



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
C21B 5/00 (2023.05); C21B 7/00 (2023.05)

(21)(22) Заявка: 2022114704, 11.11.2020

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
11.11.2020

Дата регистрации:  
28.08.2023

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:  
25.11.2019 JP 2019-212514

(45) Опубликовано: 28.08.2023 Бюл. № 25

(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на  
национальной фазе: 31.05.2022

(86) Заявка РСТ:  
JP 2020/042144 (11.11.2020)

(87) Публикация заявки РСТ:  
WO 2021/106578 (03.06.2021)

Адрес для переписки:  
101000, Москва, ул. Мясницкая, 13, стр. 5, ООО  
"Союзпатент"

(72) Автор(ы):

ТАКАХАСИ Койти (JP),  
НУТИ Тайхэй (JP),  
ОДЗАВА Сумито (JP),  
КАВАСИРИ Юки (JP),  
МОРИТА Юя (JP)

(73) Патентообладатель(и):

ДжФЕ СТИЛ КОРПОРЕЙШН (JP)

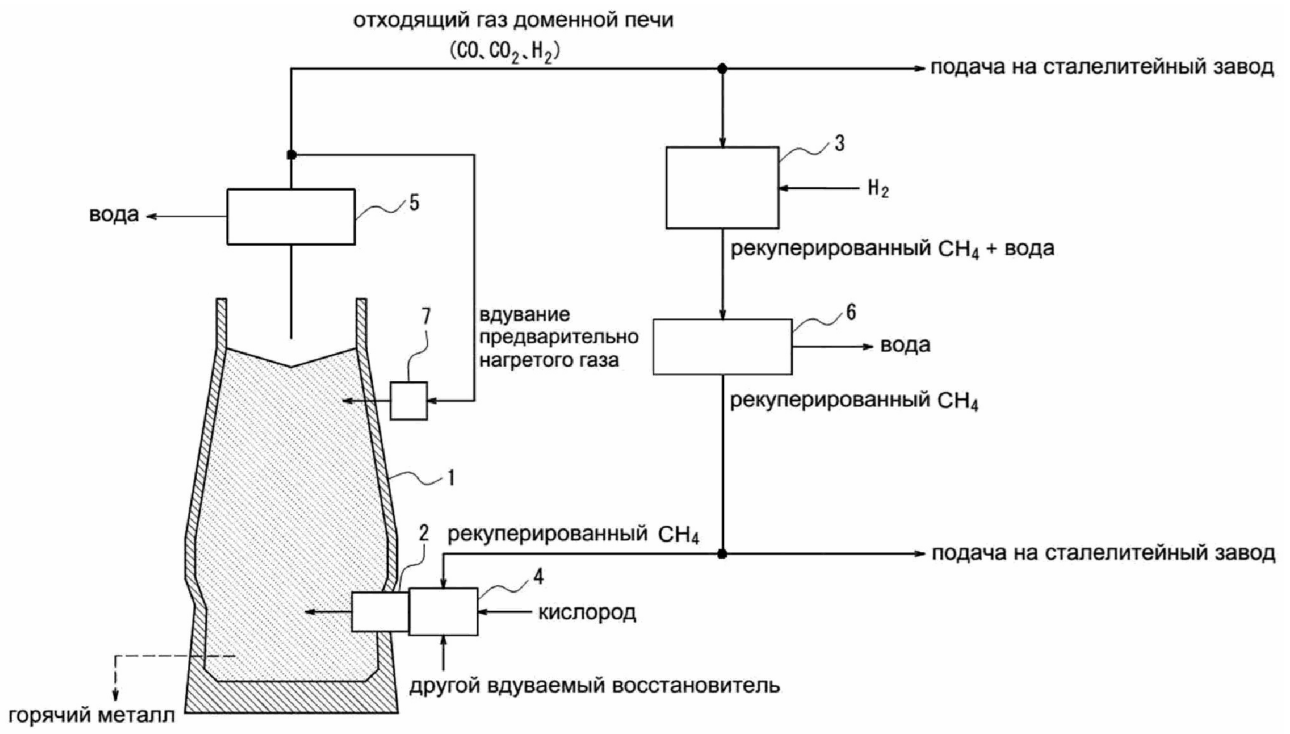
(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: JP 2010261095 А, 18.11.2010. JP  
63171804 А, 15.07.1988. JP 7167569 А, 04.07.1995.  
SU 1266864 А1, 30.10.1986. SU 1245588 А1,  
23.07.1986.

## (54) СПОСОБ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ УЗЕЛ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

(57) Реферат:

Изобретение относится к вдуванию газа в доменную печь. Способ вдувания газа в доменную печь включает получение рекуперированного газообразного метана из отходящего газа, отводимого из доменной печи, и вдувание доменного газа и восстановителя в доменную печь из фурмы. При этом доменный газ представляет собой кислородсодержащий газ, а рекуперированный газообразный метан используют по меньшей мере как часть

восстановителя. Причем эквивалентная масса углерода рекуперированного газообразного метана, который вдувают в доменную печь в качестве восстановителя для получения 1 т горячего металла, составляет 55 кг/т или больше. Изобретение позволяет уменьшить объем выбросов диоксида углерода из доменной печи в условиях стабильной работы. 4 з.п. ф-лы, 8 ил., 1 табл.



Фиг. 1

RU 2802414 C1

RU 2802414 C1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.  
*C21B 5/00* (2006.01)  
*C21B 7/00* (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC  
*C21B 5/00* (2023.05); *C21B 7/00* (2023.05)

(21)(22) Application: **2022114704**, 11.11.2020

(24) Effective date for property rights:  
11.11.2020

Registration date:  
28.08.2023

Priority:

(30) Convention priority:  
25.11.2019 JP 2019-212514

(45) Date of publication: **28.08.2023** Bull. № 25

(85) Commencement of national phase: 31.05.2022

(86) PCT application:  
JP 2020/042144 (11.11.2020)

(87) PCT publication:  
WO 2021/106578 (03.06.2021)

Mail address:  
101000, Moskva, ul. Myasnitskaya, 13, str. 5, OOO  
"Soyuzpatent"

(72) Inventor(s):

**TAKAHASHI Koichi (JP),  
NOUCHI Taihei (JP),  
OZAWA Sumito (JP),  
KAWASHIRI Yuki (JP),  
MORITA Yuya (JP)**

(73) Proprietor(s):

**JFE STEEL CORPORATION (JP)**

(54) **METHOD OF OPERATION OF BLAST FURNACE AND AUXILIARY ASSEMBLY OF BLAST FURNACE**

(57) Abstract:

FIELD: metallurgy.

