сухого риформинга может осуществляться в условиях повышенного давления. Прежде всего, это может быть обусловлено тем, чтобы не допускать расширения отходящего газа после процесса сгорания. Предпочтительно процесс (предпочтительно, сухого) риформинга проходит без обязательного использования катализатора. Выражаясь другими словами, процесс риформинга осуществляют некаталитическим образом.

Другим преимуществом настоящего изобретения является уменьшение потребности в очистке конверсионного газа и затрат на очистку. Действительно, поскольку никакой катализатор не используют, то нет и необходимости в очистке конверсионного газа от отравляющего агента катализатора перед использованием этого конверсионного газа в любом другом процессе.

Необходимо отметить, что при том, что, по меньшей мере, определенное количество отходящего газа нужно смешивать с определенным количеством топливного газа для запуска процесса риформинга, смешивание и конверсия могут, по меньшей мере, частично происходить одновременно. Фактически, обычно это так и происходит, поскольку процесс риформинга инициируют за счет повышенной, вызванной сгоранием температуры отходящего газа.

На другом шаге способа синтез-газ подают в металлургическую печь. Как будет пояснено далее по тексту, эта подача предусматривает возможность того, что синтез-газ смешивают с другим газом перед тем, как подавать его в металлургическую печь, то есть он может подаваться в металлургическую печь как часть газовой смеси. Синтез-газ действует, главным образом, как восстановительный газ внутри металлургической печи.

Большим преимуществом способа согласно изобретению является то, что по нему используют тепло, генерированное в результате экзотермического процесса сгорания, чтобы инициировать и поддерживать процесс (предпочтительно, сухого) риформинга. Можно также сказать, что процесс (предпочтительно, сухого) риформинга эффективно запускают в действие за счет высоких температур пламени от процесса сгорания. Это упрощает процесс и исключает необходимость в дополнительном нагреве газовой смеси и/или присутствии катализатора.

Отходящий газ при его смешивании с содержащим углеводороды газом может иметь довольно высокую температуру, которая в данном контексте обозначается как вызванная сгоранием температура, поскольку она является следствием экзотермического сгорания и возникает после этого сгорания. Прежде всего, вызванная сгоранием температура может составлять свыше  $1000^{\circ}\text{C}$ , предпочтительно свыше  $1500^{\circ}\text{C}$ , более предпочтительно свыше  $2000^{\circ}\text{C}$ . Этих температур обычно оказывается достаточно, чтобы инициировать и поддерживать процесс риформинга. Вполне понятно, что это также зависит от соотношения между отходящим газом и содержащим углеводороды газом и от температуры последнего.

Представляется возможным содействовать процессу риформинга с помощью нагрева топливного газа, например, до температуры более  $500^{\circ}\text{C}$ , прежде чем смешивать его с отходящим газом. При этом, учитывая высокие, вызванные сгоранием температуры (отходящего газа), можно использовать относительно "холодный" топливный газ. Выражаясь более конкретно, топливный газ, при его смешивании с отходящим газом, может иметь температуру менее  $100^{\circ}\text{C}$ . Прежде всего, топливный газ может иметь температуру окружающей среды, то есть от  $15^{\circ}\text{C}$  до  $40^{\circ}\text{C}$ .

