

(19)



Евразийское
патентное
ведомство

(21) 202193148 (13) A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2022.03.11(51) Int. Cl. C21B 5/06 (2006.01)
C21B 13/00 (2006.01)(22) Дата подачи заявки
2020.05.19

(54) СПОСОБ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

(31) LU101227

(32) 2019.05.21

(33) LU

(86) PCT/EP2020/063952

(87) WO 2020/234290 2020.11.26

(71) Заявитель:

ПАУЛЬ ВЮРТ С.А. (LU)

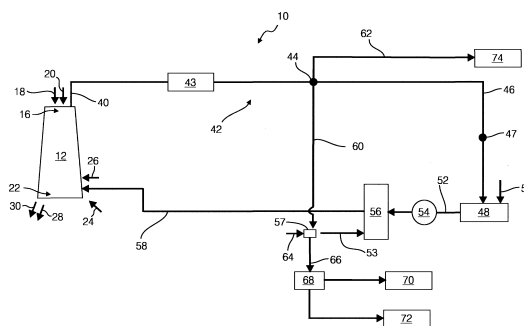
(72) Изобретатель:

Кинцель Клаус Петер, Агравал Ананд
Кумар, Касс Жиль (LU)

(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)

(57) Изобретение относится к способу эксплуатации доменной печи. Для обеспечения оптимизированной эксплуатации доменной печи способ включает в себя сбор доменного газа из доменной печи (12), причем доменный газ является CO_2 -содержащим газом, смешивание доменного газа с топливным газом для получения газовой смеси, причем топливный газ является содержащим углеводороды газом, выполнение процесса риформинга газовой смеси, получая тем самым синтез-газ, содержащий CO и H_2 , и подачу по меньшей мере части синтез-газа и обогащенного кислородом газа (26) в доменную печь, причем доменный газ смешивают с топливным газом, при содержании по существу того же самого количества CO_2 , что и при выходе из доменной печи, и причем доменный газ смешивают с топливным газом в сверхстехиометрическом соотношении таким образом, что синтез-газ содержит избыточную часть доменного газа.



A1

202193148

202193148

A1

СПОСОБ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

5 Область техники

Изобретение относится к способу эксплуатации доменной печи.

Уровень техники

Несмотря на альтернативные способы, такие как плавка скрапа или прямое восстановление железа внутри электродуговой печи, плавка в доменной печи на
10 сегодня все еще представляет собой наиболее широко используемый техпроцесс 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
15 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 CO_2 , который вреден для окружающей среды и в большинстве случаев не пригоден для промышленного использования. Фактически, в
20 отходящем от доменной печи доменном газе, как правило, содержится концентрация CO_2 порядка от 20 % до 50 %. Кроме этого, в доменном газе обычно содержатся значительные количества N_2 , CO , H_2O и H_2 . При этом содержание N_2 в значительной мере зависит от того, используют ли во время плавки в доменной печи горячий воздух или (чистый) кислород.

25 Главным образом для того, чтобы уменьшить количество используемого кокса, было предложено рекуперировать доменный газ из доменной печи, подвергать его обработке для улучшения его восстановительного потенциала и снова вдуть в доменную печь для поддержания техпроцесса восстановления (железа). Одним из способов для осуществления этого является уменьшение
30 содержания CO_2 в доменном газе путем адсорбции при переменном давлении (PSA) или вакуумной короткоцикловой безнагревной адсорбции (VPSA), сущность которой раскрыта в патентной заявке EP 2 886 666 A1. В установках адсорбции при переменном давлении/вакуумной короткоцикловой безнагревной адсорбции получают первый поток газа с высоким содержанием CO и H_2 и

второй поток газа с высоким содержанием CO_2 и H_2O . Первый поток газа может использоваться в качестве восстановительного газа и подаваться обратно в доменную печь. Одним из примеров осуществления этого подхода является техпроцесс ULCOS (производство стали с крайне низкими выбросами CO_2), по которому кроме направленного на повторный цикл первого потока газа в доменную печь подают пылеугольное топливо и холодный кислород. Этот тип печи также обозначают как «доменная печь на кислородном дутье с повторным циклом использования колошниково-го газа».

Второй поток газа может отводиться из установки и направляться на утилизацию после отбора остаточной теплотворной способности газа. Эта утилизация, обоснованность которой не бесспорна, заключается в перекачке газа с высоким содержанием CO_2 в подземные вместилища на хранение. Кроме того, хотя установки для адсорбции при переменном давлении/вакуумной короткоцикло-вой безнагревной адсорбции и обеспечивают значительное уменьшение содержания CO_2 в доменном газе примерно с 35 % до примерно 5 %, однако они очень дорогие в приобретении, техническом обслуживании и эксплуатации и требуют много места для размещения.