SUBSTANCE: method for blowing gas into a blast furnace includes obtaining recovered gaseous methane from off-gas discharged from the blast furnace and blowing blast-furnace gas and a reducing agent into the blast furnace from a tuyere. In this case, the blast-furnace gas is an oxygen-containing gas, and recovered gaseous methane is used at least as part of the reducing

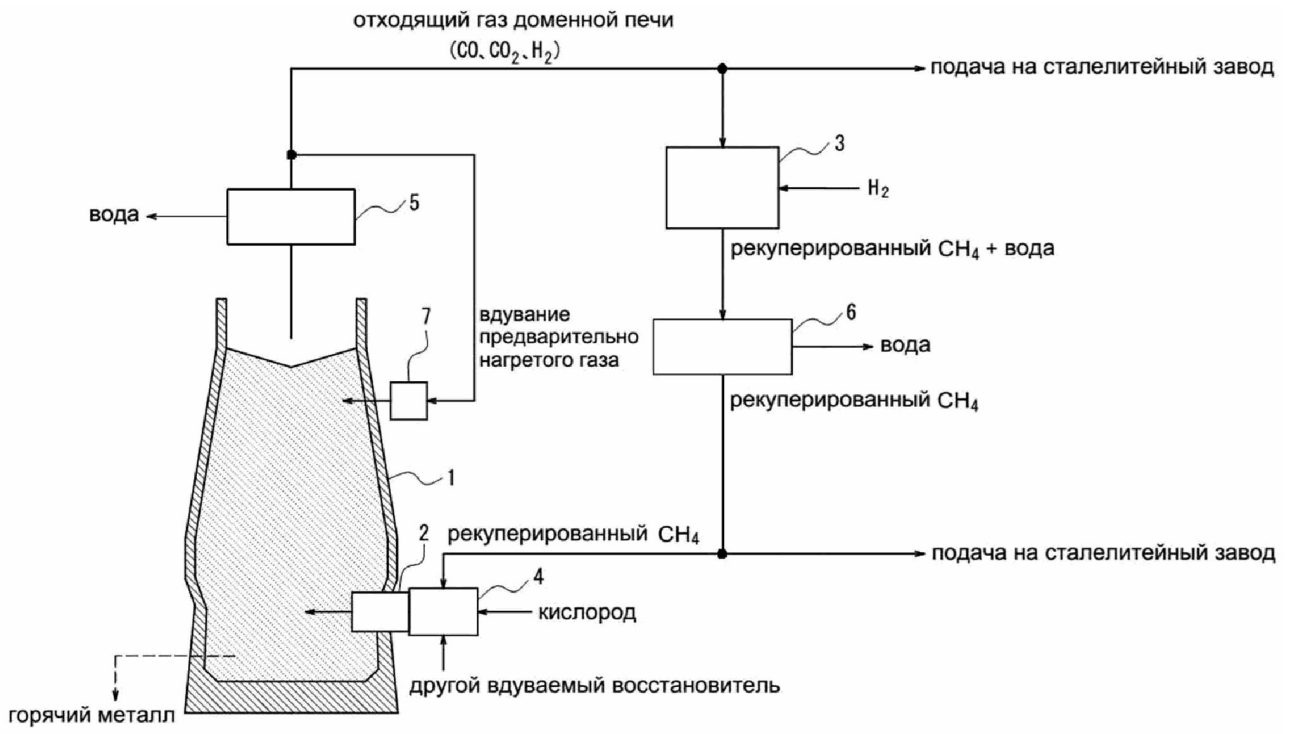
agent. Moreover, the carbon equivalent mass of the recovered gaseous methane, which is blown into the blast furnace as a reducing agent to produce 1 ton of hot metal, is 55 kg/t or more.

EFFECT: invention makes it possible to reduce the amount of carbon dioxide emissions from a blast furnace under stable operation conditions.

12 cl, 8 dwg, 1 tbl

RU 2 802 414 C1

RU 2 802 414 C1



Фиг. 1

RU 2802414 C1

RU 2802414 C1

## Область техники

Настоящее раскрытие относится к способу эксплуатации доменной печи и вспомогательному узлу доменной печи.

## Уровень техники

5 В последние годы существует большая потребность в уменьшении выбросов диоксида углерода ( $\text{CO}_2$ ) на фоне глобальных экологических проблем. С учётом вышесказанного, при эксплуатации доменной печи, установленной на сталелитейном заводе, необходим её рабочий режим с низкой скоростью потока восстановителя (низкая RAR).

10 В типичной доменной печи горячее дутьё (воздух, нагретый примерно до  $1200^\circ\text{C}$ ) подают в доменную печь в виде доменного газа из фурмы. В результате кислород, содержащийся в горячем дутье, реагирует с коксом или тонко измельчённым углём как восстановителем с получением газообразных монооксида углерода ( $\text{CO}$ ) и водорода ( $\text{H}_2$ ). Указанные газообразные монооксид углерода и водород восстанавливают железную руду, загруженную в доменную печь. В дополнение к этому, в течение реакции

15 восстановления железной руды образуется диоксид углерода. Доменный газ является газом, который вдувают в доменную печь из фурмы. Доменный газ также играет роль в газификации тонко измельчённого угля и кокса в доменной печи.

20 В качестве способа уменьшения выбросов диоксида углерода в режимах эксплуатации доменных печей предложен способ риформинга монооксида углерода и диоксида углерода, содержащихся в отходящем газе, выпускаемом из доменной печи, и т.д., для получения углеводородов, таких как метан и этанол, и введения полученных углеводородов обратно в доменную печь в качестве восстановителя.

25 Например, в заявке на японский патент JP2011-225969A (PTL 1) описаны: «стадия (A) отделения и извлечения  $\text{CO}_2$  и/или  $\text{CO}$  из смешанного газа, содержащего  $\text{CO}_2$  и/или  $\text{CO}$ ; стадия (B) добавления водорода к  $\text{CO}_2$  и/или  $\text{CO}$ , отделённым и извлечённым на стадии (A), и превращения  $\text{CO}_2$  и/или  $\text{CO}$  в  $\text{CH}_4$ ; стадия (C) отделения и извлечения  $\text{H}_2\text{O}$  из газа, претерпевшего превращения на стадии (B), и стадия (D)

30 вдувания газа, который претерпел превращения на стадии (C), в доменную печь».

В заявке на японский патент JP2014-005510A (PTL 2) описан:

35 «способ эксплуатации доменной печи, включающий в себя выделение  $\text{CO}_2$  из отработанного газа пламенной печи, в котором отходящий газ доменной печи используют в целом или как часть топлива; осуществление риформинга выделенного  $\text{CO}_2$  в метан для получения газа-восстановителя и вдувание газа-восстановителя в доменную печь».

