

(19)



Евразийское  
патентное  
ведомство

(21) 202490796 (13) A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки  
2024.07.18

(51) Int. Cl. C21B 13/00 (2006.01)  
C21B 5/06 (2006.01)  
C01B 3/04 (2006.01)

(22) Дата подачи заявки  
2022.09.26

(54) СПОСОБ ЭКСПЛУАТАЦИИ УСТАНОВКИ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

(31) LU500699

(72) Изобретатель:

(32) 2021.09.28

Кинцель Клаус Петер, Касс Жиль

(33) LU

(LU), Мюнцер Йоханнес, Валериус

(86) PCT/EP2022/076722

Мириам (DE), Диделон Фернан (LU)

(87) WO 2023/052308 2023.04.06

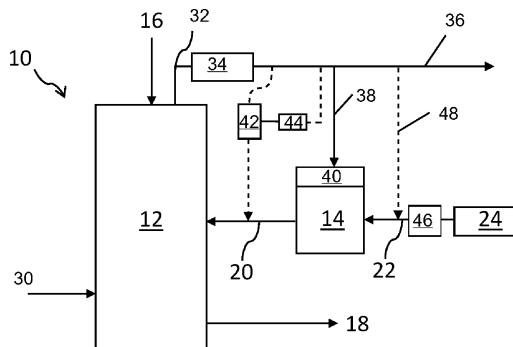
(74) Представитель:

(71) Заявитель:

ПАУЛЬ БЮРТ С.А. (LU)

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) Способ эксплуатации установки шахтной печи, включающей в себя шахтную печь и установку риформинга аммиака, причем способ включает в себя следующие шаги: а) подача потока аммиака в установку риформинга аммиака, б) крекинг потока аммиака в установке риформинга аммиака с получением восстановительного газа, в) подача содержащей оксид железа шихты и восстановительного газа в шахтную печь, г) восстановление оксида железа внутри шахтной печи путем реакции между содержащей оксид железа шихтой и восстановительным газом, причем восстановительный газ содержит менее 15% аммиака, предпочтительно менее 10% аммиака. Изобретение относится также к установке шахтной печи, выполненной для осуществления такого способа.



202490796 A1

202490796

A1

## СПОСОБ ЭКСПЛУАТАЦИИ УСТАНОВКИ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

5 Область техники

Настоящее изобретение, в общем, относится к способу эксплуатации установки шахтной печи, а также к такой установке шахтной печи. Прежде всего, изобретение относится к способу эксплуатации доменной печи.

Уровень техники

10 С учетом Парижского соглашения и практически глобального консенсуса о необходимости принятия мер по снижению выбросов, необходимо, чтобы каждый промышленный сектор рассматривал возможность разработки решений по повышению энергоэффективности и снижению выбросов CO<sub>2</sub>.

15 В этом контексте субъекты в области металлургии железа разработали новые подходы, чтобы уменьшить экологический след доменного способа производства железа. Действительно, несмотря на альтернативные способы, такие как переплавка лома или прямое восстановление в электродуговой печи, доменная печь (ДП) сегодня все еще представляет собой наиболее широко используемый процесс производства стали, и в течение многих лет  
20 предпринимались усилия по сокращению выбросов CO<sub>2</sub> из доменных печей, чтобы внести вклад в общее снижение выбросов CO<sub>2</sub> во всем мире.

Кокс является основным источником энергии при выплавке чугуна в доменной печи. С точки зрения выбросов CO<sub>2</sub>, а зачастую и с экономической точки зрения, это менее выгодный источник энергии.

25 В основном для того, чтобы уменьшить количество используемого кокса, была разработана стратегия регенерации колошниковога газа доменной печи, его обработки для улучшения восстановительного потенциала и введения обратно в доменную печь для содействия процессу восстановления. Одним из способов такой обработки является снижение содержания CO<sub>2</sub> в доменном газе с  
30 помощью адсорбции под давлением (PSA) или вакуумной адсорбции под давлением (VPSA). Установки PSA/VPSA производят первый газовый поток, обогащенный CO и H<sub>2</sub>, и второй газовый поток, обогащенный CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O. Первый газовый поток может использоваться в качестве восстановительного газа и подаваться обратно в доменную печь. Хотя установки PSA/VPSA позволяют

снизить содержание  $\text{CO}_2$  в доменном газе с примерно 40 мол. % до примерно 5 мол. %, они очень дороги в приобретении, обслуживании и эксплуатации, а также требуют много места.

5 В контексте сокращения выбросов  $\text{CO}_2$  также прилагаются значительные усилия для сокращения использования углеродистого топлива для эксплуатации самой доменной печи. В настоящее время широко применяется замена кокса другими источниками энергии, в основном впрыскиваемыми на уровне фурмы. По соображениям стоимости в основном вводится пылевидный уголь. Дополнительно или в качестве альтернативы, используется топливо с 10 повышенным содержанием водорода в виде углеводородов, газообразного водорода  $\text{H}_2$  или их смеси, в основном в странах с низкими ценами на природный газ. Водород и углеводороды, обладая высокой теплотворной способностью, имеют потенциал для впрыска в фурму доменной печи в качестве вспомогательного топлива.

15 Эти вспомогательные виды топлива оказывают положительное влияние на выбросы  $\text{CO}_2$  при доменном производстве стали, но их использование ограничено по технологическим причинам, и очень часто эти пределы уже достигнуты сегодня. Действительно, чем выше участие водорода, тем, как правило, выше потенциал сокращения выбросов  $\text{CO}_2$  при работе доменной печи. 20 Однако впрыск холодного  $\text{H}_2$  и/или углеводородов через фурму вместе с большим количеством пылеугольного топлива (PCI) приводит к значительному снижению RAFT (температуры адиабатического пламени). Для увеличения RAFT требуется более высокое обогащение кислородом, но оно ограничено температурой колошникового газа. Поэтому через фурмы в доменную печь 25 может быть введено лишь относительно небольшое количество холодного  $\text{H}_2$  и/или углеводородов, что ограничивает потенциал экономии  $\text{CO}_2$ , заложенный в данной технологии.

Кроме того, в некоторых странах не хватает "зеленой" энергии для удовлетворения потребностей сталеплавильного завода. Кроме того, 30 производство и/или импорт водорода является очень дорогим и сложным, требующим наличия специальных инфраструктур. Таким образом, по-прежнему существует потребность в альтернативных способах подачи обогащенного водородом газа в шахтные печи, прежде всего в доменные печи.

### Задача изобретения

Таким образом, задачей настоящего изобретения является создание способа эксплуатации установки шахтной печи, а также соответствующей установки шахтной печи, которые снижают выбросы  $\text{CO}_2$ , возникающие при эксплуатации шахтной печи, и, по меньшей мере, частично преодолевают вышеупомянутые проблемы.

Эта цель достигнута с помощью способа по п. 1 формулы изобретения и установки для шахтной печи по п. 15 формулы изобретения.

### Общее описание изобретения

Для достижения объекта настоящего изобретения предлагает, в первом аспекте, способ эксплуатации установки шахтной печи, включающей в себя шахтную печь и установку риформинга аммиака, причем способ включает в себя шаги:

- а) подача потока аммиака на установку риформинга аммиака,
- б) крекинг потока аммиака в установке риформинга аммиака с получением восстановительного газа,
- в) подача содержащей оксид металла шихты в шахтную печь,
- г) восстановление оксида металла внутри шахтной печи путем реакции между шихтой, содержащей оксид металла, и восстановительным газом.

Согласно изобретению восстановительный газ содержит менее 15 мол. % аммиака, предпочтительно менее 10 мол. % аммиака. Хотя способ может быть применен для производства других металлов, таких как свинец или медь, из соответствующей содержащей оксид металла шихты, шахтная печь, предпочтительно, используется для производства железа (из содержащей оксид железа шихты), такого как, например, чугуна, шлак, железо прямого восстановления (губчатое железо), горячебрикетированное железо (НБИ) или тому подобное.

Настоящий способ особенно адаптирован к предпочтительным вариантам осуществления, в которых шахтная печь представляет собой реактор прямого восстановления или доменную печь. Однако данный способ может быть реализован для эксплуатации установки с шахтной печью, включающей в себя любую шахтную печь.