Альтернативно, отходящий газ и топливный газ могут смешиваться со вспомогательным газом, который является  $\text{CO}_2$ -содержащим газом, чтобы сформировать первую газовую смесь. Вспомогательный газ можно рассматривать как добавку в отходящий газ в том плане, что он также добавляет  $\text{CO}_2$  в газовую смесь. Для получения вспомогательного газа можно использовать различные источники. Например, вспомогательным газом может быть коллоидный газ доменной печи и/или газ от кислородного конвертера и/или газ от процесса улавливания углерода, полученный в установке улавливания углерода. Как известно из уровня техники, установка улавливания углерода разделяет  $\text{CO}_2$ -содержащий газ на первую фракцию с уменьшенным содержанием  $\text{CO}_2$  и на вторую фракцию с повышенным содержанием  $\text{CO}_2$ . Последняя фракция, которая в данном контексте обозначается как газ от процесса улавливания углерода, может использоваться в качестве вспомогательного газа. Например, установка улавливания углерода, используемая для обработки коксового газа, может быть использована в качестве источника газа от процесса улавливания углерода. При этом, если вспомогательный газ используют в качестве компонента для первой газовой смеси, это, как правило, понижает температуру первой газовой смеси, поскольку температура, например, газа от процесса улавливания углерода значительно меньше, чем вызванная сгоранием температура отходящего газа. Следовательно, коэффициент добавки вспомогательного газа должен быть скорректирован, чтобы удержать температуру первой газовой смеси на уровне выше температуры риформинга. Вспомогательный газ может подводиться при температуре окружающей среды или, альтернативно, может предварительно нагреваться до температуры до  $500^{\circ}\text{C}$ . Предварительный нагрев будет дополнительно увеличивать производительность вспомогательного газа, который мог бы использоваться в этом процессе.

Как упоминалось выше, вызванная сгоранием температура отходящего газа может составлять более  $2000^{\circ}\text{C}$ . Как правило, даже если топливный газ был нагрет перед его смешиванием с отходящим газом, получающаяся газовая смесь имеет (усредненную) температуру, которая ниже вызванной сгоранием температуры (отходящего газа). Кроме того, процесс (предпочтительно, сухого) риформинга является собою эндотермическую реакцию, что приводит к уменьшению температуры. Так или иначе, температура получающегося синтез-газа, которая может быть обозначена как температура постриформинга, все еще может быть очень высокой. Сразу же после процесса риформинга синтез-газ может иметь температуру постриформинга свыше  $1000^{\circ}\text{C}$ , предпочтительно свыше  $1200^{\circ}\text{C}$ , более предпочтительно свыше  $1500^{\circ}\text{C}$ . Это означает, что температура постриформинга может быть слишком высокой для непосредственного

введения (синтез-газа) в металлургическую печь. Это, естественно, зависит от типа металлургической печи и точки ввода, в которой синтез-газ подают в металлургическую печь. В целом, следует избегать любых нарушений профиля распределения температур внутри металлургической печи.

Согласно одному варианту конструктивного выполнения металлургическая печь является шахтной печью. Такая шахтная печь может использоваться для получения железа прямого восстановления, то есть по технологии Мидрекс или по процессу Охалата и Ламина или путем горячего брикетирования железа. Прежде всего, металлургическая печь может быть доменной печью. Общий принцип компоновки и работы доменной печи известен из уровня техники и поэтому не будет поясняться здесь в деталях. Существует несколько вариантов точек ввода, в которых синтез-газ может вводиться в доменную печь.

Согласно одному варианту синтез-газ подают в доменную печь на уровне фурменного пояса. Уровень фурменного пояса приходится на зону плавления в доменной печи, для которой (для зоны) характерными являются температуры от 1400 до 1800°C. На уровне фурменного пояса даже высокая температура постриформинга синтез-газа - свыше 1500°C - не дает негативные последствия, и синтез-газ может непосредственно подаваться в доменную печь.

Согласно другому варианту синтез-газ подают в доменную печь на уровне шахты печи, над уровнем фурменного пояса. Уровень шахты печи в значительной мере приходится на зону восстановления в доменной печи, температуры в которой, как правило, существенно ниже, чем в зоне плавления.

Например, температуры на уровне шахты печи могут составлять от 800 до 1100°C. Большей частью это меньше, чем температура постриформинга синтез-газа. Непосредственное введение горячего синтез-газа на уровне шахты печи могло бы негативно сказаться на распределении температур внутри доменной печи. Теоретически можно было бы допустить охлаждение синтез-газа до достаточно низкой температуры. Однако охлаждение соответствует потерям энергии, что нежелательно. При этом теоретически можно было бы допустить использование потерь тепла в результате процесса охлаждения, например, в теплообменнике для нагрева топливного газа перед его смешиванием с отходящим газом.