Также было предложено осуществлять конверсию доменного газа, чтобы получать синтез-газ (также обозначаемый как сингаз), который может использоваться для различных промышленных целей. В соответствии с наиболее распространенным процессом риформинга, таким как техпроцесс, сущность которого раскрыта в WO 2019/057930 A1, доменный газ смешивают с топливным газом, который содержит по меньшей мере один углеводород (например, CH_4 и, возможно, углеводороды с бóльшим молекулярным весом). По ходу реакции так называемой сухой конверсии углеводороды из состава топливного газа вступают в реакцию с CO_2 в составе доменного газа с получением H_2 и CO . По ходу реакции так называемого мокрой конверсии углеводороды вступают в реакцию с H_2O в составе доменного газа с получением также H_2 и CO . И в том и в другом случае получают синтез-газ, который имеет существенно повышенную концентрацию H_2 и 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 техпроцессом, сингаз подают в доменную печь вместе с горячим дутьем (то есть,

горячим воздухом) и пылеугольным топливом. Этот тип печи также может быть обозначен как «доменная печь на сингазе».

Техническая задача

В связи с этим, цель настоящего изобретения заключается в обеспечении оптимизированной эксплуатации доменной печи. Эта цель достигнута с помощью способа в соответствии с п. 1 формулы изобретения.

Общее описание изобретения

Изобретением предусмотрен способ эксплуатации доменной печи. В рамках первого шага способ включает в себя сбор доменного газа из доменной печи, причем доменный газ является CO_2 -содержащим газом. Прежде всего, доменный газ может иметь концентрацию CO_2 от 20 % до 50 %. Доменный газ (или ДГ) также может обозначаться как колошниковый газ, поскольку его отбирают из колошника доменной печи. Кроме CO_2 , доменный газ может содержать другие компоненты, такие как CO , H_2O , H_2 или другие. Прежде всего, он может быть H_2O -содержащим газом. Как будет пояснено далее по тексту, доменный газ, предпочтительно, имеет очень низкую концентрацию N_2 , например, менее 20 %, менее 10 % или менее 5 %. При этом, в целом, концентрация N_2 может приходиться на диапазон от 0 % до 50 %. Как правило, доменный газ необходимо очищать, чтобы уменьшить содержание в нем пыли. Содержание в нем H_2O также, предпочтительно резко, понижают посредством конденсации. Это может осуществляться, например, в установке газоочистки, в которой температуру газа понижают, и вода может конденсироваться.

Собранный доменный газ (который, как правило, был подвергнут очистке) смешивают затем с топливным газом для получения газовой смеси, причем топливный газ является содержащим углеводороды газом. Топливным газом может быть, например, коксовый газ (КГ), природный газ, биогаз или смесь из любых этих газов. Как правило, он имеет высокую концентрацию низкомолекулярных углеводородов, прежде всего CH_4 . В составе газовой смеси доменный газ и топливный газ могут быть смешаны между собой более или менее хорошо. Объединение доменного газа с топливным газом обозначают, в целом, как «обеспечение смешивания доменного газа с топливным газом». Этот процесс может включать в себя (активное) смешивание доменного 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. Представляется возможным, что два газа смешивают в специальном резервуаре, который может обозначаться как смесительный резервуар или смесительная камера. Когда собранный доменный газ смешивают с топливным газом, представляется возможным и это в любом случае вписывается в объем настоящего изобретения, что в газовую смесь добавляют вспомогательный газ, причем вспомогательным газом, предпочтительно, является CO_2 - и/или H_2O -содержащий газ, такой как газ от кислородного конвертера (КК), чистый пар или чистый CO_2 . Для корректировки состава доменного газа может добавляться вспомогательный газ.

Газовую смесь подвергают процессу риформинга, получая тем самым синтез-газ, содержащий CO и H_2 . Химический механизм процесса риформинга не ограничен объемом изобретения, а, как правило, предполагает, по меньшей мере, что содержащийся в доменном газе диоксид углерода CO_2 вступает в реакцию с углеводородом в составе топливного газа, например, в соответствии со следующей схемой реакции: $\text{CO}_2 + \text{CH}_4 \rightarrow 2\text{H}_2 + 2\text{CO}$. Этот процесс, следовательно, может быть обозначен как сухая конверсия. Также и содержащаяся в доменном газе вода H_2O может вступать в реакцию с углеводородом в составе топливного газа, например, в соответствии со следующей схемой реакции: $\text{H}_2\text{O} + \text{CH}_4 \rightarrow 3\text{H}_2 + \text{CO}$. Этот процесс, следовательно, может быть обозначен как мокрая конверсия. Как правило, по условиям процесса риформинга требуются повышенные температуры, например, более 700°C . Он может осуществляться в том же самом резервуаре, что и для объединения (или смешивания) газов или в специальном резервуаре для риформинга. Прежде всего, может использоваться тепловой аккумулятор (например, такой, как описано в WO 2010/049536 или US 4,005,986). Каждый из газов - топливный газ и доменный газ - можно нагревать по отдельности перед тем, как будет получена газовая смесь. Альтернативно или дополнительно, можно нагревать полученную газовую смесь, чтобы получать или поддерживать температуру, необходимую для процесса риформинга. Процесс риформинга может также осуществляться в условиях повышенного давления. В этом случае можно подвергать сжатию газовую смесь или можно подвергать сжатию

доменный газ и топливный газ по отдельности, а затем смешивать их.

Осуществлению процесса риформинга, альтернативно, может способствовать катализатор, который обычно вводят в резервуар для риформинга. Необходимо отметить, что при том, что, по меньшей мере, определенное количество доменного газа нужно смешивать с определенным количеством топливного газа, чтобы запустить процесс риформинга, смешивание и конверсия могут, по меньшей мере, частично происходить одновременно.