В контексте настоящего раскрытия восстановительный газ относится к газу, способному восстанавливать металл/оксид железа, содержащий шихту, будучи

окисленным, тем самым производя металл/железо. В настоящем тексте крекинг аммиака также может быть назван риформингом аммиака так, что восстановительный газ также может быть описан как крекинг аммиака, а непрореагировавший аммиак может быть назван некрекированным или нериформированным аммиаком.

В контексте настоящего раскрытия шихта, содержащая оксид железа, относится к материалу, включающему гидроксиды железа, оксиды-гидроксиды железа, оксиды железа, такие как оксиды железа (II) или железа (III), или смешанные оксиды железа (II) и железа (III). Оксид железа, содержащий шихту, может относиться к железным рудам, из которых металлическое железо может быть экономически выгодно извлечено. Такие железные руды обычно богаты оксидами железа в виде магнетита ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , 72,4 % по массе Fe), гематита ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , 69,9 % по массе Fe), гетита ( $\text{FeO}(\text{OH})$ , 62,9 % по массе Fe), лимонита ( $\text{FeO}(\text{OH})\cdot n(\text{H}_2\text{O})$ , 55 % по массе Fe) или сидерита ( $\text{FeCO}_3$ , 48,2 % по массе Fe).

Содержащая оксид железа шихта может также включать железо прямого восстановления (губчатое железо, DRI), горячее брикетированное железо (HBI), лом или их смеси.

В контексте настоящего раскрытия установка риформинга представляет собой установку риформинга аммиака (также называемую установкой крекинга аммиака) и включает в себя по меньшей мере один реактор риформинга, выполненный для риформинга (то есть, крекинга) аммиака в соответствии со следующей реакцией:  $2 \text{NH}_3 \rightarrow \text{N}_2 + 3 \text{H}_2$ . Другими словами, установка риформинга - это место, где аммиак подвергается крекингу.

В вариантах осуществления изобретения в шахтную печь подаются другие восстановители и/или науглероживающие агенты и/или топливо, восстановительный газ или их смеси.

В контексте настоящего раскрытия и в случае, когда шахтная печь является доменной печью, типичными восстановительными и науглероживающими агентами являются кокс, загружаемый в колошник доменной печи вместе с железосодержащим материалом, и материалы, вводимые в фурму доменной печи, такие как пылевидный уголь, природный газ, коксовый газ, биогаз, сингаз, древесный уголь.

В контексте настоящего раскрытия и в случае печи прямого восстановления типичными восстановителями и науглероживающими агентами являются

природный газ и сингаз (газ, полученный в результате риформинга углеводородсодержащего газа, такого как природный газ, содержащий в основном CO, H<sub>2</sub> и в меньших количествах CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, ...).

В вариантах осуществления изобретения установка риформинга аммиака может включать в себя несколько реакторов риформинга, причем реакторы риформинга расположены последовательно или параллельно друг другу, или установка риформинга аммиака может включать в себя несколько реакторов риформинга, расположенных с образованием по меньшей мере двух серий реакторов риформинга, причем по меньшей мере две серии расположены параллельно друг другу. В вариантах осуществления изобретения, когда установка риформинга аммиака включает в себя более одного реактора риформинга, реакторы риформинга могут быть идентичными или отличаться друг от друга. Точное количество, тип и расположение реакторов риформинга в установке риформинга аммиака может быть выгодно адаптировано в зависимости от последующей подачи полученного восстановительного газа в шахтную печь для удовлетворения требований к полученному восстановительному газу (таких как, например, температура, остаточное количество аммиака).

В другом аспекте настоящее изобретение также предлагает установку с шахтной печью, включающую в себя:

шахтную печь, и  
установку риформинга аммиака, имеющую вход для газа и выход для газа, причем вход для газа находится в гидродинамическом соединении с источником аммиака и/или теплообменником, а выход для газа находится в гидродинамическом соединении с шахтной печью.

Преимущественно, установка с шахтной печью выполнена для эксплуатации посредством осуществления способа согласно первому аспекту, как более подробно описано ниже.

Таким образом, в настоящем документе предлагается интегрированный способ и соответствующая установка, позволяющие эксплуатировать шахтную печь с пониженным содержанием кокса и/или других источников углерода, с меньшим выбросом CO<sub>2</sub> и с оптимизированным использованием существующих инфраструктур.

Настоящий способ предлагает использование аммиака в качестве нового простого и экономичного энергоносителя, идеально подходящего для сталелитейной промышленности и, более конкретно, для шахтных печей с целью снижения выбросов  $\text{CO}_2$  при сохранении большей части существующей инфраструктуры.

Действительно, изобретатели обнаружили, что этот способ эксплуатации очень хорошо вписывается в энергетическую стратегию стран, стремящихся к сокращению выбросов  $\text{CO}_2$ . Транспортировка аммиака может быть реализована в установках, очень похожих на установки, предназначенные для транспортировки сжиженного природного газа (LNG) или сжиженного нефтяного газа (LPG), а также существующие инфраструктуры могут быть относительно легко адаптированы, поскольку температура сжижения аммиака составляет  $-33^\circ\text{C}$  при давлении окружающей среды. Таким образом, он совместим с типичными установками для сжиженного газа и/или LNG.

Для снижения выбросов  $\text{CO}_2$  на сталелитейном заводе аммиак может использоваться непосредственно в качестве дополнительного топливного газа в горелках, например, в горелках коуперной установки, печей повторного нагрева... и тепловых электростанций. При использовании аммиака непосредственно в горелках возникает проблема выбросов  $\text{NO}_x$ , связанных со сжиганием обогащенного азотом топлива - аммиака. Подобных проблем можно избежать, если подавать крекированный горячий аммиак в качестве восстановителя (то есть, восстановительного газа) в шахтную печь, как описано выше. Остаток восстановительного газа, выходящего из шахтной печи, добавляет компоненты  $\text{H}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{N}_2$  к выходящему колошниковому газу. В результате конденсации  $\text{H}_2\text{O}$  выходящий колошниковый газ будет только богаче  $\text{N}_2$  и  $\text{H}_2$  с минимальным влиянием на образование  $\text{NO}_x$  при его сжигании. Это даже будет иметь тот положительный эффект, что выходящий колошниковый газ будет иметь более низкую теплотворную способность, что приведет к более высокому КПД и, таким образом, снижению энергопотребления последующих печей и тепловых электростанций, использующих колошниковый газ, выходящий из шахтной печи.

Таким образом, основным преимуществом предлагаемого способа является определение способа повышения эффективности использования аммиака на

сталелитейном заводе и, прежде всего, в шахтных печах с целью дальнейшего снижения выбросов  $\text{CO}_2$ .

Другое преимущество заключается в том, что производство сингаза с высоким содержанием водорода ( $\text{H}_2$ ) из аммиака посредством процесса риформинга (то есть, крекинга) является высокоэффективным.

Кроме того, крекинг аммиака является высокоэнталпической реакцией и требует большого количества энергии (то есть, около  $2,5 \text{ МДж/Нм}^3 \text{ NH}_3$ ) для осуществления. Поэтому впрыск горячего нерасщепленного аммиака в шахтную печь с термической точки зрения можно сравнить с впрыском холодного  $\text{N}_2$  и холодного  $\text{H}_2$ , что приведет к сильному снижению температуры в точке впрыска, тем самым замедляя реакцию между восстановительным газом и содержащей оксид железа шихтой. Для компенсации эффекта охлаждения, вызванного впрыском нерасщепленного аммиака, потребуется загрузить больше кокса, что отрицательно скажется на потенциале снижения выбросов  $\text{CO}_2$ . Таким образом, крекинг аммиака вне шахтной печи предотвращает потребление дополнительного углеродсодержащего восстановителя для эксплуатации шахтной печи, тем самым обеспечивая более высокое снижение выбросов  $\text{CO}_2$  на установке шахтной печи.