## Список цитирования

## Патентные документы

40 PTL 1: заявка на патент Японии JP 2011-225969A

PTL 2: заявка на патент Японии JP 2014-005510A

## Раскрытие сущности изобретения

## Техническая проблема

45 Однако в рамках способов документов PTL 1 и 2, когда количество метана, вдуваемого в доменную печь в качестве восстановителя, превышает определённый уровень, это может вызывать эксплуатационные проблемы, такие как недостаточный нагрев нижней части доменной печи, увеличение перепада давления и невозможность выпуска металла из печи.

С учётом вышесказанного, существует потребность в разработке способа эксплуатации доменной печи, при помощи которого можно дополнительно уменьшать объём выбросов диоксида углерода из доменной печи в условиях стабильной работы.

С точки зрения текущей ситуации, описанной выше, может быть целесообразным предоставление способа эксплуатации доменной печи, при помощи которого можно дополнительно уменьшать объём выбросов диоксида углерода из доменной печи в условиях стабильной работы.

Могло бы быть полезным также привнесение вспомогательного узла доменной печи для использования в способе эксплуатации доменной печи, описанном выше.

Решение проблемы

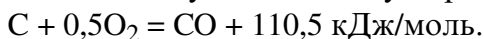
Авторы настоящего изобретения провели интенсивные исследования для достижения целей, изложенных выше.

Прежде всего, авторы изучили причину возникновения эксплуатационных проблем в случае, когда количество метана, вдуваемого в доменные печи в качестве восстановителя, превышает определённый уровень, указанный в способах документов РТЛ 1 и 2.

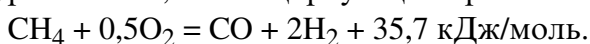
В результате, авторы изобретения обнаружили следующее.

Когда количество метана, вдуваемого в доменную печь в качестве восстановителя, превышает определённый уровень, температура пламени (далее в настоящем документе называемая температурой на выходе из фурмы), порождаемая в результате сгорания вдуваемого восстановителя и кокса в зоне горения (зона циркуляции), вблизи выпускного отверстия фурмы значительно снижается. Снижение температуры на выходе из фурмы становится причиной эксплуатационных проблем, таких как недостаточный нагрев нижней части доменной печи, увеличение перепада давления и невозможность выпуска металла из печи.

Подробным образом, когда в качестве восстановителя вдувают в доменную печь из фурмы тонко измельчённый уголь, то, поскольку основным компонентом тонко измельчённого угля является углерод, в зоне циркуляции протекает следующая реакция:



С другой стороны, когда в качестве восстановителя вдувают в доменную печь из фурмы метан, в зоне циркуляции протекает следующая реакция:



Количество тепла, выделяющегося в ходе реакции, в случае превращения в один моль общего количества CO и H<sub>2</sub>, составляет 11,9 кДж/моль.

Для стабильной работы доменной печи необходимо регулировать температуру в выпускном отверстии фурмы в диапазоне от 2000°C до 2400°C. Однако, если большую часть восстановителя на основе тонко измельчённого угля, вдуваемого в доменную печь, заменяют на газообразный метан, температура в выпускном отверстии фурмы понизится вследствие различия в теплоте реакции, описанного выше. В результате, температуру в выпускном отверстии фурмы невозможно регулировать в пределах вышеуказанного диапазона, и возникают различные эксплуатационные проблемы.

На основании обнаруженных фактов, приведённых выше, авторы изобретения выполнили дополнительные исследования.

В результате, авторы обнаружили следующее. Использование газообразного кислорода, вместо горячего дутья (воздуха, нагретого примерно до 1200°C), в качестве доменного газа эффективно предотвращало снижение температуры в выпускном отверстии фурмы даже в случае, когда в качестве восстановителя используют большое

количество метана, вдуваемого в доменную печь. Кроме того, за счёт выделения такого метана из отходящего газа, отводимого из доменной печи, и вдувания выделенного метана (рекуперированного газообразного метана) обратно в доменную печь в качестве восстановителя может достигаться стабильная работа доменной печи одновременно при дополнительном уменьшении выбросов диоксида углерода из доменной печи.

В дополнение к этому, количество азота, содержащегося в отходящем газе, отводимом из доменной печи, значительно уменьшается за счёт использования кислородсодержащего газа с особенно высокой концентрацией кислорода в качестве доменного газа. В результате, процесс выделения монооксида углерода и диоксида углерода из отходящего газа больше не является обязательным, что чрезвычайно предпочтительно в отношении компактности оборудования.

Авторы изобретения полагают, что причина того, почему в выпускном отверстии фурмы температуру можно регулировать в диапазоне от 2000°C до 2400°C за счёт использования кислородсодержащего газа в качестве доменного газа даже в случае, когда используют большое количество метана в качестве восстановителя, вдуваемого в доменную печь, состоит в следующем.

Конкретно, когда в качестве доменного газа используют горячее дутьё (воздух, нагретый примерно до 1200°C), газообразный продукт сгорания содержит азот в количестве около 50% об., который не способствует реакции горения, и, таким образом, температура пламени в зоне циркуляции вряд ли повышается. С учётом вышесказанного, когда большую часть восстановителя на основе тонко измельчённого угля, вдуваемого в доменную печь, заменяют на газообразный метан, разность между теплотой реакции в смеси тонко измельчённый уголь-кислород и теплотой реакции в смеси газообразный метан-кислород, описанная выше, будет вызывать снижение температуры в выпускном отверстии фурмы, и в конечном итоге температура на выходе из фурмы упадёт ниже 2000°C, что является нижним пределом соответствующей температуры.

С другой стороны, использование кислородсодержащего газа в качестве доменного газа может подавлять подмешивание газообразного азота, который не способствует реакции горения, так что температура в выпускном отверстии фурмы может повышаться до адекватной температуры. Подробным образом отметим, что в зоне циркуляции может достигаться более высокая температура пламени, чем в случае использования горячего дутья, так что даже при вдувании из фурмы большого количества метана в качестве восстановителя, температуру на выходе из фурмы можно регулировать в диапазоне от 2000°C до 2400°C, который является адекватным диапазоном.

Настоящее раскрытие основывается на указанных обнаруженных фактах и дополнительных исследованиях.

Первичные признаки настоящего раскрытия являются следующими.

1. Способ эксплуатации доменной печи, включающий в себя следующее: получают рекуперированный газообразный метан из отходящего газа, отводимого из доменной печи, и вдувают доменный газ и восстановитель в доменную печь из фурмы, при этом доменный газ представляет собой кислородсодержащий газ, а рекуперированный газообразный метан используют, по меньшей мере, как часть восстановителя.