На другом шаге, по меньшей мере, часть синтез-газа и обогащенный кислородом газ подают в доменную печь. Обогащенным кислородом газом является, как правило, газ, концентрация O_2 в котором значительно больше, чем в воздухе. Обычно обогащенный кислородом газ состоит, главным образом, из O_2 , то есть он имеет концентрацию 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_2 . 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_2 . Как правило, синтез-газ и обогащенный кислородом газ подают на уровне фурменного пояса доменной печи или по меньшей мере через одну фурму.

В способу согласно изобретению синтез-газ повторно вводят в доменную печь в качестве восстановительного газа вместе с обогащенным кислородом газом. Вполне понятно, что благодаря направлению на повторный цикл, то есть благодаря конверсии и повторному введению доменного газа выбросы CO_2 из доменной печи могут быть значительно уменьшены. При этом по способу согласно изобретению не требуется адсорбция при переменном давлении (PSA) или вакуумная короткоцикловая безнагревная адсорбция (VPSA). Наоборот, доменный газ может использоваться во время процесса риформинга в не обработанном или не измененном состоянии. Это означает, что химический состав доменного газа не должен подвергаться изменению на стадии между улавливанием из доменной печи и процессом риформинга. Выражаясь другими словами и в отличие от способа, сущность которого раскрыта в EP 2 886 666 A1, предложенный согласно изобретению способ не требует предварительной декарбонизации доменного газа. Иными словами, доменный газ смешивают с топливным газом, при содержании (доменным газом – прим. переводчика), по

существу, того же самого количества CO_2 , что и при выходе из доменной печи. Вместе с тем, поскольку обогащенный кислородом газ содержит значительно меньше N_2 , чем воздух, то концентрация восстановительных газов, таких как CO и H_2 , является более высокой, что помогает увеличить производительность доменной печи.

Несмотря на вышеупомянутые преимущества способа согласно изобретению, использование обогащенного кислородом газа потенциально могло бы привести к определенным трудностям. С одной стороны, температура пламени может увеличиваться по сравнению с использованием воздуха, поскольку содержащийся в воздухе азот охлаждает пламя в зоне горения перед фурмами (то есть, в зоне непосредственно за точкой вдувания газа в доменную печь). С другой стороны, температура колошникового газа может понижаться вследствие уменьшенного количества азота, поскольку азот в значительной степени способствует теплопередаче в пределах доменной печи. Следовательно, надлежащее нагревание и высушивание холодной шихты в печи оказываются затрудненными или невозможными, что в результате приводит к значительным эксплуатационным проблемам. Остроту обеих этих проблем смягчают в соответствии с изобретением путем того, что доменный газ смешивают с топливным газом в сверхстехиометрическом соотношении таким образом, что синтез-газ содержит в себе избыточную часть доменного газа. Выражаясь другими словами, смешивание доменного газа и топливного газа в сверхстехиометрическом соотношении смягчает остроту проблем как с надлежащим нагреванием, так и высушиванием холодной шихты в печи.

В случае с реакцией при стехиометрическом соотношении количество окислителя, главным образом, CO_2 и/или H_2O (поступающих из доменного газа и топливного газа) в газовой смеси (смеси доменного газа с топливным газом) перед конверсией является таким, что его содержание (содержание окислителя – прим. переводчика) полностью расходуют при реагировании с углеводородом, содержащимся в топливном газе. Например, если поток топливного газа обеспечивает расход в 1 моль/с метана CH_4 , то и поток газовой смеси должен обеспечивать расход точно в 1 моль/с окислителя (CO_2 и/или H_2O), чтобы весь метан смог конверсироваться в H_2 и CO . В зависимости от типа углеводорода, содержащегося в топливном газе, это соотношение между углеводородом и окислителем может быть различным. В случае со сверхстехиометрическим

соотношением, с другой стороны, расход окислителя (CO_2 и/или H_2O) в газовой смеси будет больше, чем его расход в случае со стехиометрическим соотношением. Например, если поток топливного газа обеспечивает расход в 1 моль/с метана CH_4 , то поток газовой смеси должен обеспечивать расход в 1,2 моль/с окислителя (CO_2 и/или H_2O), чтобы после полной реакции с углеводородом, содержащимся в топливном газе, в составе синтез-газа все еще был бы остающийся окислитель.

Смешивание доменного газа с топливным газом в сверхстехиометрическом соотношении, как это предложено настоящим изобретением и в отличие от того, что известно из уровня техники, например, из WO 2019/057930 A1, имеет несколько преимуществ. С одной стороны, избыточная часть доменного газа имеет ту же самую температуру, что и другие компоненты синтез-газа, привнося тем самым дополнительную скрытую теплоту в доменную печь, что позволяет уменьшить расход топлива в доменной печи. Выражаясь другими словами, количество доменного газа, выходящее за пределы стехиометрического соотношения, действует как теплоноситель внутри доменной печи, уменьшая потребление ею топлива. С другой стороны, это помогает увеличению температуры колошникового газа, поскольку присутствует теплонесущая среда внутри доменной печи. Выражаясь другими словами, количество доменного газа, выходящее за пределы стехиометрического соотношения, действует как теплоноситель внутри доменной печи. Избыточная часть доменного газа, таким образом, позволяет регулировать температуру колошникового газа доменной печи. Более того, избыточная часть доменного газа, действующая как теплоноситель, обеспечивает отработку процесса риформинга при более низкой температуре, чем температура, которая обычно требуется при использовании конверсионного реактора или конверсионного резервуара соответствующего размера. Альтернативно, при той же самой температуре реакции можно оставить неизменным размер реактора, обеспечивая существенное уменьшение капитальных затрат на производственную установку синтез-газа. Кроме того, CO_2 и/или H_2O , содержащиеся в синтез-газе вследствие наличия избыточной части доменного газа (то есть, вследствие того факта, что доменный газ смешивают с топливным газом в сверхстехиометрическом соотношении), могут вступать в реакцию с C с получением CO и/или H_2 по ходу эндотермической реакции, что понижает температуру пламени.