Необходимо отметить, что, если синтез-газ подают в доменную печь на уровне шахты печи, то на уровне фурменного пояса в доменную печь подают другие газы и/или твердые вещества. На этот счет в рамках объема изобретения нет никаких ограничений. Прежде всего, на уровне фурменного пояса может вводиться (вдуваться) вспомогательное топливо. Одним из вариантов могло бы быть, что в доменную печь на уровне фурменного пояса подают пылеугольное топливо вместе с обогащенным кислородом газом. Эта разновидность процесса, которую также обозначают как вдувание пылеугольного топлива (ПУТ), в принципе известна из уровня техники. Другим вариантом является вдувание газа, который содержит углеводороды типа  $\text{C}_n\text{H}_m$  (например, природный газ),  $\text{CO}$  и/или  $\text{H}_2$ . В целом, желательно увеличивать количество вспомогательного топлива, вдуваемого на уровне фурменного пояса, что обуславливает необходимость в увеличении содержания кислорода в горячем дутье и уменьшении расхода горячего дутья. Это, в свою очередь, могло бы привести к понижению температуры колошниковых газов до нежелательного уровня. Если же горячий восстановительный газ, такой как синтез-газ, полученный способом согласно изобретению, вводят на уровне выше фурменного пояса, то понижение температуры колошниковых газов можно предупредить или, по меньшей мере, ограничить.

В этом контексте необходимо отметить, что уменьшение тока газа через доменную печь значительно уменьшает риски определенных нарушений в ее работе, таких как лавинный сход или зависание и налипание шихты. Поскольку вдувание синтез-газа на уровне шахты печи позволяет уменьшать ток газа и одновременно поддерживать достаточно высокую температуру колошниковых газов, то это оказывает положительное воздействие на производительность доменной печи.

Предпочтительным вариантом, чтобы избежать любых потерь энергии в результате охлаждения, является (решение), что синтез-газ подают в металлургическую печь вместе с добавочным газом, имеющим температуру меньше температуры постриформинга синтез-газа, причем добавочным газом является газ, содержащий  $\text{CO}$  и/или  $\text{H}_2$ . Выражаясь другими словами, составы добавочного газа и синтез-газа соответствуют друг другу, по меньшей мере, частично в том отношении, что оба газа содержат  $\text{CO}$  и/или  $\text{H}_2$ . Следовательно, добавочный газ также может использоваться в качестве восстановительного газа внутри металлургической печи. Для примера можно сказать, что все газы от сталеплавильного производства могут использоваться в качестве добавочного газа, например доменный газ, газ от кислородных конвертеров или другие газы. Даже если содержание  $\text{CO}$  и/или  $\text{H}_2$  в добавочном газе может быть довольно низким, пропорциональную часть этого "охлаждающего газа" в смеси с синтез-газом, как правило, ограничивают так, что эффект разбавления оказывается приемлемым. Этот вариант осуществления может быть использован, прежде всего, если металлургическая печь является доменной печью и если синтез-газ подают в металлургическую печь на уровне шахты печи. Усредненная температура синтез-газа и добавочного газа, само собой разумеется, оказывается меньше температуры постриформинга синтез-газа, благодаря чему можно избежать неблагоприятных воздействий на распределение температур внутри доменной печи. Необходимо отметить, что добавочный газ также может быть синтез-газом, полученным в результате отдельного процесса риформинга. Например, это даже может быть процесс риформинга с использованием доменного газа.