Кроме того, поскольку крекинг аммиака происходит вне шахтной печи, реакция может лучше отслеживаться и контролироваться так, что оператор может всегда знать состав (то есть, количество  $\text{H}_2$  и  $\text{N}_2$ , а также количество возможного непрореагировавшего остаточного  $\text{NH}_3$ ) восстановительного газа, подаваемого в шахтную печь, что, следовательно, приводит к лучшему контролю производства чугуна.

В вариантах осуществления изобретения конверсия аммиака в установке риформинга аммиака постоянна во времени, что гарантирует, что восстановительный газ, подаваемый в шахтную печь, имеет одинаковый восстановительный потенциал, тем самым обеспечивая стабильное качество и свойства восстановительного газа, вводимого в шахтную печь.

В качестве альтернативы, восстановительный потенциал и другие свойства (такие как, например, температура, давление) восстановительного газа динамически адаптируются в соответствии с изменениями требований шахтной печи. Такие регулировки представляют особый интерес, когда подача содержащей оксид железа шихты, не является постоянной во времени, и/или



когда качество производимого железа должно быть изменено в процессе производства без необходимости остановки шахтной печи.

Основные преимущества и выгоды способа эксплуатации и установки шахтной печи в соответствии с раскрытием изобретения могут быть обобщены следующим образом:

- повторное использование существующей инфраструктуры,  
- экономически эффективная транспортировка по сравнению с транспортировкой водорода, поскольку аммиак имеет более высокую плотность энергии по объему, чем водород.

- повышение эффективности использования аммиака в шахтной печи.

Эти и другие преимущества настоящего способа эксплуатации шахтной печи, а также раскрытой в настоящее время установки шахтной печи будут более подробно описаны ниже.

Как упоминалось выше, крекинг аммиака осуществляется в соответствии со следующей схемой реакции:  $2 \text{NH}_3 \rightarrow \text{N}_2 + 3 \text{H}_2$ . Крекинг (то есть, риформинг) аммиака требует высокой энергии активации, что делает целесообразным использование катализатора. При высоких температурах, обычно при температурах, необходимых для вдувания в шахтную печь, например от  $700^\circ\text{C}$  до  $1000^\circ\text{C}$ , разложение аммиака (то есть, крекинг или риформинг) можно проводить и без использования катализатора. Однако некаталитический риформинг аммиака может потребовать большего времени пребывания аммиака по меньшей мере в одном реакторе риформинга установки риформинга аммиака, и поэтому потребуется более крупный реактор риформинга.

Таким образом, риформинг (то есть, крекинг) аммиака может быть осуществлен каталитическим или некаталитическим способом.

Кроме того, использование катализатора позволяет подводить эндотермическое тепло, необходимое для разложения аммиака (то есть, риформинга или крекинга), при более низкой температуре. Это тем более важно, что крекинг (то есть, риформинг) требует очень большого количества энергии, аналогичной энергии, необходимой для нагрева аммиака от температуры окружающей среды до примерно  $1000^\circ\text{C}$ . Поэтому проведение ступени риформинга при относительно низких температурах, то есть ниже примерно  $900^\circ\text{C}$  или даже ниже примерно  $700^\circ\text{C}$ , поможет повысить термическую эффективность процесса. В вариантах осуществления изобретения крекинг

аммиака в установке риформинга аммиака для получения потока восстановительного газа выгодно проводить каталитическим способом.

В настоящее время разработка катализатора для крекинга аммиака (то есть, риформинга аммиака) все еще продолжается. В настоящем способе может быть  
5 использован любой катализатор, например катализатор на основе никеля или любой катализатор, работающий при высокой температуре, то есть при температуре до 1000°C. Однако для повышения термического КПД реактора риформинга выгодно использовать катализаторы, работающие ближе к  
10 возможной термодинамической температуре, при которой достигаются высокие степени конверсии аммиака, - около 500°C.

Преимущественно, конверсия аммиака в процессе риформинга должна быть как можно выше, так как это означает более высокую концентрацию водорода  $H_2$  в восстановительном газе и более низкую концентрацию остаточного аммиака  $NH_3$ . Это особенно важно, поскольку разложение аммиака, будучи  
15 эндотермическим, будет охлаждать атмосферу внутри шахтной печи и, следовательно, негативно влиять на процесс работы шахтной печи. Действительно, восстановительный газ, содержащий 10 мол. % аммиака, при адиабатическом преобразовании этого аммиака снизит свою температуру примерно на 40°C.

Изобретатели с удивлением обнаружили, что наличие остаточного количества аммиака в восстановительном газе при эксплуатации установки с шахтной печью по настоящему способу не является проблематичным, как и  
20 требование проводить риформинг (то есть, крекинг) аммиака при низкой температуре, поскольку получаемый восстановительный газ должен иметь высокую температуру, обычно выше 800°C, для его впрыска в шахтную печь.

Как упоминалось выше, восстановительный газ может состоять из аммиака, то есть нерасщепленного (или непереработанного) аммиака. В зависимости от требований шахтной печи восстановительный газ может содержать различные  
25 уровни остаточного аммиака, например, менее 15 мол. % аммиака, менее 10 мол. % аммиака или даже менее 5 мол. % аммиака. Поскольку процесс риформинга аммиака не обязательно должен быть полным, это, таким образом, является легкой быстрой победой для эффективного использования аммиака в шахтных  
30 печах для сокращения выбросов  $CO_2$ .

Предпочтительно температура процесса риформинга, то есть температура, при которой происходит крекинг аммиака, может в значительной степени соответствовать температуре, при которой восстановительный газ подается в шахтную печь.

5 Предпочтительно давление процесса риформинга, то есть давление, при котором происходит крекинг, соответствует давлению на уровне шахты доменной печи, дополненному потерями давления в воздуховодах и в реакторе риформинга. Обычно уровень давления на входе в установку риформинга составляет менее 15 бар изб., прежде всего - менее 12 бар изб.

10 Преимущественно установка риформинга аммиака может включать в себя теплообменник, предназначенный для подачи энергии охлаждения потребителям на сталелитейном заводе, таким как кондиционирование воздуха в помещениях, охлаждение воды и т.п., которая образуется в результате нагрева и, возможно, испарения потока аммиака, поступающего из хранилища аммиака по меньшей мере в один реактор риформинга.

Альтернативно и/или дополнительно, аммиак нагревается перед входом в реактор риформинга в теплообменнике с дымовым газом, выходящим из реактора риформинга аммиака, и/или с дымовым газом, выходящим из сжигания топливного газа, используемого специально для этой цели.

20 Теплообменники могут быть различных типов, например трубные пучки, пластинчатые теплообменники.

В предпочтительных вариантах осуществления настоящий способ также включает в себя шаг сбора потока колошникового газа из шахтной печи, и сжигания потока колошникового газа в горелках установки риформинга аммиака. В настоящем тексте колошниковый газ относится к газу, выходящему из шахтной печи на ее колошнике, такому как, например, доменный газ в вариантах осуществления, причем шахтная печь является доменной печью, и может также упоминаться как газ шахтной печи. Альтернативно или дополнительно, в горелках установки риформинга аммиака могут использоваться газы сталелитейного завода, сам аммиак и/или биотопливо, такое как биогаз, биомасса, ... или их смеси.

30 Как упоминалось выше, нагрев и крекинг (то есть, риформинг) аммиака требует большого количества энергии. Для нагрева аммиака из газообразной формы при температуре от 25°C до 950°C и его риформинга (то есть, крекинга) в

водород  $H_2$  и азот  $N_2$  требуется около 4,5 МДж/Нм<sup>3</sup> аммиака  $NH_3$ .

Преимуществом является то, что эта энергия может поставляться за счет сжигания колошникового газа из шахтной печи в горелках установки риформинга аммиака, что позволяет напрямую утилизировать энергию газа шахтной печи для металлургических целей, а не использовать ее для  
5 производства электроэнергии с низкой энергоэффективностью. Поскольку нет необходимости сжигать в горелке установки риформинга еще один углеродистый топливный газ, с помощью настоящего способа эксплуатации  
10 установки для производства шахтных печей можно добиться дополнительного снижения выбросов  $CO_2$ . Альтернативно или дополнительно, в горелках установки риформинга аммиака используются газы металлургических заводов, сам аммиак и/или биотопливо, такое как биогаз, биомасса,... или их смеси.