Нелишним также будет упомянуть, что сверхстехиометрическое соотношение может применяться, чтобы сократить нежелательные реакции, такие как, например, отложение нагара во время процесса риформинга.

5 Посредством регулирования сверхстехиометрического соотношения можно также контролировать реакцию конверсии.

10 При том, что доменный газ, предпочтительно, смешивают с топливным газом в сверхстехиометрическом соотношении перед процессом риформинга, не исключено и это в любом случае вписывается в объем настоящего изобретения, что доменный газ смешивают с топливным газом в стехиометрическом соотношении перед процессом риформинга и добавляют дополнительный доменный газ после процесса риформинга. В любом случае, полученный синтез-газ, подаваемый в доменную печь, может содержать значительное количество не вступившего в реакцию доменного газа.

15 С помощью способа согласно изобретению также представляется возможным полное исключение необходимости во вдувании горячего дутья в доменную печь. Но даже если вдувание горячего дутья и применяют (в уменьшенной степени), то обогащенный кислородом газ не смешивают с горячим дутьем за пределами доменной печи, а вдувают его отдельно. Например, его можно было бы вдувать с использованием отдельного копия вдувания или через отдельное отверстие в зоне фурмы.

20 Предпочтительно, синтез-газ подают в доменную печь с температурой, составляющей по меньшей мере 800 °С, предпочтительно по меньшей мере 1000 °С. Выражаясь другими словами, синтез-газ подают как горячий газ. При этом может потребоваться нагрев синтез-газа после процесса риформинга. В других случаях синтез-газ может иметь настолько достаточно высокую температуру после процесса риформинга, что он может вводиться в доменную печь без дополнительного нагрева. Синтез-газ может вдуваться в доменную печь на уровне фурменного пояса или, альтернативно, также на уровне нижней части шахты доменной печи.

30 В то же самое время, обогащенный кислородом газ может иметь температуру меньше 100 °С. Прежде всего, обогащенный кислородом газ может иметь температуру окружающей среды, то есть от 15 °С до 40 °С. При этом альтернативно, обогащенный кислородом газ может иметь температуру, составляющую по меньшей мере 100 °С. Такая повышенная температура может

быть обусловлена, например, процессом производства обогащенного кислородом газа.

Согласно одному варианту осуществления сверхстехиометрическое соотношение корректируют, чтобы контролировать температуру колошниково-
5 газа доменной печи. Выражаясь другими словами, соотношение (или стехиометрический коэффициент) используют как средство контроля температуры колошниково-
10 газа. Предпочтительно, температуру колошниково-газа измеряют непосредственно или опосредованно и регулируют путем динамической адаптации соотношения. Выражаясь другими
15 словами, используют замкнутый контур для ограничения более значительных отклонений температуры.

Согласно другому варианту осуществления, который может комбинироваться с вышеприведенным вариантом осуществления, сверхстехиометрическое соотношение корректируют, чтобы контролировать
15 температуру пламени в доменной печи. В этом случае соотношение используют как средство контроля температуры пламени. Это основано, главным образом, на эндотермической реакции CO_2 и/или H_2O с компонентами, такими как кокс или вспомогательное топливо, которые могут подаваться или вдуваться в доменную
20 печь. В свою очередь, температура пламени может измеряться непосредственно или опосредованно, а (сверхстехиометрическое) соотношение может корректироваться, чтобы регулировать температуру пламени.

Предпочтительно, вспомогательное топливо, такое как пылеугольное топливо (ПУГ), которое, как известно, вдувают, или газ, такой как природный
25 газ или коксовый газ - этим, однако, не ограничиваясь - подают в доменную печь вместе с синтез-газом и обогащенным кислородом газом. Эта разновидность техпроцесса, в принципе, известна из уровня техники. В этом варианте осуществления сверхстехиометрическое количество доменного газа действует как теплоноситель внутри доменной печи, предпочтительно позволяя
30 увеличивать количество вспомогательного топлива, подаваемого в доменную печь.

Существуют различные возможности, как различные компоненты могут подаваться в доменную печь. Как было упомянуто выше, синтез-газ может подаваться либо на уровне фурменного пояса, либо на уровне шахты печи. Например, синтез-газ может подаваться через фурму, в то время как

обогащенный кислородом газ и вспомогательное топливо подают через специальные копыя вдувания, расположенные внутри фурмы. Альтернативно, вспомогательное топливо и обогащенный кислородом газ могут вдуваться через одно копые вдувания, которое концентрично расположено внутри фурмы, причем
5 вспомогательное топливо проходит через внутреннюю трубку, а холодный кислород - через внешнюю трубку.