В расчет можно было бы принять и введение синтез-газа и добавочного газа в металлургическую

печь по отдельности, но в одной и той же зоне металлургической печи. В определенной степени они могли бы смешиваться внутри металлургической печи перед вступлением в реакцию. При этом введение двух газов по отдельности могло бы привести к перепадам температур, что могло бы локально изменить технологические процессы в металлургической печи. В подобном случае синтез-газ может локально нагревать часть металлургической печи, в то время как добавочный газ будет охлаждать (эту) часть металлургической печи, что является особенно неблагоприятным по воздействию. Поэтому, предпочтительно, синтез-газ смешивают с добавочным газом перед тем, как подавать его в металлургическую печь. В результате этого получают вторую газовую смесь из двух газов, которая имеет температуру в пределах между температурой постреформинга (синтез-газа - прим. переводчика) и температурой добавочного газа. Прежде всего, получающаяся вторая газовая смесь может иметь температуру в диапазоне от 700 до 1200°C, предпочтительно от 800 до 1100°C. Этот температурный диапазон благоприятен для подачи смеси в доменную печь на уровне шахты печи. Не говоря уже о выходе на более равномерное распределение температур, смешивание газов и введение в металлургическую печь смеси также упрощает конструкцию системы вдувания.

#### Краткое описание чертежей

Ниже в качестве примера приведено описание предпочтительных вариантов осуществления изобретения со ссылкой на прилагаемые чертежи, где

фиг. 1 - схематичный вид установки доменной печи для осуществления варианта способа согласно изобретению,

фиг. 2 - схематичный вид части установки доменной печи по фиг. 1.

#### Описание предпочтительных вариантов осуществления

На фиг. 1 схематично показана установка 1 доменной печи, включающая в себя доменную печь 10. На своем верхнем конце (колошнике) доменная печь 10, как правило, принимает кокс 12 и руду 13 из подбункерного помещения шихтоподачи 15. На нижнем конце доменной печи 10 выпускают чушковый чугун и шлак (что не показано ради простоты обзора). Принцип работы доменной печи 10, как таковой, хорошо известен и дополнительно здесь не будет описан. На верхнем конце доменный газ 14 рекуперировывают из доменной печи 10. Рекуперированный доменный газ 14, который, например, может иметь концентрацию  $N_2$  менее 40%, концентрацию CO и  $CO_2$  примерно по 25-40% каждый и примерно 5-15% водорода  $H_2$ , может подвергаться обработке в установке газоочистки 20, главным образом, чтобы удалить твердые частицы из доменного газа 14 и, по возможности, конденсировать часть пара, содержащегося в доменном газе 14. Рекуперированный и очищенный доменный газ 14 может использоваться для различных целей, которые здесь в деталях не рассматриваются. После выполнения очистки доменного газа 14 содержание в нем  $CO_2$  может быть уменьшено в установке 21 для улавливания углерода. Здесь часть доменного газа сепарируют как газ 22 от процесса улавливания углерода, который является газом с высокой концентрацией  $CO_2$ , например более 50 или более 70%. Этот газ 22 от процесса улавливания углерода или его часть может использоваться в качестве вспомогательного газа 48.

В нижней части доменной печи 10, а именно на уровне 10.1 фурменного пояса в доменную печь 10 подают пылеугольное топливо 26 и горячее дутье 27, полученное из установки 25 воздухонагревателей, включающей в себя множество кауперов (доменных воздухонагревателей). Горячее дутье 27 может содержать в себе воздух или обогащенный кислородом газ. Альтернативно, на уровне фурменного пояса доменная печь может принимать холодный, содержащий кислород газ с концентрацией кислорода, как правило, порядка 95%, тем самым в значительной мере или полностью заменяющий собой горячее дутье. Другим вариантом является, что синтез-газ 45, содержащий CO и/или  $H_2$ , вдувают вместе с горячим дутьем и/или холодным, содержащим кислород газом и пылеугольным топливом.