2. Способ эксплуатации доменной печи по п. 1, в котором скорость расхода циркулирующих атомов углерода, имеющих в восстановителе, составляет 60 кг/т или больше,

при этом скорость расхода циркулирующих атомов углерода представляет собой

эквивалентную массу углерода рекуперированного газообразного метана, который вдувают в доменную печь в качестве восстановителя для получения 1 т горячего металла, и её определяют при помощи следующего уравнения:

5 [Скорость расхода циркулирующих атомов углерода (кг/т)] = [Масса метана в рекуперированном газообразном метане, вдуваемом в доменную печь в качестве восстановителя (кг)] × (12/16) ÷ [Объём производства горячего металла (т)].

3. Способ эксплуатации доменной печи по п. 1 или 2, в котором кислородсодержащий газ имеет концентрацию кислорода 80 % об. или больше.

10 4. Способ эксплуатации доменной печи по любому из пп. 1 - 3, в котором из части отходящего газа получают рекуперированный газообразный метан, а излишек отходящего газа подают на сталелитейный завод.

5. Способ эксплуатации доменной печи по любому из пп. 1 - 4, в котором излишек рекуперированного газообразного метана подают на сталелитейный завод.

15 6. Вспомогательный узел доменной печи, применяемый в способе эксплуатации доменной печи по любому из пп. 1 - 5, заключающий в себе устройство для рекуперации газообразного метана, в котором вырабатывается рекуперированный газообразный метан из отходящего газа, и устройство для вдувания газа, имеющее секцию подачи газообразного метана, в которой рекуперированный газообразный метан вводят в фурму доменной печи, и 20 секцию подачи кислородсодержащего газа, в которой кислородсодержащий газ вводят в фурму доменной печи.

Полезный эффект

Настоящее раскрытие обеспечивает возможность дополнительного уменьшения выбросов диоксида углерода (CO<sub>2</sub>) из доменной печи в условиях стабильной работы.

25 Применение газообразного метана, полученного из отходящего газа доменной печи, также может приводить к снижению используемого количества кокса и тонко измельчённого угля, то есть, количества угля как потребляемого исчерпаемого, ископаемого топлива.

30 В дополнение к этому, поскольку количество азота в отходящем газе, отводимом из доменной печи, значительно уменьшается, процесс выделения монооксида углерода и диоксида углерода из отходящего газа, или другими словами, огромный сепаратор для адсорбции при переменном давлении (PSA) или тому подобное оборудование не является обязательным, что крайне предпочтительно в аспекте достижения большей 35 компактности оборудования.

Краткое описание чертежей

На сопроводительных чертежах:

на фиг. 1 схематично проиллюстрирован пример доменной печи и вспомогательного узла доменной печи, применяемого в способе эксплуатации доменной печи, в соответствии с одним из раскрытых вариантов осуществления;

40 на каждой из фиг. 2А и 2В схематично проиллюстрирован пример устройства для вдувания газа, применяемого в способе эксплуатации доменной печи в соответствии с одним из раскрытых вариантов осуществления;

на фиг. 3 схематично проиллюстрирован пример доменной печи и вспомогательного узла доменной печи, применяемого в способе эксплуатации доменной печи, в соответствии с одним из раскрытых вариантов осуществления;

45 на фиг. 4 схематично проиллюстрирован пример доменной печи и вспомогательного узла доменной печи, применяемого в способе эксплуатации доменной печи, в соответствии с одним из раскрытых вариантов осуществления;



на фиг. 5 схематично проиллюстрированы доменная печь и вспомогательный узел доменной печи, используемые в сравнительном примере;

на фиг. 6 схематично проиллюстрированы доменная печь и вспомогательный узел доменной печи, используемые в сравнительном примере;

5 на фиг. 7 схематично проиллюстрированы доменная печь и вспомогательный узел доменной печи, используемые в сравнительном примере; и

на фиг. 8 проиллюстрирован пример соотношения между скоростью расхода циркулирующих атомов углерода и температурой в выпускном отверстии фурмы в случае горячего дутья, а также условия вдувания кислородсодержащего газа.

10 **Осуществление изобретения**

Далее настоящее раскрытие будет описано на основе следующих ниже вариантов осуществления.

Один из раскрытых вариантов осуществления представляет собой способ эксплуатации доменной печи, включающий в себя

15 получение рекуперированного газообразного метана из отходящего газа, отводимого из доменной печи, и

вдувание доменного газа и восстановителя в доменную печь из фурмы,

при этом доменный газ представляет собой кислородсодержащий газ, а рекуперированный газообразный метан используют, по меньшей мере, как часть

20 восстановителя.

Прежде всего, будет описан способ эксплуатации доменной печи в соответствии с одним из раскрытых вариантов осуществления, на примере случая, когда данный способ используют применительно к доменной печи и вспомогательному узлу доменной печи, схематично проиллюстрированным на фиг. 1.

25 На указанной фигуре позиция 1 представляет доменную печь, позиция 2 представляет фурму, позиция 3 представляет устройство для получения газообразного метана, позиция 4 представляет устройство для вдувания газа, позиция 5 представляет первое устройство для обезвоживания, позиция 6 представляет второе устройство для обезвоживания, а позиция 7 представляет горелку.

30 Употребляемый в настоящем документе термин «доменная печь» включает в себя восстановительные печи шахтного типа.

Как эксплуатировать доменную печь

В способе эксплуатации доменной печи в соответствии с одним из раскрытых вариантов осуществления, агломерат, кусковую руду и гранулы (далее в настоящем документе называемые также рудным материалом), кокс и т.д., которые являются исходными материалами, загружают в доменную печь из верхней части печи (не отобразено). В дополнение к этому, в доменную печь 1 вдувают доменный газ и восстановитель из фурмы 2, предусмотренной в нижней части доменной печи.

40 Восстановитель, который вдувают в доменную печь 1 из фурмы 2, называют также «вдуваемым восстановителем» для различения его от кокса.

Газообразный монооксид углерода и газообразный водород, образующиеся по реакции между доменным газом и восстановителем, приводят к уменьшению объёма рудного материала, загружаемого в доменную печь 1. В ходе реакции восстановления рудного материала образуется диоксид углерода. Затем диоксид углерода отводят из 45 верхней части доменной печи в виде отходящего газа, вместе с монооксидом углерода и водородом, не прореагировавшими с рудным материалом. Верхняя часть доменной печи находится в условиях высокого давления, около 2,5 атм. С учётом вышесказанного, водяной пар конденсируется вследствие расширения и охлаждения отходящего газа,

отводимого из верхней части доменной печи (далее в настоящем документе называемого также отходящим газом доменной печи), поскольку он возвращается к нормальному давлению. После этого конденсат удаляют при посредстве первого устройства 5 для обезвоживания.