Не весь доменный газ, который улавливают из доменной печи, обязательно должен смешиваться с топливным газом. Согласно одному варианту осуществления часть доменного газа сжигают вместе с кислородом для создания
10 отработанного газа. При этом не обязательно, хотя, возможно, и предпочтительно было бы использовать кислород (O_2) очень высокой чистоты. Скорее наоборот, можно использовать любой газ или газовую смесь с достаточной концентрацией O_2 , возможно, даже воздух. В качестве примера, доменный газ может иметь концентрацию N_2 менее 5 %, концентрацию CO и
15 CO_2 - примерно по 40 % каждый, и примерно 15 % водорода H_2 . Когда этот газ сжигают вместе с кислородом, отработанный газ может иметь приблизительный состав из 80 % CO_2 , 15 % H_2O и 5 % N_2 . Если брать шире, то доменный газ может иметь концентрацию N_2 в 0-50 %, концентрацию CO и CO_2 - по 20-50 %
каждый и концентрацию H_2 в 2-25 %. Само собой разумеется, что состав
20 отработанного газа зависит от фактического состава доменного газа.

Отработанный газ или отходящий газ, предпочтительно, можно конденсировать и охлаждать. В результате этого концентрация CO_2 может быть дополнительно увеличена, например, до 95 %.

Предпочтительно, часть доменного газа сжигают в нагревательном
25 устройстве. Такое нагревательное устройство, которое может включать в себя одну или несколько горелок, может использоваться для различных целей. Например, нагревательное устройство может использоваться для нагрева доменного газа, топливного газа, газовой смеси и/или синтез-газа. Оно также может использоваться для обеспечения подачи энергии для реакции конверсии.
30 Если его используют для нагрева синтез-газа, то делают это, главным образом, для того, чтобы увеличить количество скрытой теплоты, вводимой в доменную печь с помощью синтез-газа.

Прежде всего, после вышеупомянутой конденсации и охлаждения концентрация CO_2 в отработанном газе является чрезвычайно высокой. Поэтому,

по меньшей мере, часть отработанного газа может быть использована для улавливания и хранения углерода. Альтернативно или дополнительно, по меньшей мере, часть отработанного газа может быть использована для улавливания и утилизации углерода.

5 Альтернативно или дополнительно, по меньшей мере, часть отработанного газа может быть использована для производства синтез-газа. Производство синтез-газа может включать в себя техпроцесс, аналогичный или идентичный процессу риформинга, как описано выше. Например, это может быть сухая конверсия, при котором CO_2 вступает в реакцию с углеводородами с получением
10 CO_2 и H_2O .

Другой возможностью является то, что, по меньшей мере, часть доменного газа подают по меньшей мере на одну внешнюю установку. Эта внешняя установка не является частью доменной печи или не связана с ней непосредственно. Это может быть некая другая установка в сталеплавильном
15 цехе или даже за пределами сталеплавильного цеха. На этой внешней установке или внешнем оборудовании доменный газ может использоваться в качестве топлива для сгорания или для других химических целей. Также представляется возможным попросту использовать остаточную скрытую теплоту доменного газа.

20 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 способа эксплуатации доменной печи согласно настоящему изобретению.

25 Описание предпочтительных вариантов осуществления

На фиг. 1 показана установка 10 доменной печи, включающая в себя доменную печь 12. На верхнем конце 16 доменной печи 12, в целом, принимают завалку кокса 18 и завалку руды 20, в то время как на нижнем конце 22 доменной печи 12, в целом, принимают пылеугольное топливо 24 и
30 обогащенный кислородом газ 26. Обогащенный кислородом газ, например, может иметь концентрацию O_2 в 95 % и концентрацию N_2 в 5 %. На нижнем конце 22 из доменной печи 12 выпускают чушковый чугун 28 и шлак 30. Принцип работы доменной печи как таковой хорошо известен и дополнительно здесь не будет описан.

Установка 10 доменной печи также включает в себя газорекуперационные трубы 40 для рекуперации доменного газа из доменной печи 12. В качестве примера, рекуперированный доменный газ может иметь концентрацию N_2 менее 5 %, концентрацию CO и CO_2 - примерно по 40 % каждый и примерно 15 % водорода H_2 . Если брать шире, то доменный газ может иметь концентрацию N_2 в 0-50 %, концентрацию CO и CO_2 - по 20-50 % каждый и концентрацию H_2 в 2-25 %. Его подают в рекуперационный газопровод 42, снабженный распределительным клапаном 44. Установка 10 доменной печи может включать в себя установку газоочистки 43, расположенную между газорекуперационными трубами 40 и распределительным клапаном 44, предусмотренную для очистки рекуперированного из доменной печи 12 газа, главным образом, чтобы удалить твердые частицы из газа и, по возможности, конденсировать часть пара, содержащегося в доменном газе. Необходимо отметить, что вышеприведенные концентрации даны с учетом состава доменного газа в сухом состоянии. При этом доменный газ также может быть и влажным, то есть он может содержать влагу.