На уровне 10.2 шахты печи, который расположен над уровнем 10.1 фурменного пояса, в доменную печь 10 подают смесь 47 из синтез-газа 45 и добавочного газа 46. Синтез-газ 45 подготавливают в реакторе 30 синтез-газа, который схематично показан на фиг. 2. Реактор 30 синтез-газа включает в себя горелку 31, к которой подводят обогащенный кислородом газ 40 и углеродсодержащий материал 41. Обогащенный кислородом газ 40 может содержать по меньшей мере 90%  $O_2$ , в то время как углеродсодержащий материал 41 может включать в себя, например, смолу, коксовую мелочь, древесный уголь, каменный уголь и/или вязкий мазут. Углеродсодержащий материал 41 сжигают вместе с обогащенным кислородом газом 40 по ходу процесса сгорания в горелке 31, в результате чего получают отходящий газ 42, который в качестве примера может иметь концентрацию в 80%  $CO_2$ , 15%  $H_2O$  и 5%  $N_2$ . Ввиду явно выраженного экзотермического характера процесса сгорания температура пламени может составлять более 3000°C. Отходящий газ 42 и топливный газ 43 вдувают в смесительную секцию 32, где их смешивают. Топливный газ 43 является содержащим углеводороды газом, например коксовым газом, природным газом и/или биогазом. Когда отходящий газ 42 смешивают с топливным газом 43, его вызванная сгоранием температура составляет по меньшей мере 2000°C, в то время как топливный газ 43 может иметь температуру менее 100°C, например температуру окружающей среды. Топливный газ 43 и отходящий газ 42 формируют первую газовую смесь 44 с температурой больше температуры риформинга, которая необходима для процесса риформинга, предпочтительно для процесса сухого риформинга. Температура риформинга должна быть выше 800°C и предпочтительно может составлять от 900 до 1600°C.

Вследствие высокой температуры первой газовой смеси 44, которая, в свою очередь, в значительной мере обусловлена вызванной сгоранием температурой отходящего газа 42, процесс риформинга начинается без необходимости в дополнительном нагреве или использовании катализатора. Альтернативно, в топливный газ 43 и отходящий газ 42 может быть добавлен вспомогательный газ 48, чтобы сформировать первую газовую смесь 44. Таким вспомогательным газом 48 может быть, например, доменный газ и/или газ от кислородного конвертера и/или газ 22 от процесса улавливания углерода (или по меньшей мере одна его часть), как указано пунктирной стрелкой на фигурах 1 и 2. Поскольку газ 22 от процесса улавливания углерода имеет, по сходству с отходящим газом 42, высокое содержание  $\text{CO}_2$ , то он может быть использован в качестве вспомогательного газа 48. При этом, поскольку температура газа 22 от процесса улавливания углерода значительно меньше температуры отходящего газа 42, коэффициент добавки газа 22 от процесса улавливания углерода корректируют, чтобы удерживать температуру первой газовой смеси на уровне выше температуры риформинга. На фиг. 2 рядом со смесительной секцией 32 показана секция 33 для прохождения реакции, но это не обязательно должны быть две различные, отличающиеся друг от друга секции, поскольку процесс риформинга начинается уже тогда, когда топливный газ смешивают с отходящим газом.