Согласно предпочтительным вариантам осуществления изобретения, подача восстановительного газа происходит непосредственно через шахту  
15 шахтной печи. В вариантах осуществления, причем шахтная печь является реактором прямого восстановления, это означает, что восстановительный газ, предпочтительно, вводится в зону восстановления реактора, то есть ни в горловину, ни в зону охлаждения. В вариантах осуществления изобретения, причем шахтная печь является доменной печью, это означает, что  
20 восстановительный газ может быть введен на уровне шахты, то есть выше уровня горячего дутья, предпочтительно в зоне твердого восстановления оксида железа, расположенной выше зоны когезии. Впрыск восстановительного газа на уровне шахты доменной печи позволяет значительно снизить уровень  
25 коксования, то есть количество кокса и/или другого источника углерода на тонну произведенного чугуна.

Альтернативно или дополнительно, можно подавать восстановительный газ на уровне фурмы доменной печи, предпочтительно при высокой температуре после крекинга. Хотя впрыск восстановительного газа через фурму может  
30 увеличить потребность в кислороде для эксплуатации доменной печи, тем самым в общем уменьшая возможность добавления вспомогательного топлива, восстановительный газ, содержащий крекированный аммиак, может быть выгодно введен на уровне фурмы при высоких температурах после крекинга, либо с добавлением или без добавления  $O_2$  для нагрева до температуры пламени в гоночном канале, либо с плазменным нагревом или без него для достижения

температуры пламени уже вне печи. Таким образом, содержащий крекированный аммиак восстановительный газ может впрыскиваться на уровне фурмы с впрыском или без впрыска (восстановительного) газа на нижней шахте. Кроме того, восстановительный газ, содержащий крекированный аммиак, может быть  
5 введен на уровне фурмы с введением или без введения на верхнем уровне шахты рециркулированного и охлажденного (конденсированного) колошникового газа шахтной печи, причем восстановительный газ, содержащий крекированный аммиак, предварительно был прямо и/или опосредовано нагрет до 700-1000°C.

В предпочтительных вариантах осуществления изобретения  
10 вспомогательное топливо подается в доменную печь в дополнение к восстановительному газу, впрыскиваемому в шахту доменной печи. Вспомогательное топливо может преимущественно представлять собой пылевидный уголь, природный газ, коксовый газ и/или водород. Впрыск восстановительного газа в шахту шахтной печи, особенно доменной печи,  
15 позволяет увеличить впрыск в фурму пылевидного угля, природного газа, особенно водорода, или других материалов. Действительно, вдувание (или подача) в шахту крекированного аммиака в качестве восстановительного газа повышает температуру колошникового газа, что позволяет повысить обогащение кислородом на уровне фурмы и тем самым увеличить вдувание  
20 вспомогательного топлива, такого как PCI, NG, COG и водород. Как упоминалось выше, крекинг-аммиак и/или аммиаксодержащий восстановительный газ могут также добавляться на уровне фурмы (в качестве вспомогательного топлива) с добавлением или без добавления O<sub>2</sub>, с дополнительным плазменным нагревом или без него, с впрыском или без  
25 впрыска восстановительного газа на нижней шахте. Таким образом, дополнительное количество кокса может быть заменено богатым водородом вспомогательным топливом, что позволяет еще больше снизить содержание углерода в восстановителе доменной печи (то есть, уменьшить количество необходимого кокса) и, следовательно, выбросы CO<sub>2</sub>.

30 Согласно некоторым вариантам осуществления изобретения, в дополнение к восстановительному газу в шахтную печь подается поток сингаза. В таких вариантах осуществления изобретения восстановленное железо также образуется в результате реакции между потоком сингаза и содержащей оксид железа шихтой.

Поток сингаза может быть преимущественно получен путем риформинга промышленного газа (такого как, например, колошниковый газ шахтной печи, пар и/или газ конвертерных печей) и топливного газа (такого как, например, коксовый газ, природный газ, метан и/или биогаз).

5 Согласно тому же или альтернативным вариантам осуществления изобретения, НВІ и/или лом могут подаваться в доменную печь как часть содержащей оксид железа шихты.

НВІ представляет собой интересную форму транспортировки энергии, поскольку сочетает в себе легкость транспортировки и высокую плотность  
10 энергии. Действительно, его компактная форма облегчает манипуляции с ним и его транспортировку так, что НВІ можно перевозить с использованием уже существующих инфраструктур. Поскольку НВІ является уплотненным железом прямого восстановления, то есть предварительно обработанной железной рудой, транспортировка НВІ выгодно сочетает транспортировку сырья для подачи в  
15 доменную печь в качестве содержащей оксид железа шихты, с транспортировкой энергии, избегая при этом транспортировки кислорода, который связан с необработанной рудой. Действительно, поскольку НВІ представляет собой предварительно обработанную железную руду, для получения полностью обработанного железа в доменной печи требуется меньше энергии, поскольку  
20 НВІ уже имеет высокое содержание металлического железа.

Для достижения значительной экономии  $CO_2$ , НВІ, предпочтительно, производится с использованием зеленого водорода. В качестве альтернативы, он также может быть произведен из природного газа с применением улавливания углерода в процессе производства водорода и/или DRI.

25 Дополнительным преимуществом НВІ, загружаемой в доменную печь, является то, что для ее производства можно использовать относительно низкосортные руды. Это связано с тем, что НВІ будет плавиться в доменной печи, причем железо и шлак будут отделяться как обычно. Таким образом, можно использовать сырье более низкого качества, приводящее к повышенному  
30 содержанию шлака и содержащее больше примесей, чем НВІ, необходимый для производства электростали по технологии электродуговой печи (ЕАФ). Другими словами, НВІ недостаточного качества для использования в технологии ЕАФ выгодно использовать в качестве части содержащей оксид железа шихты, для

подачи в доменную печь, тем самым дополнительно снижая энергопотребление установки шахтной печи, а также выбросы  $\text{CO}_2$ .

Кроме того, как упоминалось выше, подача крекированного (или риформированного) аммиака в качестве восстановительного газа в доменную 5 печь позволяет повысить температуру колошникового газа, выходящего из доменной печи. Эта более высокая температура колошникового газа позволяет использовать большее количество НВІ в качестве шихты по сравнению с доменными печами, работающими не в соответствии с настоящим способом, то есть без впрыска крекированного аммиака.

10 При высоких скоростях заправки НВІ может быть достигнуто высокое снижение выбросов  $\text{CO}_2$ . Снижение выбросов  $\text{CO}_2$  также может быть достигнуто при использовании вспомогательного топлива с низким содержанием  $\text{CO}_2$ , такого как, например, COG. Тем не менее, когда вспомогательное топливо с 15 низким содержанием  $\text{CO}_2$ , такое как COG, используется вместе с НВІ, традиционные способы работы доменной печи быстро приходят к своему пределу и не приводят к снижению выбросов  $\text{CO}_2$ , равному сумме, которая может быть достигнута отдельно при использовании (то есть, загрузке) НВІ с 20 одной стороны и вспомогательного топлива с низким содержанием  $\text{CO}_2$  с другой стороны. Действительно, как загрузка доменной печи НВІ, так и использование обедненного  $\text{CO}_2$  вспомогательного топлива приведет к снижению температуры колошникового газа в доменной печи, что не позволит сочетать оба 25 усовершенствования процесса (загрузка НВІ и использование обедненного  $\text{CO}_2$  вспомогательного топлива) в полной мере.

Оптимальная экономия  $\text{CO}_2$  может быть получена при сочетании впрыска 30 обедненного  $\text{CO}_2$  газообразного топлива через фурму доменной печи с загрузкой НВІ в доменную печь и впрыском в шахту горячих восстановительных газов, таких как продукт крекинга аммиака (то есть, крекированный или риформированный аммиак), поскольку впрыск восстановительного газа в шахту выгодно повышает температуру колошникового газа, тем самым уравновешивая охлаждающий эффект загрузки НВІ и использования обедненного  $\text{CO}_2$  35 вспомогательного топлива. В особо предпочтительных вариантах осуществления изобретения подача крекированного (то есть, риформированного) аммиака в качестве восстановительного газа в доменную печь сочетается с подачей вспомогательного топлива, такого как, например, коксовый газ (COG), и с

подачей НВІ в качестве части содержащей оксид железа шихты, для плавки в доменной печи. Согласно таким вариантам осуществления изобретения, впрыск в шахту риформированного аммиака, создающий более высокую температуру колошникового газа, позволяет увеличить количество НВІ и СОГ за счет более высокой температуры колошникового газа и, таким образом, приводит к снижению выбросов СО<sub>2</sub>, прежде всего, наблюдается снижение выбросов СО<sub>2</sub> примерно до 38 %, а также значительное повышение производительности.