5 Затем, по меньшей мере, часть отходящего газа доменной печи подают в устройство 3 для рекуперации газообразного метана. После этого монооксид углерода и диоксид углерода, содержащиеся в отходящем газе доменной печи, реагируют с газообразным водородом в устройстве 3 для рекуперации газообразного метана с образованием газообразного метана ( $\text{CH}_4$ ). В настоящем документе газообразный метан, полученный  
10 в результате взаимодействия отходящего газа доменной печи, называется рекуперированным газообразным метаном.

Водород, используемый для получения рекуперированного газообразного метана, может поставляться извне, но предпочтительно производится способом, в котором образуется как можно меньше диоксида углерода. Например, можно использовать  
15 электролиз воды. Газообразный водород необязательно должен являться газом с концентрацией водорода 100% об., но с целью достижения высокой концентрации метана в рекуперированном газообразном метане предпочтительно используют газ с высокой концентрацией водорода, конкретно, газообразный водород с концентрацией водорода 80% об. или больше. Более предпочтительной является концентрация водорода  
20 90% об. или больше, а ещё предпочтительнее 95% об. или больше. Концентрация водорода может составлять 100% об. Остальная часть газа, отличная от водорода, включает в себя, например,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CH}_4$  и  $\text{N}_2$ .

Затем при охлаждении рекуперированного газообразного метана до комнатной температуры конденсируется водяной пар, содержащийся в рекуперированном  
25 газообразном метане. После этого конденсат удаляют во втором устройстве 6 для обезвоживания.

Затем рекуперированный газообразный метан вводят в устройство 4 для вдувания газа. Устройство 4 для вдувания газа соединено с устройством 3 для рекуперации  
30 газообразного метана через второе устройство 6 для обезвоживания. Устройство 4 для вдувания газа имеет секцию подачи газообразного метана, в которой рекуперированный газообразный метан, служащий вдуваемым восстановителем, вводят в фурму 2 доменной печи 1, и секцию подачи кислородсодержащего газа, в которой кислородсодержащий газ, служащий доменным газом, вводят в фурму доменной печи.

Например, как проиллюстрировано на фиг. 2А, устройство 4 для вдувания газа  
35 включает в себе многоствольную коаксиальную трубу, имеющую центральную трубу 4-1 и внешнюю трубу 4-3. Затем газообразный метан (рекуперированный газообразный метан и, соответственно, внешний газообразный метан, как описано ниже) вводят во внутренний канал центральной трубы, который выполняет функции секции (канала) подачи газообразного метана, а кислородсодержащий газ вводят в кольцевой трубный  
40 канал между центральной трубой 4-1 и внешней трубой 4-3, который выполняет функции секции (канала) подачи кислородсодержащего газа.

Вместе с метаном можно использовать и другой вдуваемый восстановитель, например, тонко измельчённый уголь, пластиковые отходы или газообразный восстановитель,  
45 такой как газообразный водород или газообразный монооксид углерода. Общее количество дутья другого восстановителя, вдуваемого в доменную печь, составляет предпочтительно 150 кг/т или меньше. В данном случае единица «кг/т» является количеством другого восстановителя, вдуваемого в доменную печь при получении 1 т горячего металла.

В случае использования другого вдуваемого восстановителя его также можно вводить в секцию подачи газообразного метана. При использовании тонко измельчённого угля или пластиковых отходов в качестве другого вдуваемого восстановителя его предпочтительно подавать без вхождения в секцию подачи газообразного метана, вводить в секцию (канал) подачи другого восстановителя, через которую проходит поток тонко измельчённого угля или пластиковых отходов. В данном случае, как проиллюстрировано на фиг. 2В, например, устройство 3 для вдувания газа включает в себе многоствольную коаксиальную трубу, имеющую, в дополнение к центральной трубе 4-1 и внешней трубе 4-3, внутреннюю трубу 4-2, предусмотренную между центральной трубой 4-1 и внешней трубой 4-3. Затем вводят другой вдуваемый восстановитель, такой как тонко измельчённый уголь или пластиковые отходы, из внутреннего канала центральной трубы, который выполняет функции секции подачи другого восстановителя. Далее вводят газообразный метан из кольцевого трубного канала между центральной трубой 4-1 и внешней трубой 4-3, который является секцией подачи газообразного метана, и вводят кислород из кольцевого трубного канала между внутренней трубой 4-2 и внешней трубой 4-3, который является секцией подачи кислородсодержащего газа.

Поскольку использование кислородсодержащего газа в качестве доменного газа при комнатной температуре обуславливает слабую воспламеняемость, предпочтительно снабжать пористой структурой выпускной участок внешней трубы, которая образует секцию подачи кислородсодержащего газа устройства 4 для вдувания газа, с целью активирования смешивания кислородсодержащего газа и вдуваемого восстановителя.

Необязательно использовать рекуперированный газообразный метан для всего объёма газообразного метана, вдуваемого в доменную печь из фурмы (далее в настоящем документе называемого «вдуваемым газообразным метаном»), а можно использовать газообразный метан, подаваемый из отдельной линии (называемый также «внешним газообразным метаном») в соответствии с режимом работы сталелитейного завода. В данном случае линия подачи внешнего газообразного метана может быть соединена с секцией подачи газообразного метана устройства 4 для вдувания газа или с секцией подачи другого восстановителя, как описано выше. Линия подачи внешнего газообразного метана также может быть соединена с каналом для прохода потока рекуперированного газообразного метана между устройством 3 для рекуперации газообразного метана и устройством 4 для вдувания газа (предпочтительно между вторым устройством 6 для обезвоживания и устройством 4 для вдувания газа).

Внешний газообразный метан включает в себя, например, газообразный метан, полученный из ископаемых топлив.

Затем, как проиллюстрировано на фиг. 2А и 2В, вдуваемый восстановитель, такой как вдуваемый газообразный метан, и кислородсодержащий газ, вводимые из устройства 4 для вдувания газа, смешиваются в фурме 2. Непосредственно после этого смешанный газ вдувают в доменную печь 1 из фурмы 2, происходит быстрое воспламенение и быстрое сгорание. После этого в доменной печи, за фурмой 2 формируется зона 8 циркуляции, которая является областью, в которой газообразный кислород реагирует с вдуваемым восстановителем, таким как вдуваемый газообразный метан и кокс.

При увеличении концентрации кислорода в доменном газе количество газа в печи уменьшается, и повышение температуры шихты в верхней части доменной печи может быть недостаточным. В данном случае, как отображено на фиг. 1, предпочтительно осуществлять вдувание предварительно нагретого газа, при котором часть отходящего газа доменной печи ниже по ходу потока после первого устройства 5 для обезвоживания

частично сжигают на горелке 7 для достижения температуры примерно от 800°C до 1000°C, а затем вдувают в шахтную секцию доменной печи.