Процесс сухого риформинга происходит в соответствии со следующей реакцией:  $\text{CO}_2 + \text{CH}_4 \rightarrow 2\text{H}_2 + 2\text{CO}$ . Его выполнению может способствовать повышенное давление внутри смесительной секции 32 и/или секции 33 для прохождения реакции. В определенной степени и мокрая конверсия также может происходить в соответствии со следующей реакцией:  $\text{H}_2\text{O} + \text{CH}_4 \rightarrow 3\text{H}_2 + \text{CO}$ . После выполнения процесса сухого риформинга (и/или процесса мокрого риформинга) отходящий газ 42 и топливный газ 43 и, если применимо, вспомогательный газ 48 являются большей частью преобразованными в синтез-газ 45, который содержит  $\text{CO}$  и  $\text{H}_2$ . Хотя процесс риформинга и является эндотермической реакцией, которая понижает температуру синтез-газа 45 по сравнению с газовой смесью, однако температура постриформинга синтез-газа 45 все еще может быть больше  $1200^\circ\text{C}$ . Поскольку синтез-газ 45 предназначен для вдувания в доменную печь 10 на уровне 10.2 шахты печи, то его температура постриформинга несовместима с распределением температур внутри доменной печи 10. Поэтому вместе с синтез-газом 45 в доменную печь 10 вводят добавочный газ 46, который содержит  $\text{CO}$  и  $\text{H}_2$ . Добавочный газ 46 имеет температуру, которая значительно меньше температуры постриформинга (синтез-газа), например, он может иметь температуру окружающей среды. Предпочтительно синтез-газ 45 и добавочный газ 46 смешивают таким образом перед тем, как вводить их в доменную печь 10, что получающаяся вторая газовая смесь 47 имеет температуру меньше, чем температура постриформинга. Прежде всего, пропорциональное соотношение двух газов можно регулировать таким образом, что смесь 47 имеет температуру, которая соответствует температурам внутри доменной печи на уровне 10.2 шахты печи.

Введение синтез-газа 45 и добавочного газа 46 на уровне 10.2 шахты печи помогает предупредить падение температуры колошникового газа доменной печи 10 ниже определенного уровня, даже если ток газа через доменную печь 10 является уменьшенным. Уменьшение тока газа является предпочтительным в том отношении, что оно снижает вероятность нарушений (в работе печи), таких как лавинный сход или зависание и налипание шихты.

Альтернативно или в дополнение к введению синтез-газа 45 в доменную печь 10 на уровне 10.2 шахты печи, его можно было бы вводить на уровне 10.1 фурменного пояса, как указано пунктирной стрелкой на фиг. 1. В этом случае температура постриформинга является совместимой с температурами внутри доменной печи 10 на уровне 10.1 фурменного пояса. Следовательно, отсутствует необходимость в смешивании синтез-газа 45 с любым добавочным газом 46, то есть синтез-газ 45 может подаваться в доменную печь 10, как таковой.

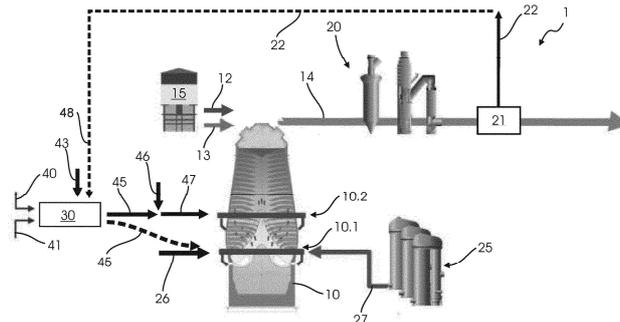
#### Перечень ссылочных обозначений

- 1 - установка доменной печи
- 10 - доменная печь
- 10.1 - уровень фурменного пояса
- 10.2 - уровень шахты печи
- 12 - кокс
- 13 - руда
- 14 - доменный газ
- 15 - подбункерное помещение шихтоподачи
- 20 - установка газоочистки
- 21 - установка для улавливания углерода
- 22 - газ от процесса улавливания углерода
- 25 - установка воздухонагревателей
- 26 - пылеугольное топливо
- 27 - горячее дутье
- 30 - реактор синтез-газа
- 31 - горелка

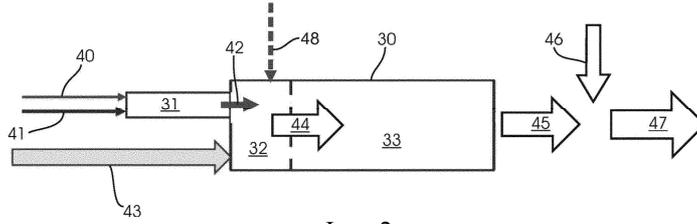
- 32 - смесительная секция
- 33 - секция для прохождения реакции
- 40 - обогащенный кислородом газ
- 41 - углеродсодержащий материал
- 42 - отходящий газ
- 43 - топливный газ
- 44 - первая газовая смесь
- 45 - синтез-газ
- 46 - добавочный газ
- 47 - вторая газовая смесь
- 48 - вспомогательный газ