Выражение "в гидродинамическом соединении" означает, что два устройства соединены проводниками или трубами таким образом, что текучая среда, например газ, может перетекать из одного устройства в другое. Это выражение включает в себя средства для изменения этого потока, например, клапаны или вентиляторы для регулирования массового расхода, компрессоры для регулирования давления и т.д., а также элементы управления, такие как датчики, исполнительные механизмы и т.д., необходимые или желательные для соответствующего управления работой шахтной печи в общем или работой каждого из элементов в составе установки шахтной печи.

В настоящем тексте "реактор риформинга" означает любую емкость, контейнер, реактор или т.п., в котором может осуществляться процесс риформинга, например реактор реактора риформинга или реактор реактора риформинга.

"Подача в шахту", "впрыск в шахту", "подача... в шахту", "подача... на уровне шахты", "подача... через шахту", "подача на уровне шахты" или "впрыск на уровне шахты" подразумевает впрыск материала (такого как, например, газ) непосредственно в шахту шахтной печи. В вариантах осуществления, причем шахтная печь является доменной печью, это подразумевает впрыск материала выше уровня горячего дутья, то есть выше заплечиков доменной печи, предпочтительно в зоне газотвердого восстановления (gas solid reduction – англ.) оксида железа выше зоны когезии в доменной печи.

В настоящем тексте "подача в шахтную печь" и "впрыск в шахтную печь", а также "подается в шахтную печь" и "впрыскивается в шахтную печь" или "впрыскивается в шахтную печь", соответственно, используются как синоним и имеют одинаковое значение, которое подразумевает впрыск материала в шахтную печь.



"Около" в данном контексте означает, что данное числовое значение охватывает диапазон значений от -10 % до + 10 % от числового значения, предпочтительно диапазон значений от -5 % до +5 % от числового значения. Если не указано иное, все процентные соотношения в настоящем документе, относящиеся к элементарным и молекулярным пропорциям, выражены в % по массе, за исключением газовых композиций, причем пропорции указаны в мол. %.

Дополнительные подробности и преимущества настоящего раскрытия станут очевидными из следующего подробного описания нескольких неограничивающих вариантов осуществления со ссылкой на прилагаемые чертежи.

Краткое описание чертежей

Предпочтительные варианты осуществления раскрытия теперь будут описаны, в качестве примера, со ссылкой на сопроводительные чертежи, на которых:

Фиг. 1 представляет собой схематический вид варианта осуществления первого варианта установки шахтной печи, выполненной для осуществления настоящего способа эксплуатации шахтной печи, и

Фиг. 2 представляет собой схематический вид варианта осуществления второго варианта установки шахтной печи, выполненной для осуществления настоящего способа эксплуатации шахтной печи.

Описание предпочтительных вариантов осуществления изобретения

Далее в связи с прилагаемыми чертежами показаны два различных варианта способа эксплуатации шахты и установки шахтной печи.

Фиг. 1 иллюстрирует первого вариант осуществления настоящего способа эксплуатации шахтной печи, включающего в себя риформинг (то есть, крекинг) аммиака с получением первого потока восстановительного газа (то есть, крекинг-аммиака) и впрыск первого потока восстановительного газа через шахту шахтной печи.

Как схематично показано на фиг. 1, установка 10 шахтной печи включает в себя шахтную печь 12 и установку 14 риформинга, включающую в себя аммиачный реактор риформинга, находящийся в гидродинамическом соединении с шахтной печью 12. На своем верхнем конце шахтная печь 12

обычно получает шихту 16, содержащую оксид железа. В нижнем конце шахтной печи 12 извлекается восстановленное железо и шлаковые продукты 18.

В нижнюю часть шахтной печи 12 может впрыскиваться вспомогательное топливо 30. Вспомогательное топливо может представлять собой коксовый газ, природный газ или любой другой газ, обычно используемый в качестве вспомогательного топлива для эксплуатации шахтной печи.

На верхнем конце выходящий из шахтной печи 12 газ 32 шахтной печи рекуперирован. Регенерированный газ 32 шахтной печи обычно подвергается предварительной обработке при выходе из шахтной печи 12. Предварительная обработка газа 32 шахтной печи включает в себя сначала охлаждение для снижения содержания паров, а затем очистку, прежде всего, удаление пыли и/или HCl и/или соединений металлов. В варианте осуществления фиг. 1 охлаждение и очистка газа 32 шахтной печи происходит в блоке 34 охлаждения и очистки.

Ниже по потоку от блока 34 охлаждения и очистки поток газа шахтной печи разделяется по меньшей мере на два потока. Один поток называется экспортным газом 36 шахтной печи и может быть подан в другой блок установки, включающей в себя настоящую установку 10 шахтной печи. Другой поток 38 используется в качестве части топливного газа в горелке 40 аммиачного реактора риформинга 14 для получения энергии, необходимой для осуществления риформинга (то есть, крекинга) аммиака.

Альтернативно или дополнительно, часть газа из шахтной печи может быть отведена в отдельные устройства, такие как теплообменник 42, и затем введена в шахтную печь 12 и/или в горелки риформинга 44.

Другая часть газа шахтной печи может быть введена непосредственно в аммиачный реактор риформинга 14 через каналы 48 и 22.

Газ шахтной печи (доменный газ) содержит до приблизительно 40 % энергии, поступающей в шахтную печь. С целью снижения выбросов CO<sub>2</sub> при производстве металла (железа) на базе шахтной печи одной из важных стратегий является использование как можно большей части этого доменного газа для металлургических целей. Следовательно, при риформинге или крекинге аммиака для получения восстановительного газа следует использовать как можно больше газа шахтной печи, чтобы повысить потенциал сокращения выбросов CO<sub>2</sub> при производстве металла на шахтной печи.

На уровне шахты в шахтную печь 12 поступает восстановительный газ 20. Восстановительный газ 20 реагирует внутри шахтной печи 12 с шихтой 16, содержащей оксид железа, с образованием восстановленных оксидов железа и металлического железа. DRI 18 будет извлечен из печи с нижней стороны.

5 Согласно настоящему варианту осуществления изобретения восстановительный газ 20 производится в установке риформинга 14, а именно в аммиачном реакторе риформинга. Восстановительный газ 20 представляет собой крекинг-аммиак 22 и включает в себя  $N_2$  и  $H_2$ . Процесс риформинга происходит в соответствии со следующей реакцией:



Она может поддерживаться высокой температурой внутри аммиачного реактора риформинга и/или использованием катализатора, например катализатора на основе Ni или любого катализатора, работающего при температуре до  $1000^\circ C$ , или, по меньшей мере, до  $700^\circ C$ . Аммиак 22 подается в аммиачный реактор риформинга 14 из резервуара 24, находящегося в гидродинамическом соединении с реактором риформинга. В данной конкретной конфигурации аммиак проходит из бака-накопителя 24 через теплообменник 46 для нагрева аммиака до температуры окружающей среды.

Обращаясь теперь к фиг. 2, представлен второй вариант осуществления настоящей установки 10 с шахтной печью и способ ее эксплуатации. В этом варианте осуществления изобретения шахтная печь представляет собой доменную печь 112.

На своем верхнем конце доменная печь 112 обычно получает кокс (не показан) и руду из склада. Рудой обычно называют шихту 16, содержащую оксид железа. Согласно настоящему варианту осуществления изобретения, HBI 116 также может подаваться в верхний конец доменной печи 112 как часть содержащей оксид железа шихты 16 для расплавления в ней.