На участке распределительного клапана 44, по меньшей мере, часть рекуперированного доменного газа направляют через первую питающую трубу 46 в смесительную камеру 48. Смесительная камера 48 снабжена второй питающей трубой 50 для подачи содержащего углеводороды газа, например коксового газа и/или природного газа и/или биогаза, в смесительную камеру 48. Внутри смесительной камеры 48 доменный газ и содержащий углеводороды газ смешивают друг с другом, чтобы сформировать газовую смесь. Эту газовую смесь подают затем через третью питающую трубу 52, которая может включать в себя воздуходувку 54, в реактор 56. В реактор 56 может вводиться энергия 53, чтобы поддерживать реакцию и нагревать газовую смесь. Энергия 53 может подводиться в реактор непосредственно или опосредованно. Энергией может быть любая разновидность энергии, такая как, например, электроэнергия, для чего используют электрическую дугу, плазменный факел или электрическое сопротивление, но, предпочтительно, она может получаться в результате процесса сжигания топливного газа в горелке 57. Газовую смесь, как правило, подвергают компрессии. Альтернативно, оба газа могут подвергаться компрессии по отдельности, и после этого их смешивают. В реакторе 56 газовую смесь нагревают до высокой температуры, тем самым подвергая газовую смесь

процессу риформинга, который в данном случае является, главным образом, сухим процессом риформинга в соответствии со следующей схемой реакции: $\text{CO}_2 + \text{CH}_4 \rightarrow 2 \text{H}_2 + 2 \text{CO}$. В этом примере сухой процесс риформинга осуществляют внутри реактора 56 при температуре от 800 °С до 1500 °С без необходимости в использовании катализатора. Альтернативно, можно было бы использовать и катализатор, например, снабдить реактор 56 катализатором.

Полученный синтез-газ затем подают через четвертую питающую трубу 58- в качестве восстановительного газа - обратно в доменную печь 12 либо на уровне фурменного пояса, либо на уровне нижней части шахты печи.

В случае с вдуванием синтез-газа на уровне фурменного пояса синтез-газ вдувают вместе со вспомогательным топливом 24 и обогащенным кислородом газом 26. При том, что синтез-газ подают при температуре по меньшей мере в 800 °С, обогащенный кислородом газ 26 имеет, как правило, температуру окружающей среды, хотя он также может иметь и более высокую температуру.

При том, что использование обогащенного кислородом газа 26 увеличивает производительность доменной печи 12, это потенциально могло бы привести к определенным трудностям. С одной стороны, это могло бы привести к увеличению температуры пламени в доменной печи 12 в зоне горения перед фурмами, поскольку пламя не будет охлаждаться азотом, с другой стороны, температура колошникового газа могла бы понизиться вследствие того, что стимулируемая азотом теплопередача, а следовательно и нагрев холодной шихты в печи, будут в значительной степени уменьшенными. Для противодействия этим проблемам в первой питающей трубе 46 расположен клапан 47 для регулирования расхода, с помощью которого можно корректировать соотношение доменного газа и топливного газа. В целом, применяют такое сверхстехиометрическое соотношение, что синтез-газ может содержать не вступивший в реакцию доменный газ. Прежде всего, увеличивают концентрацию CO_2 и/или концентрацию H_2O в синтез-газе. С одной стороны, этот дополнительный доменный газ привносит дополнительную скрытую теплоту в доменную печь 12, что помогает увеличить температуру колошникового газа. С другой стороны, CO_2 и/или H_2O , содержащиеся в синтез-газе, могут вступать в реакцию с С в доменной печи 12 с получением CO и/или H_2 по ходу эндотермической реакции, что понижает температуру пламени. Прежде всего, можно отслеживать температуру колошникового газа и/или температуру

пламени и можно корректировать соотношение для контроля по меньшей мере одной из этих температур и поддержания ее в пределах нужного диапазона.

На участке распределительного клапана 44, по меньшей мере, часть рекуперированного доменного газа может направляться через пятую питающую трубу 60 к горелке 57 реактора 56 в расчете на подвод энергии 53, необходимой для подогрева газовой смеси и поддержания реакции конверсии. Альтернативно или дополнительно, она (часть рекуперированного доменного газа – прим. переводчика) также могла бы использоваться для работы горелки для нагрева доменного газа в первой питающей трубе 46, коксового газа во второй питающей трубе 50 или синтез-газа в четвертой питающей трубе 58. В горелке 57 доменный газ сжигают, предпочтительно, вместе с кислородом 64, получая в результате отработанный газ 66 с высоким содержанием CO_2 . Отработанный газ 66 может иметь, например, следующий состав: 80 % CO_2 , 15 % H_2O и 5 % N_2 . Он может быть собран и подан в охладитель 68, где его конденсируют и охлаждают, в результате чего концентрация CO_2 может быть увеличена дополнительно, например, до 95 %. Следовательно, он может быть использован для улавливания и хранения углерода (технология УХУ) на участке хранения 70 или может быть использован, например, в химической установке 72 для производства синтез-газа.

Еще одну часть доменного газа пускают через шестую питающую трубу 62 на внешнюю установку 74, которая не является частью доменной печи или не связана с ней непосредственно. Это может быть некая другая установка в сталеплавильном цехе или даже за пределами сталеплавильного цеха. На этой внешней установке 74 доменный газ может использоваться, например, в качестве топлива для горелки или для других химических целей.

ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОЧНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

	10	установка доменной печи	48	смесительная камера
	12	доменная печь	50	вторая питающая труба
5	16	верхний конец	52	третья питающая труба
	18	завалка кокса	53	энергия
	20	завалка руды	54	воздуходувка
	22	нижний конец	56	реактор
	24	вспомогательное топливо	57	горелка
10	26	обогащенный кислородом газ	58	четвертая питающая труба
	28	чушковый чугун	60	пятая питающая труба
	30	шлак	62	шестая питающая труба
	40	газорекуперационная труба	64	кислород
	42	рекуперационный газопровод	66	отработанный газ
15	43	установка газоочистки	68	охладитель
	44	распределительный клапан	70	участок хранения
	46	первая питающая труба	72	химическая установка
	47	клапан для регулирования расхода	74	внешняя установка

ПЕРВОНАЧАЛЬНАЯ ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ эксплуатации доменной печи, причем способ включает в себя:
 - сбор доменного газа из доменной печи (12), причем доменный газ
5 является CO_2 -содержащим газом,
 - смешивание доменного газа с топливным газом для получения газовой смеси, причем топливный газ является содержащим углеводороды газом,
 - выполнение процесса риформинга газовой смеси, получая тем самым синтез-газ, содержащий CO и H_2 , и
10 - подачу, по меньшей мере, части синтез-газа и обогащенного кислородом газа (26) в доменную печь,
причем доменный газ смешивают с топливным газом, при содержании, по существу, того же самого количества CO_2 , что и при выходе из доменной печи, и причем доменный газ смешивают с топливным газом в сверхстехиометрическом
15 соотношении таким образом, что синтез-газ содержит избыточную часть доменного газа.

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что доменный газ смешивают с топливным газом в сверхстехиометрическом соотношении перед процессом
20 риформинга.

3. Способ по п. 1, отличающийся тем, что доменный газ смешивают с топливным газом в стехиометрическом соотношении перед процессом риформинга, в то время как после процесса риформинга с синтез-газом
25 смешивают дополнительный доменный газ.

4. Способ по одному из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что обогащенный кислородом газ (26) содержит по меньшей мере 60 %, предпочтительно по меньшей мере 80 %, более предпочтительно по меньшей
30 мере 90 %, O_2 .

5. Способ по одному из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что обогащенный кислородом газ имеет температуру менее 100 °C.

6. Способ по одному из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что синтез-газ подают в доменную печь (12) на уровне фурменного пояса и/или на уровне нижней части шахты печи с температурой, составляющей по меньшей мере 800 °С, предпочтительно по меньшей мере 1000 °С.

5

7. Способ по одному из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что сверхстехиометрическое соотношение корректируют, чтобы контролировать температуру колошникового газа доменной печи (12).

10

8. Способ по одному из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что сверхстехиометрическое соотношение корректируют, чтобы контролировать температуру пламени в доменной печи (12).

15

9. Способ по одному из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что в дополнение к синтез-газу и обогащенному кислородом газу (26) в доменную печь подают вспомогательное топливо (24).

20

10. Способ по одному из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что часть доменного газа сжигают вместе с кислородом (64) для создания отработанного газа (66).

11. Способ по одному из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что отработанный газ (66) конденсируют и охлаждают.

25

12. Способ по одному из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что часть доменного газа сжигают в нагревательном устройстве (57).

30

13. Способ по одному из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что нагревательное устройство (57) используют для нагрева доменного газа, топливного газа, газовой смеси и/или синтез-газа.

14. Способ по одному из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что, по меньшей мере, часть отработанного газа (66) используют для улавливания и хранения углерода и/или для улавливания и утилизации углерода.

15. Способ по одному из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что, по меньшей мере, часть отработанного газа (66) используют для производства синтез-газа.

УТОЧНЕННАЯ ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ эксплуатации доменной печи, причем способ включает в себя:
 - сбор доменного газа из доменной печи (12), причем доменный газ является CO_2 -содержащим газом,
 - смешивание доменного газа с топливным газом для получения газовой смеси, причем топливный газ является содержащим углеводороды газом,
 - выполнение процесса риформинга газовой смеси, получая тем самым синтез-газ, содержащий CO и H_2 , и
 - подачу, по меньшей мере, части синтез-газа и обогащенного кислородом газа (26) в доменную печь, причем доменный газ смешивают с топливным газом, не будучи подверженным предварительной декарбонизации после выхода из доменной печи, и причем доменный газ смешивают с топливным газом в сверхстехиометрическом соотношении таким образом, что синтез-газ содержит избыточную часть доменного газа.
2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что доменный газ смешивают с топливным газом в сверхстехиометрическом соотношении перед процессом риформинга.
3. Способ по п. 1, отличающийся тем, что доменный газ смешивают с топливным газом в стехиометрическом соотношении перед процессом риформинга, в то время как после процесса риформинга с синтез-газом смешивают дополнительный доменный газ.
4. Способ по одному из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что обогащенный кислородом газ (26) содержит по меньшей мере 60 %, предпочтительно по меньшей мере 80 %, более предпочтительно по меньшей мере 90 %, O_2 .
5. Способ по одному из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что обогащенный кислородом газ имеет температуру менее 100 °C.