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ эксплуатации металлургической печи (10), причем способ включает в себя осуществление процесса сгорания за пределами металлургической печи (10) путем сжигания углеродсодержащего материала (41) вместе с обогащенным кислородом газом (40), имеющим концентрацию  $O_2$  существенно большую, чем воздух, для получения отходящего газа (42), причем отходящий газ (42) является газом, содержащим  $CO_2$ ,
  - смешивание отходящего газа (42), имеющего при этом повышенную, вызванную сгоранием температуру свыше  $1000^\circ C$  в результате процесса сгорания, с содержащим углеводороды топливным газом (43) для получения первой газовой смеси (44) с температурой больше температуры риформинга, необходимой для процесса риформинга,
  - выполнение процесса риформинга первой газовой смеси (44), получая тем самым синтез-газ (45), содержащий  $CO$  и  $H_2$ , причем процесс риформинга осуществляется некаталитическим образом и является процессом сухого и/или мокрого риформинга, и
  - подачу синтез-газа (45) в металлургическую печь (10).
2. Способ по п.1, отличающийся тем, что обогащенный кислородом газ (40) содержит по меньшей мере 60%, предпочтительно по меньшей мере 80%, более предпочтительно по меньшей мере 90%  $O_2$ .
3. Способ по одному из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что отходящий газ (42) при его смешивании с топливным газом (43) имеет вызванную сгоранием температуру свыше  $1500^\circ C$ , более предпочтительно свыше  $2000^\circ C$ .
4. Способ по одному из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что топливный газ (43) при его смешивании с отходящим газом (42) имеет температуру менее  $100^\circ C$ .
5. Способ по одному из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что для получения первой газовой смеси (44) отходящий газ (42) и топливный газ (43) смешивают со вспомогательным газом (48), который является  $CO_2$ -содержащим газом.
6. Способ по одному из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что углеродсодержащий материал (41) содержит смолу, коксовую мелочь, древесный уголь, каменный уголь и/или вязкий мазут.
7. Способ по одному из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что топливный газ (43) содержит природный газ, коксовый газ и/или биогаз.
8. Способ по одному из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что синтез-газ (45) сразу же после процесса риформинга имеет температуру пострифформинга свыше  $1000^\circ C$ , предпочтительно свыше  $1200^\circ C$ , более предпочтительно свыше  $1500^\circ C$ .
9. Способ по одному из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что металлургическая печь (10) является шахтной печью.
10. Способ по одному из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что металлургическая печь (10) является доменной печью.
11. Способ по п.10, отличающийся тем, что синтез-газ (45) подают в доменную печь (10) на уровне (10.1) фурменного пояса.
12. Способ по п.10, отличающийся тем, что синтез-газ (45) подают в доменную печь (10) на уровне (10.2) шахты печи, выше уровня (10.1) фурменного пояса.
13. Способ по одному из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что синтез-газ (45) подают в металлургическую печь (10) вместе с добавочным газом (46), имеющим температуру меньше температуры пострифформинга синтез-газа, причем добавочным газом (46) является газ, содержащий  $CO$  и/или  $H_2$ .
14. Способ по п.13, отличающийся тем, что синтез-газ (45), прежде чем подавать его в металлургическую печь (10), смешивают с добавочным газом (46) для формирования второй газовой смеси (47).
15. Способ по п.14, отличающийся тем, что вторая газовая смесь (47) имеет температуру от  $700$  до  $1200^\circ C$ , предпочтительно от  $800$  до  $1100^\circ C$ .



Фиг. 1



Фиг. 2