На нижнем конце доменной печи 112 извлекают жидкий чугун и шлак (то есть, железосодержащие продукты) 18. Работа самой доменной печи 112 хорошо известна и не будет дополнительно описываться в настоящем документе.

В нижней части доменной печи 112, а именно на уровне фурмы, доменная печь получает горячее дутье 26, поступающее из коуперной установки 28, состоящей из нескольких коуперов, и вспомогательное топливо 30. Горячее дутье 26 может состоять из воздуха или обогащенного кислородом газа.

Вспомогательным топливом 30 может быть пылевидный уголь, коксовый газ, природный газ, водород, пластиковые отходы, нефть, бурый уголь, аммиак, крекированный аммиак или любой другой газ, обычно используемый в качестве вспомогательного топлива для эксплуатации доменной печи.

5 На уровне шахты, которая расположена выше уровня фурмы, в доменную печь 112 поступает восстановительный газ 20. В соответствии с настоящим вариантом осуществления изобретения восстановительный газ 20 производится в установке риформинга 14, а именно в аммиачном риформинге.

10 Восстановительный газ представляет собой крекинг-аммиак 22 и включает в себя  $N_2$  и  $H_2$ . Реактор риформинга аммиака включает в себя горелку 40, в которую подается, по меньшей мере, топливный газ.

Восстановительный газ 20 с высоким содержанием водорода впрыскивается в доменную печь 112 на уровне шахты.

15 На верхнем конце рекуперируется доменный газ 32, выходящий из доменной печи 112. Регенерированный доменный газ 32, как правило, подвергается предварительной обработке при выходе из доменной печи 112. Предварительная обработка доменного газа 32 включает в себя сначала охлаждение для снижения содержания паров, а затем очистку, прежде всего, удаление пыли и/или  $HCl$  и/или соединений металлов. В варианте  
20 осуществления фиг. 2 охлаждение и очистка доменного газа происходят в блоке 34 охлаждения и очистки. В качестве альтернативы, можно использовать отдельные блоки, в которых первый блок выполняет охлаждение, а второй блок (или несколько вторых блоков) - очистку или наоборот.

25 Ниже по потоку от блока 34 охлаждения и очистки поток доменного газа разделяется по меньшей мере на два потока. Один поток называется экспортным доменным газом 36 и может быть подан в другой агрегат сталеплавильного завода, включающего в себя настоящую шахтную печь 10. Другой поток 38 используется в качестве части топливного газа в горелке 40 аммиачного реактора риформинга 14 для получения энергии, необходимой для  
30 осуществления риформинга (то есть, крекинга) аммиака.

Доменный газ содержит до 40 % поступающей в доменную печь энергии. С целью снижения выбросов  $CO_2$  при производстве стали в доменной печи одной из важных стратегий является использование как можно большего количества доменного газа для металлургических целей. Следовательно, при риформинге

или крекинге аммиака для получения восстановительного газа должно использоваться как можно больше доменного газа, чтобы повысить потенциал сокращения выбросов CO<sub>2</sub> при выплавке чугуна в доменной печи.

Шахтная печь 10, как описано выше со ссылкой на фиг. 2, может эксплуатироваться для производства чугуна в соответствии с описанным в настоящем документе способом. В таблице 1 приведено сравнение классической работы доменной печи (контрольный случай) и работы доменной печи с вдуванием крекированного аммиака (то есть, первого потока восстановительного газа) в соответствии с тремя вариантами осуществления настоящего способа.

10 Таблица 1

Позиция	Ед. измерения	Справ. пример	Пример 1: впрыск крекированного аммиака	Пример 2: впрыск крекированного аммиака + впрыск COG	Пример 3: впрыск крекированного аммиака + впрыск COG + HBI
Сухие нормы (на тонну горячего металла)					
HBI	кг/т	0	0	0	407
Общий расход кокса	кг/т	301	220	202	201
Расход впрыскиваемого угля	кг/т	192	192	181	91
Впрыск COG в фурму	Нм <sup>3</sup> /т	0	0	115	135
Впрыск крекированного аммиака в шахту	Нм <sup>3</sup> /т	0	400	400	400
Параметры дутья					
Расход дутья природного газа	Нм <sup>3</sup> /тГМ	830	744	412	381
Обогащение O <sub>2</sub>	Нм <sup>3</sup> /тГМ	63	50	130	97
Температура пламени	°C	2239	2162	2149	2126
Колошниковый газ					
CO	мол. %	24,32	18,6	20,5	22,1
CO <sub>2</sub>	мол. %	24,22	18,8	21,7	12,8
H <sub>2</sub>	мол. %	3,8	15,1	22,8	29,7
N <sub>2</sub>	мол. %	47,7	47,6	34,9	35,4
Температура	°C	125	220	169	162
Объем (сух.)	Нм <sup>3</sup> /тГМ	1401	1455	1268	1187
Низшая теплотворность (сух.)	кДж/ Нм <sup>3</sup>	3479	3969	5056	5997
CO <sub>2</sub>					
Выбросы CO <sub>2</sub>	кг /тГМ	1973	1634	1528	1221
Сокращение выбросов CO <sub>2</sub> (по отношению к исходному варианту)	%		17	23	38

Для расчетов выбросов CO<sub>2</sub> в различных случаях были приняты следующие коэффициенты выбросов для различных исходных материалов (Таблица 2).

Таблица 2

Материал	Выброс CO <sub>2</sub>
Кокс	4,17 кг CO <sub>2</sub> /кг
Пылевидный уголь	2,79 кг CO <sub>2</sub> /кг
Агломерат	0,196 кг CO <sub>2</sub> /кг
НВИ	0 кг CO <sub>2</sub> /кг*
COG	0 кг CO <sub>2</sub> / Нм <sup>3</sup>
Экспорт доменного газа	0 кг CO <sub>2</sub> / Нм <sup>3**</sup>

5

\* Обычно в НВИ содержится некоторое количество углерода (около 1,5 % по массе) - в данном случае использовался "зеленый" НВИ, который был произведен без углерода.

\*\* Выбросы CO<sub>2</sub> уже отнесены к горячему металлу.

10

В эталонном варианте доменная печь использует только кокс и вдувание пылевидного угля в фурму, в то время как в первом примере крекированный аммиак дополнительно вдувается на уровне шахты (то есть, через шахту) доменной печи. В первом примере видно, что при впрыске 400 Нм<sup>3</sup>/тГМ (Нм<sup>3</sup>/т горячего металла) крекированного аммиака через шахту возможно значительное снижение нормы кокса - с 301 (для исходного варианта) до 220 кг/тГМ (для случая 1). Выбросы CO<sub>2</sub> снижаются с 1973 (для исходного варианта) до 1634 кг/тГМ (для случая 1), что позволяет сократить выбросы CO<sub>2</sub> на 17 %. Ставки, выраженные как "/тГМ", относятся к тонне (метрической тонне) горячего металла, произведенного шахтной печью. "Нм<sup>3</sup>" означает нормальный кубический метр для обозначения объема 1 кубического метра газа при нормальных условиях, то есть при температуре 0 °C (273,15 К) и абсолютном давлении 1 атм (101,325 кПа).

15

20

25

В случае 2 (таблица 1) крекинг-аммиак впрыскивается на уровне шахты доменной печи (как в случае 1), а коксовый газ (COG) впрыскивается через фурму доменной печи. При увеличении впрыска вспомогательного топлива

(такого как СОG) необходимо увеличить обогащение кислородом для поддержания температуры пламени. Температура пламени обычно выше 2000°С с РСІ и выше 1800°С без РСІ.

5 Увеличение обогащения кислородом в доменной печи означает уменьшение количества природного дутья (воздуха), которое будет использоваться в доменной печи. Вследствие этого общее количество горячего дутья, поступающего в доменную печь, уменьшается с 830 (для исходного варианта) до 412 Нм<sup>3</sup>/тГМ (для случая 2).

10 Как видно из примера 2 Таблицы 1, одновременное вдувание СОG и вдувание пылевидного угля возможно и позволяет обеспечить достаточную температуру колошникового газа около 169°С. Впрыск СОG позволяет еще больше снизить количество кокса, с 220 (для случая 1) до 202 кг/тЧМ (для случая 2). Соответствующие выбросы СО<sub>2</sub> при этом снижаются с 1634 (для случая 1) до 1528 кг/тГМ (для случая 2), что соответствует дополнительному  
15 снижению выбросов СО<sub>2</sub> на 6 %. По сравнению с эталонным вариантом, выбросы СО<sub>2</sub> в случае 2 сокращаются на 23 %.