6. Способ по одному из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что синтез-газ подают в доменную печь (12) на уровне фурменного пояса и/или на уровне нижней части шахты печи с температурой, составляющей по меньшей мере 800 °С, предпочтительно по меньшей мере 1000 °С.

5

7. Способ по одному из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что сверхстехиометрическое соотношение корректируют, чтобы контролировать температуру колошникового газа доменной печи (12).

10

8. Способ по одному из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что сверхстехиометрическое соотношение корректируют, чтобы контролировать температуру пламени в доменной печи (12).

15

9. Способ по одному из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что в дополнение к синтез-газу и обогащенному кислородом газу (26) в доменную печь подают вспомогательное топливо (24).

20

10. Способ по одному из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что часть доменного газа сжигают вместе с кислородом (64) для создания отработанного газа (66).

11. Способ по одному из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что отработанный газ (66) конденсируют и охлаждают.

25

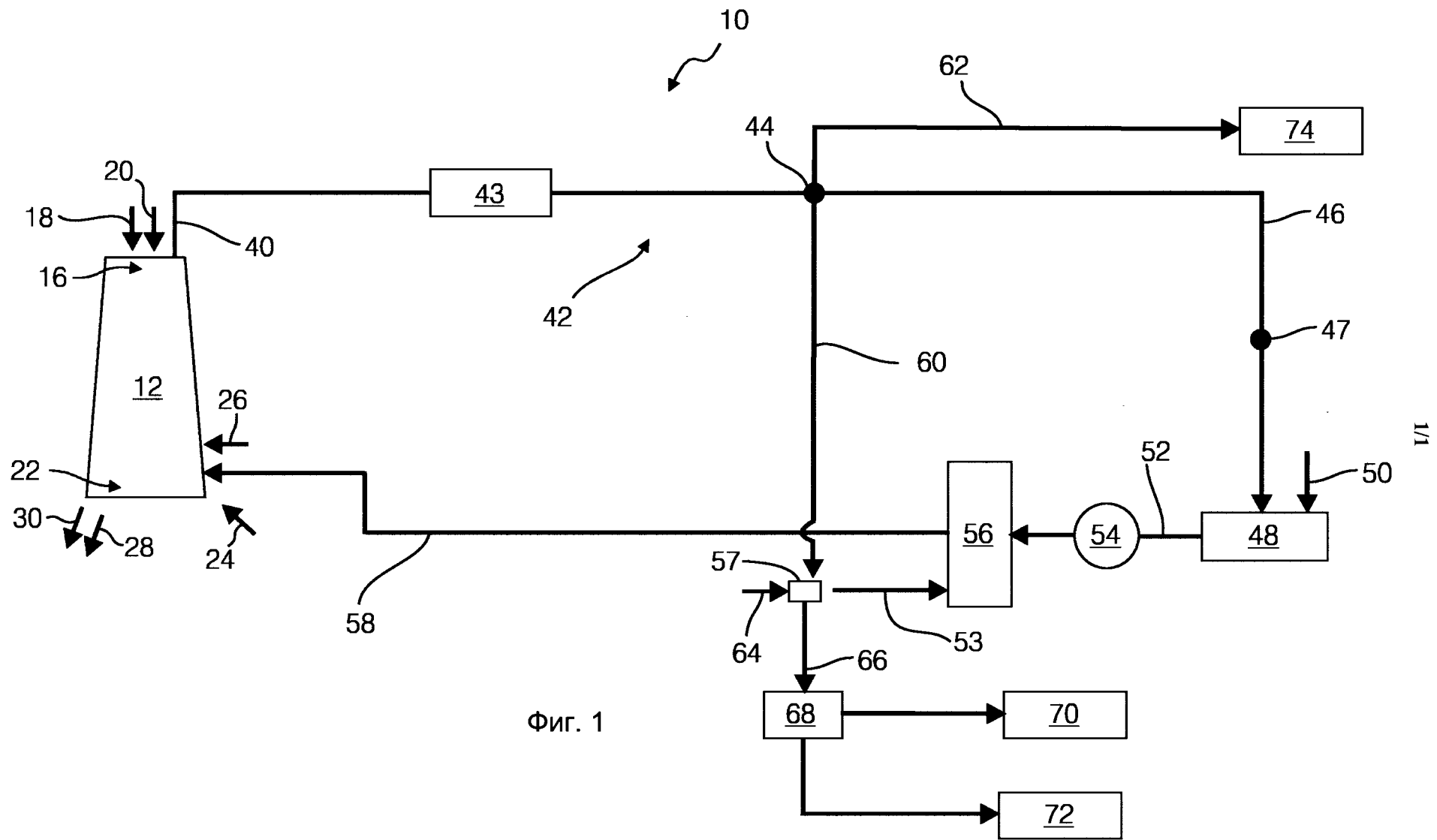
12. Способ по одному из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что часть доменного газа сжигают в нагревательном устройстве (57).

30

13. Способ по одному из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что нагревательное устройство (57) используют для нагрева доменного газа, топливного газа, газовой смеси и/или синтез-газа.

14. Способ по одному из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что, по меньшей мере, часть отработанного газа (66) используют для улавливания и хранения углерода и/или для улавливания и утилизации углерода.

15. Способ по одному из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что, по меньшей мере, часть отработанного газа (66) используют для производства синтез-газа.



Фиг. 1