И в способе эксплуатации доменной печи согласно одному из раскрытых вариантов осуществления в качестве доменного газа важно использовать кислородсодержащий газ, вместо горячего дутья (воздуха, нагретого примерно до 1200°C), как описано выше.

Подробнее, когда в качестве доменного газа используют горячее дутьё (воздух, нагретый примерно до 1200°C), газообразный продукт сгорания содержит азот в количестве около 50% об., что не способствует реакции горения, и, таким образом, температура пламени в зоне циркуляции вряд ли повышается. С учётом вышесказанного, когда большую часть восстановителя на основе тонко измельчённого угля, вдуваемого в доменную печь, заменяют на газообразный метан, разность между теплотой реакции в смеси тонко измельчённый уголь-кислород и теплотой реакции в смеси газообразный метан-кислород, описанная выше, будет вызывать снижение температуры в выпускном отверстии фурмы, и в конечном итоге температура на выходе из фурмы упадёт ниже 2000°C, что является нижним пределом соответствующей температуры. В результате это приводит к возникновению эксплуатационных проблем, таких как недостаточный нагрев нижней части доменной печи, увеличение перепада давления и невозможность выпуска металла из печи. Далее, поскольку отходящий газ доменной печи содержит большое количество азота, в рамках данного процесса необходимо отделять азот от монооксида углерода и диоксида углерода до осуществления процесса получения газообразного метана из отходящего газа доменной печи.

С другой стороны, использование кислородсодержащего газа в качестве доменного газа может подавлять подмешивание газообразного азота, который не способствует реакции горения, так что температура в выпускном отверстии фурмы может повышаться до адекватной температуры. Это означает, что температура пламени в зоне циркуляции может быть выше, чем в случае использования горячего дутья. С учётом вышесказанного, даже при вдувании из фурмы большого количества метана в качестве восстановителя, температуру на выходе из фурмы можно регулировать в соответствующем диапазоне от 2000°C до 2400°C.

На основании вышеизложенного, в способе эксплуатации доменной печи согласно одному из раскрытых вариантов осуществления в качестве доменного газа важно использовать кислородсодержащий газ.

На фиг. 8 отображён пример соотношения между скоростью расхода циркулирующих атомов углерода, содержащихся в восстановителе (далее в настоящем документе называемой просто скоростью расхода циркулирующих атомов углерода), описанной ниже, и температурой в выпускном отверстии фурмы для условий, когда используют горячее дутьё (воздух, нагретый примерно до 1200°C) в качестве доменного газа (далее в настоящем документе называемых условиями продувки горячим дутьём) и когда используют кислородсодержащий газ (концентрация кислорода: 100%) в качестве доменного газа (далее в настоящем документе называемых условиями продувки кислородсодержащим газом). В обоих указанных условиях весь вдуваемый восстановитель представляет собой рекуперированный газообразный метан (концентрация метана: 99,5%).

Как проиллюстрировано на фиг. 8, в условиях продувки горячим дутьём, когда скорость расхода циркулирующих атомов углерода составляет 52 кг/т или больше (т.е. объём дутья рекуперированного метана составляет 97 н.м<sup>3</sup>/т или больше), температура в выпускном отверстии фурмы падает ниже 2000°C, что является нижним пределом соответствующей температуры. Таким образом, в обычно используемых условиях

продувки горячим дутьём скорость расхода циркулирующих атомов углерода, равная 55 кг/т или больше, особенно 60 кг/т или больше, вызывает понижение температуры в выпускном отверстии фурмы, что делает невозможной стабильную работу.

5 С другой стороны, в условиях продувки кислородсодержащим газом температура в выпускном отверстии фурмы сохраняется на уровне 2000°C или выше, даже в случае, когда скорость расхода циркулирующих атомов углерода составляет 55 кг/т или выше, либо даже 60 кг/т или выше.

В условиях продувки кислородсодержащим газом, проиллюстрированных на фиг. 8, температура в выпускном отверстии фурмы превышает 2400°C, что является верхним  
10 пределом соответствующей температуры, в диапазоне, где скорость расхода циркулирующих атомов углерода составляет от 55 кг/т до 80 кг/т. Это обусловлено тем, что весь вдуваемый восстановитель представляет собой рекуперированный метан. Когда используют внешний газообразный метан как часть вдуваемого восстановителя, температуру в выпускном отверстии фурмы можно регулировать в диапазоне от 2000°C  
15 до 2400°C, даже если скорость расхода циркулирующих атомов углерода находится в диапазоне от 55 кг/т до 80 кг/т. Даже если весь вдуваемый восстановитель является рекуперированным метаном, температуру в выпускном отверстии фурмы можно контролировать в диапазоне от 2000°C до 2400°C путём регулирования концентрации кислорода в кислородсодержащем газе.

20 Концентрация кислорода в кислородсодержащем газе предпочтительно составляет 80% об. или больше. Конкретно, когда концентрация кислорода в кислородсодержащем газе является низкой, может возрасти объём газа, вводимого в доменную печь, и, таким образом, может увеличиваться перепад давления в доменной печи, что приводит к снижению производительности. Далее, при повторении циркуляции газа концентрация  
25 газообразного метана в рекуперированном газообразном метане снижается в относительном количестве. С учётом вышесказанного, концентрация кислорода в кислородсодержащем газе предпочтительно составляет 80% об. или больше. Более предпочтительно, концентрация кислорода составляет 90% об. или больше, а ещё предпочтительнее, 95% об. или больше. В частности, когда концентрация кислорода  
30 составляет 90% об. или больше, даже если доменная печь работает вне рамок периода нормальной эксплуатации, концентрацию газообразного метана в рекуперированном газообразном метане можно поддерживать на высоком уровне (около 90% об.) без необходимости в подаче внешнего газообразного метана, что является очень предпочтительным. Концентрация кислорода может составлять 100% об.

35 Остальная часть кислородсодержащего газа, отличная от кислорода, может включать в себя, например, азот, диоксид углерода и аргон.

Концентрация метана во вдуваемом газообразном метане, состоящем из рекуперированного газообразного метана или рекуперированного газообразного метана и внешнего газообразного метана, предпочтительно составляет 80% об. или  
40 больше.