В последнем случае, показанном в Таблице 1 (случай 3), НВІ подается как часть содержащей оксид железа шихты, дополнительно к впрыску крекированного аммиака и СОG. Подача НВІ позволяет снизить норму угля (то  
20 есть, норму вдувания пылевидного угля) при сохранении практически той же нормы кокса по сравнению со случаем 2 (202 против 201 кг/тГМ), что ожидаемо и соответствует минимальной норме кокса, с которой может работать доменная печь, обеспечивая необходимую проницаемость для газотвердо-жидкостного реактора. Видно, что за счет общего снижения выбросов углерода еще больше  
25 сокращается выброс СО<sub>2</sub>. Выбросы СО<sub>2</sub> составляют всего 1221 кг/тГМ, что соответствует сокращению выбросов СО<sub>2</sub> на 38 % по сравнению с контрольным случаем.

При рассмотрении Таблицы 1 видно, что замена части кокса крекированным аммиаком увеличивает низкую теплотворную способность  
30 колошникового газа, что позволяет повысить эффективность последующей утилизации колошникового газа (то есть, доменного газа) на электростанции и/или в других печах. Дальнейшее снижение содержания кокса путем введения коксового газа (СОG) в качестве вспомогательного топлива и/или НВІ в качестве

содержащей оксид железа шихты, позволяет еще больше увеличить низшую теплотворную способность колошникового газа.

5 Хотя изобретение было подробно проиллюстрировано и описано на чертежах и в предыдущем описании, такие иллюстрации и описание должны рассматриваться как иллюстративные или примерные, а не ограничивающие, изобретение не ограничено раскрытыми вариантами осуществления. Другие варианты раскрытых вариантов могут быть поняты и осуществлены специалистами в данной области при осуществлении заявленного изобретения на основании изучения чертежей, раскрытия и прилагаемой формулы  
10 изобретения.



## СПИСОК ССЫЛОЧНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

10	Установка шахтной печи
12	Шахтная печь
5	14 Установка риформинга аммиака / реактор риформинга
16	Оксид железа, содержащий шихту
18	Железные изделия
20	Восстановительный газ
22	Аммиак NH <sub>3</sub>
10	24 Резервуар для хранения аммиака NH <sub>3</sub>
26	Горячее дутье
28	Коуперная установка
30	Вспомогательное топливо
32	Газ шахтной печи
15	34 Установка охлаждения и очистки
36	Экспортный газ
38	Предварительно очищенный доменный газ
40	Горелки
42	Теплообменник
20	44 Реактор риформинга
46	Теплообменник
48	Трубопроводы
112	Доменная печь
116	Горячее брикетированное железо (НВИ)
25	

## ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ эксплуатации установки (10) шахтной печи, включающей в себя шахтную печь (12) и установку (14) риформинга аммиака, причем способ  
5 включает в себя следующие шаги:
- а) подача потока аммиака (22) в установку (14) риформинга аммиака,
  - б) крекинг потока аммиака (22) в установке (14) риформинга аммиака с  
получением восстановительного газа (20),
  - в) подача содержащей оксид железа шихты (16) и восстановительного  
10 газа (20) в шахтную печь (12),
  - г) восстановление оксида железа внутри шахтной печи (12) путем  
реакции между содержащей оксид железа шихтой (16) и восстановительным  
газом (20),  
причем восстановительный газ (20) содержит менее 15 % аммиака,  
15 предпочтительно менее 10 % аммиака.
2. Способ по п. 1, причем крекинг на шаге б) осуществляют  
каталитически.
3. Способ по любому из предшествующих пунктов, также включающий в  
20 себя шаг сбора потока колошникового газа (32) из шахтной печи (12), и  
сжигания потока колошникового газа в горелках (40) установки (14) риформинга  
аммиака.
4. Способ по любому из предшествующих пунктов, также включающий в  
25 себя шаг подачи в шахтную печь других восстановителей и/или  
науглероживающих агентов и/или топлива и восстановительного газа или их  
смесей.
5. Способ по любому из предшествующих пунктов, причем в горелках  
30 (40) установки (14) риформинга аммиака используют газы сталелитейного  
завода, сам аммиак и/или биотопливо, такое как биогаз, биомасса или их смеси.

6. Способ по любому из предшествующих пунктов, причем энергию для нагрева и/или испарения аммиака до температуры окружающей среды используют для покрытия потребностей в охлаждении на сталелитейном заводе, таких как кондиционирование воздуха и/или охлаждение охлаждающей воды.

5

7. Способ по любому из предшествующих пунктов, причем шахтная печь включает в себя шахту, и подача восстановительного газа (20) происходит непосредственно через шахту шахтной печи (12).

10 8. Способ по любому из предшествующих пунктов, причем шахтная печь (12) является реактором прямого восстановления.

9. Способ по любому из п.п. 1-7, причем шахтная печь (12) является доменной печью (112).

15

10. Способ по любому из предшествующих пунктов, причем в дополнение к восстановительному газу (20) в шахтную печь (12, 112) подают вспомогательное топливо, восстановительный и/или науглероживающий агент (30).

20

11. Способ по п. 9 и п. 10, причем вспомогательное топливо (30) представляет собой пылевидный уголь, природный газ, коксовый газ, биогаз, сингаз, аммиак, крекированный аммиак, водород и/или их смеси, подаваемые в доменную печь на уровне фурмы.

25

12. Способ по любому из предшествующих пунктов, причем в дополнение к восстановительному газу (20) в шахтную печь (12) подают поток сингаза, и причем железные изделия также производятся в результате реакции между потоком сингаза и содержащей оксид железа шихтой (16).

30

13. Способ по п. 12, причем поток сингаза производят путем риформинга промышленного газа и топливного газа.

14. Способ по п. 13, причем в доменную печь (112) как часть содержащей оксид железа шихты (16) подают горячее брикетированное железо (НВИ) (116) и/или лом.

5 15. Установка (10) шахтной печи, выполненная для осуществления способа в соответствии с любым из предшествующих пунктов, причем установка шахтной печи включает в себя:

шахтную печь (12), и

10 установку (14) риформинга аммиака, имеющую впуск газа и выпуск газа, причем впуск газа находится в гидродинамическом соединении с источником (24) аммиака и/или теплообменником, а выпуск газа находится в гидродинамическом соединении с шахтной печью (12).

15 16. Установка (10) шахтной печи по п. 15, причем колошник шахтной печи находится в гидродинамическом соединении с горелками (40) установки (14) риформинга аммиака.

20 17. Установка (10) шахтной печи по п. 15 или п. 16, причем шахтная печь (12) является реактором прямого восстановления.

18. Установка (10) шахтной печи по п. 15 или п. 16, причем шахтная печь (12) является доменной печью (112).

УТОЧНЕННАЯ ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ,  
поданная в Международное Бюро 30.10.2023

1. Способ эксплуатации установки (10) шахтной печи, включающей в  
5 себя шахтную печь (12) и установку (14) риформинга аммиака, причем способ  
включает в себя следующие шаги:
- а) подача потока аммиака (22) в установку (14) риформинга аммиака,
  - б) крекинг потока аммиака (22) в установке (14) риформинга аммиака с  
получением восстановительного газа (20),
  - 10 в) подача содержащей оксид железа шихты (16) и восстановительного  
газа (20) в шахтную печь (12),
  - г) восстановление оксида железа внутри шахтной печи (12) путем  
реакции между содержащей оксид железа шихтой (16) и восстановительным  
газом (20),
  - 15 причем восстановительный газ (20) содержит менее 15 % аммиака,  
предпочтительно менее 10 % аммиака,  
причем крекинг на шаге б) осуществляют каталитически.
2. Способ по п. 1, также включающий в себя шаг сбора потока  
20 колошникового газа (32) из шахтной печи (12, 112), и сжигания потока  
колошникового газа в горелках (40) установки (14) риформинга аммиака.
3. Способ по любому из предшествующих пунктов, также включающий в  
себя шаг подачи в шахтную печь других восстановителей и/или  
25 науглероживающих агентов и/или топлива и восстановительного газа или их  
смесей.
4. Способ по любому из предшествующих пунктов, причем в горелках  
(40) установки (14) риформинга аммиака используют газы сталелитейного  
30 завода, сам аммиак и/или биотопливо, такое как биогаз, биомасса или их смеси.
5. Способ по любому из предшествующих пунктов, причем энергию для  
нагрева и/или испарения аммиака до температуры окружающей среды

используют для покрытия потребностей в охлаждении на сталелитейном заводе, таких как кондиционирование воздуха и/или охлаждение охлаждающей воды.