Подробнее, когда концентрация метана во вдуваемом газообразном метане является низкой, может возрасти объём газа, вдуваемого в доменную печь, и, таким образом, может увеличиваться перепад давления в доменной печи, что приводит к снижению производительности. Далее, при повторении циркуляции газа концентрация метана в  
45 рекуперированном газообразном метане снижается в относительном количестве. С учётом вышесказанного, концентрация метана во вдуваемом газообразном метане предпочтительно составляет 80 об. процентов или больше. Более предпочтительно, концентрация метана во вдуваемом газообразном метане составляет 90% об. или больше,

а ещё предпочтительнее, 95% об. или больше. Концентрация метана во вдуваемом газообразном метане может составлять 100% об.

По той же причине, концентрация метана и в рекуперированном газообразном метане, и во внешнем газообразном метане предпочтительно составляет 80% об. или больше. Более предпочтительно, концентрация метана и в рекуперированном газообразном метане, и во внешнем газообразном метане составляет 90% об. или больше, а ещё предпочтительнее, 95% об. или больше. Концентрация метана и в рекуперированном газообразном метане, и во внешнем газообразном метане может составлять 100% об.

Остальная часть газа, отличная от метана, во вдуваемом газообразном метане, рекуперированном газообразном метане и внешнем газообразном метане может включать в себя, например, оксид углерода, диоксид углерода, водород и углеводороды, а также такую газообразную примесь, как азот.

Если концентрация метана в рекуперированном газообразном метане снижается, концентрация метана во вдуваемом газообразном метане можно сохранять высокой, например, за счёт уменьшения доли рекуперированного газообразного метана во вдуваемом газообразном метане при одновременном увеличении доли внешнего газообразного метана с высокой концентрацией метана.

В способе эксплуатации доменной печи согласно одному из раскрытых вариантов осуществления скорость расхода циркулирующих атомов углерода, содержащихся в восстановителе, предпочтительно составляет 55 кг/т или больше, а более предпочтительно, 60 кг/т или больше.

Скорость расхода циркулирующих атомов углерода представляет собой эквивалентную массу углерода рекуперированного газообразного метана, который вдувают в доменную печь в качестве восстановителя для получения 1 т горячего металла, и её определяют при помощи следующего уравнения:

[Скорость расхода циркулирующих атомов углерода (кг/т)] = [Масса метана в рекуперированном газообразном метане, вдуваемом в доменную печь в качестве восстановителя (кг)] × (12/16) ÷ [Объём производства горячего металла (т)].

Для стабильной работы доменной печи, как правило, необходимо регулировать температуру на выходе из фурмы в диапазоне от 2000°C до 2400°C. С учётом вышесказанного, когда в качестве доменного газа используют горячее дутьё (воздух, нагретый примерно до 1200°C), газообразный метан можно вдувать в доменную печь только в количестве примерно до 52 кг эквивалентной массы углерода/т с целью поддержания температуры на выходе из фурмы в вышеупомянутом диапазоне. Подробнее, даже если весь газообразный метан, вдуваемый в доменную печь, представляет собой рекуперированный газообразный метан, скорость расхода циркулирующих атомов углерода, содержащихся в восстановителе, составляет лишь около 52 кг/т.

С другой стороны, в способе эксплуатации доменной печи согласно одному из раскрытых вариантов осуществления, даже при значительном увеличении объёма вдувания газообразного метана, температуру на выходе из фурмы можно регулировать в диапазоне от 2000°C до 2400°C. С учётом вышесказанного, скорость расхода циркулирующих атомов углерода, содержащихся в восстановителе, можно повышать до 55 кг/т или больше, и даже до 60 кг/т или больше. Это увеличит потребление рекуперированного газообразного метана, полученного из монооксида углерода и диоксида углерода, содержащихся в отходящем газе доменной печи, дополнительно уменьшая выбросы диоксида углерода из доменной печи. Скорость расхода

циркулирующих атомов углерода, содержащихся в восстановителе, предпочтительно составляет 80 кг/т или больше, а более предпочтительно, 90 кг/т или больше. На скорость расхода циркулирующих атомов углерода, содержащихся в восстановителе, не налагается никакой верхний предел, но предпочтительно верхний предел составляет  
5 110 кг/т или меньше.

Скорость расхода циркулирующих атомов углерода, содержащихся в восстановителе, можно контролировать путём регулирования количества рекуперированного газообразного метана в восстановителе, вдуваемом в фурму.

В частности, за счёт установления доли рекуперированного газообразного метана  
10 во вдуваемом газообразном метане, равной 80% об. или больше, предпочтительно 90% об. или больше, может достигаться сильный эффект уменьшения выбросов диоксида углерода.

Как проиллюстрировано на фиг. 3, рекуперированный газообразный метан можно получать из части отходящего газа доменной печи, а излишек отходящего газа доменной  
15 печи можно подавать на сталелитейный завод. Кроме того, как отображено на фиг. 4, если имеется избыток рекуперированного газообразного метана, его можно подавать на сталелитейный завод.

Объём вдувания кислородсодержащего газа и восстановителя, а также другие рабочие условия не ограничиваются и могут определяться соответствующим образом согласно  
20 производительности доменной печи и тому подобному.

Вспомогательный узел доменной печи

Вспомогательный узел доменной печи согласно одному из раскрытых вариантов осуществления представляет собой вспомогательный узел доменной печи, используемый в способе эксплуатации доменной печи, описанном выше, заключающий в себе:

25 устройство для рекуперации газообразного метана, в котором вырабатывается рекуперированный газообразный метан из отходящего газа, и

устройство для вдувания газа, имеющее секцию подачи газообразного метана, в которой рекуперированный газообразный метан вводят в фурму доменной печи, и секцию подачи кислородсодержащего газа, в которой кислородсодержащий газ вводят  
30 в фурму доменной печи.

В данном случае в устройстве для рекуперации газообразного метана имеется, например, впускная секция отходящего газа доменной печи, впускная секция газообразного водорода и реакционная секция. В реакционной секции отходящий газ доменной печи, поступающий из впускной секции отходящего газа доменной печи, и  
35 газообразный водород, поступающий из впускной секции газообразного водорода, реагируют с образованием рекуперированного газообразного метана. Поскольку в реакции с образованием газообразного метана выделяется тепло, реакционная секция предпочтительно оснащена охлаждающим механизмом.

Как описано выше, например, как проиллюстрировано на фиг. 2А, устройство для  
40 вдувания газа включает в себе многоствольную коаксиальную трубу, имеющую центральную трубу 4-1 и внешнюю трубу 4-3. Затем газообразный метан (рекуперированный газообразный метан и, соответственно, внешний газообразный метан, как описано ниже) вводят во внутренний канал центральной трубы, который выполняет функции секции (канала) подачи газообразного метана, а  
45 кислородсодержащий газ вводят в кольцевой трубный канал между центральной трубой 4-1 и внешней трубой 4-3, который выполняет функции секции (канала) подачи кислородсодержащего газа.