5 6. Способ по любому из предшествующих пунктов, причем шахтная печь включает в себя шахту, и подача восстановительного газа (20) происходит непосредственно через шахту шахтной печи (12).

10 7. Способ по любому из предшествующих пунктов, причем шахтная печь (12) является реактором прямого восстановления.

8. Способ по любому из п.п. 1-6, причем шахтная печь (12) является доменной печью (12).

15 9. Способ по любому из предшествующих пунктов, причем в дополнение к восстановительному газу (20) в шахтную печь (12) подают вспомогательное топливо, восстановительный и/или науглероживающий агент (30).

20 10. Способ по п. 8 и п. 9, причем вспомогательное топливо (30) представляет собой пылевидный уголь, природный газ, коксовый газ, биогаз, сингаз, аммиак, крекированный аммиак, водород и/или их смеси, подаваемые в доменную печь на уровне фурмы.

25 11. Способ по любому из предшествующих пунктов, причем в дополнение к восстановительному газу (20) в шахтную печь (12) подают поток сингаза, и причем железные изделия также производятся в результате реакции между потоком сингаза и содержащей оксид железа шихтой (16).

30 12. Способ по п. 11, причем поток сингаза производят путем риформинга промышленного газа и топливного газа.

13. Способ по п. 12, причем в доменную печь (112) как часть содержащей оксид железа шихты (16) подают горячее брикетированное железо (НВІ) (116) и/или лом.

14. Установка (10) шахтной печи, выполненная для осуществления способа в соответствии с любым из предшествующих пунктов, причем установка шахтной печи включает в себя:

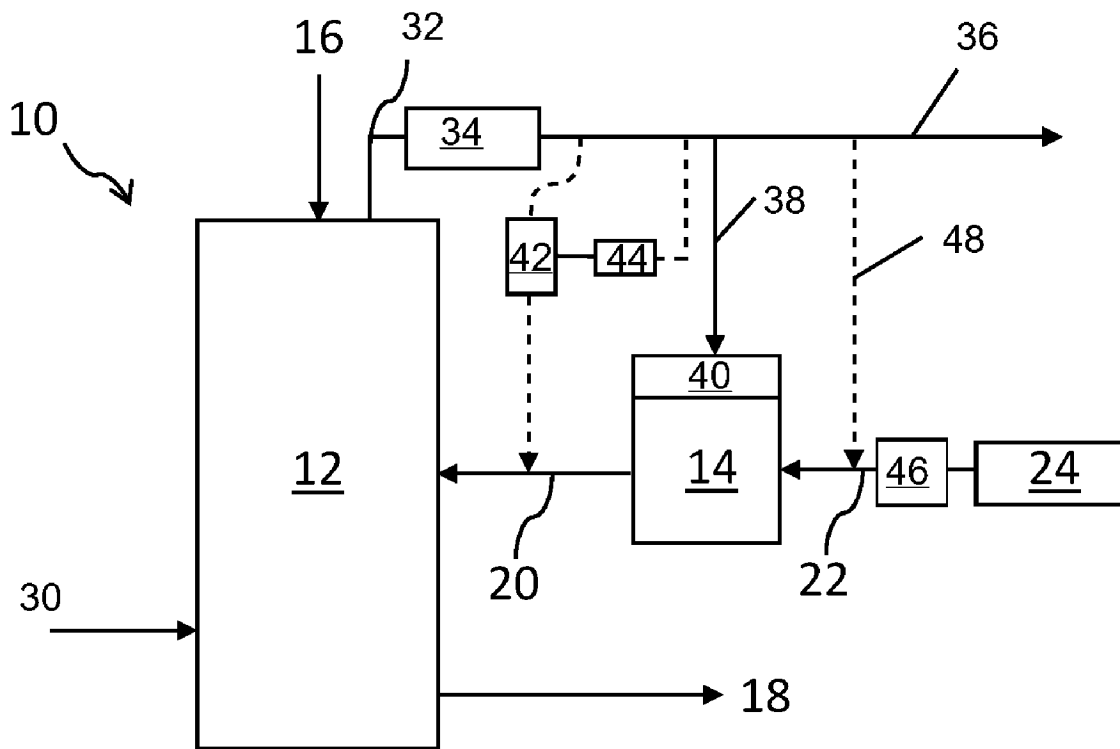
шахтную печь (12), и

5 установку (14) риформинга аммиака, имеющую впуск газа, катализатор и выпуск газа, причем впуск газа находится в гидродинамическом соединении с источником (24) аммиака и/или теплообменником, а выпуск газа находится в гидродинамическом соединении с шахтной печью (12).

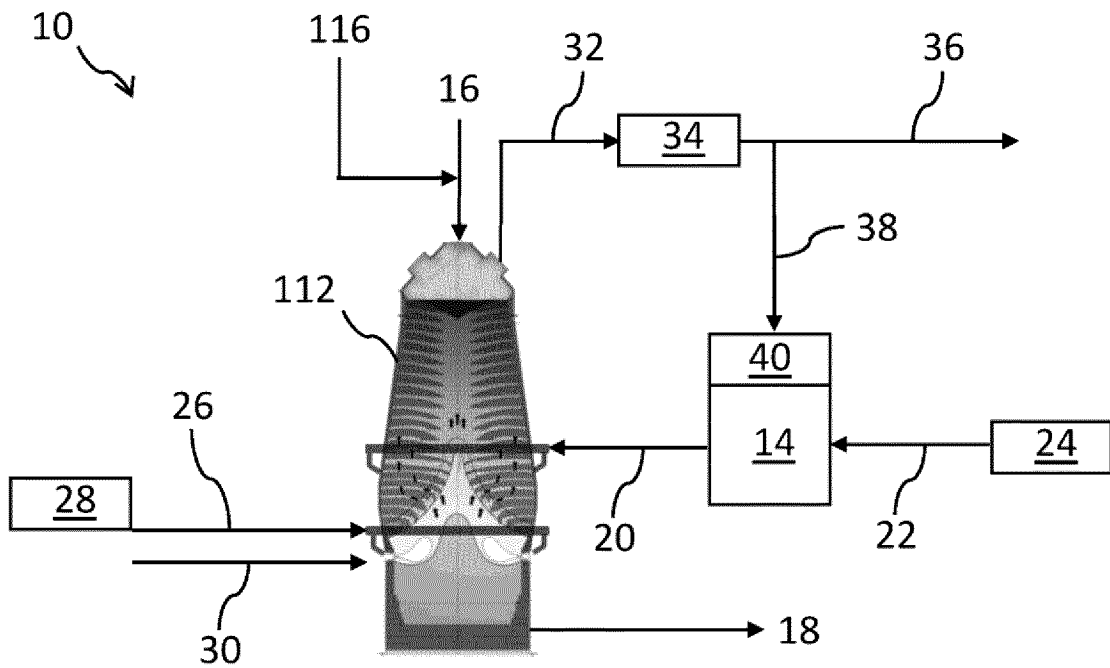
10 15. Установка (10) шахтной печи по п. 14, причем колошник шахтной печи находится в гидродинамическом соединении с горелками (40) установки (14) риформинга аммиака.

15 16. Установка (10) шахтной печи по п. 14 или п. 15, причем шахтная печь (12) является реактором прямого восстановления.

17. Установка (10) шахтной печи по п. 14 или п. 15, причем шахтная печь (12) является доменной печью (12).



ФИГ. 1



ФИГ. 2