Вместе с метаном можно использовать и другой вдуваемый восстановитель, например,

тонко измельчённый уголь, пластиковые отходы или газообразный восстановитель, такой как газообразный водород или газообразный монооксид углерода.

При использовании другого вдуваемого восстановителя его также можно вводить в секцию подачи газообразного метана. При использовании тонко измельчённого угля или пластиковых отходов в качестве другого вдуваемого восстановителя предпочтительно предусматривать, отдельно от секции подачи газообразного метана, секцию (канал) подачи другого восстановителя, через которую проходит поток тонко измельчённого угля или пластиковых отходов. В указанном случае, как отображено, например, на фиг. 2В, устройство для вдувания газа включает в себе многоствольную коаксиальную трубу, имеющую, в дополнение к центральной трубе 4-1 и внешней трубе 4-3, внутреннюю трубу 4-2, предусмотренную между центральной трубой 4-1 и внешней трубой 4-3. Затем вводят другой вдуваемый восстановитель, такой как тонко измельчённый уголь или пластиковые отходы, из внутреннего канала центральной трубы, который выполняет функции секции подачи другого восстановителя. Далее вводят газообразный метан из кольцевого трубного канала между центральной трубой 4-1 и внешней трубой 4-3, который является секцией подачи газообразного метана, и вводят кислород из кольцевого трубного канала между внутренней трубой 4-2 и внешней трубой 4-3, который является секцией подачи кислородсодержащего газа.

#### Примеры

С использованием доменной печи и вспомогательного узла доменной печи, схематично отображенных на фиг. 1 и 3 - 7, осуществляли работу доменной печи в условиях, приведённых в таблице 1, и оценивали температуру на выходе из фурмы и выбросы диоксида углерода из доменной печи в ходе её работы. Результаты оценки также представлены в таблице 1.

На фиг. 5-7 позиция 9 представляет сушильную печь, позиция 10 представляет газоразделительное устройство, а позиция 11 представляет устройство для обезвоживания отработанного газа сушильной печи.

В примере 1 доменную печь и вспомогательный узел доменной печи, схематично изображённые на фиг. 1, использовали для получения рекуперированного газообразного метана из части отходящего газа доменной печи, а излишек отходящего газа доменной печи подавали на сталелитейный завод. Весь вдуваемый восстановитель представлял собой рекуперированный газообразный метан, а излишек рекуперированного газообразного метана подавали на сталелитейный завод.

В примере 2 доменную печь и вспомогательный узел доменной печи, схематично изображённые на фиг. 3, использовали для получения рекуперированного газообразного метана из части отходящего газа доменной печи, а излишек отходящего газа доменной печи подавали на сталелитейный завод. Весь вдуваемый восстановитель представлял собой рекуперированный газообразный метан, а количество образующегося рекуперированного газообразного метана регулировали таким образом, чтобы не образовывался излишек рекуперированного газообразного метана.

В примере 3 доменную печь и вспомогательный узел доменной печи, схематично изображённые на фиг. 4, использовали для получения рекуперированного газообразного метана из всего отходящего газа доменной печи. Весь вдуваемый восстановитель представлял собой рекуперированный газообразный метан, а избыток рекуперированного газообразного метана подавали на сталелитейный завод.

В примерах 4 и 5 доменную печь и вспомогательный узел доменной печи, схематично изображённые на фиг. 3, использовали для получения рекуперированного газообразного метана из части отходящего газа доменной печи, а избыток отходящего газа доменной



печи подавали на сталелитейный завод. Дополнительно к рекуперированному газообразному метану, в качестве вдуваемого восстановителя использовали также внешний газообразный метан, полученный из ископаемых топлив.

С другой стороны, в сравнительном примере 1 использовали доменную печь и вспомогательный узел доменной печи, схематично изображённые на фиг. 5. Конкретно, в сравнительном примере 1 представлен общераспространённый способ эксплуатации доменной печи, в котором используют горячее дутьё (воздух, нагретый примерно до 1200°C (концентрация кислорода примерно 21 - 25% об.)) в качестве доменного газа и тонко измельчённый уголь в качестве вдуваемого восстановителя. Из отходящего газа доменной печи не получали рекуперированный газообразный метан.

В сравнительном примере 2 использовали доменную печь и вспомогательный узел доменной печи, схематично изображённые на фиг. 6. В качестве доменного газа использовали горячее дутьё (воздух, нагретый примерно до 1200°C (концентрация кислорода примерно 21 - 25% об.)), а в качестве вдуваемого восстановителя использовали рекуперированный газообразный метан. Перед получением рекуперированного газообразного метана из отходящего газа доменной печи выделяли монооксид углерода и диоксид углерода и из отделённых монооксида углерода и диоксида углерода получали рекуперированный газообразный метан.

В сравнительном примере 3 использовали доменную печь и вспомогательный узел доменной печи, схематично изображённые на фиг. 7. В качестве доменного газа использовали горячее дутьё (воздух, нагретый примерно до 1200°C (концентрация кислорода примерно 21 - 25% об.)), а в качестве вдуваемого восстановителя использовали рекуперированный газообразный метан. При получении рекуперированного газообразного метана использовали отходящий газ сушильной печи (далее в настоящем документе называемый также отработанным газом сушильной печи), вместо отходящего газа доменной печи. Затем из отработанного газа сушильной печи выделяли диоксид углерода и получали из отделённого диоксида углерода рекуперированный газообразный метан.

В сравнительном примере 4 доменную печь и вспомогательный узел доменной печи, схематично изображённые на фиг. 1, использовали для получения рекуперированного газообразного метана из части отходящего газа доменной печи, а избыток отходящего газа доменной печи подавали на сталелитейный завод. Дополнительно к рекуперированному газообразному метану, в качестве вдуваемого восстановителя использовали также внешний газообразный метан, полученный из ископаемых топлив.

В сравнительном примере 5, как и в сравнительном примере 2, использовали доменную печь и вспомогательный узел доменной печи, схематично изображённые на фиг. 6. В сравнительном примере 5 имелись те же условия, что и в сравнительном примере 2, за исключением того, что была увеличена доля вдуваемого газообразного метана.

В целях сопоставления технические характеристики доменных печей были стандартизованы в максимально возможной степени. Конкретно, коэффициент полезного действия шахты составлял 94%, а потеря тепла была равна 150000 ккал/т.

Единица «ккал/т» относится к величине потери тепла (ккал), образующейся при производстве 1 т горячего металла. Аналогичным образом, например, единица «кг/т», используемая для скорости подачи кокса, обозначает количество кокса (кг), используемое для получения 1 т горячего металла и т.д. Далее, единица «н.м<sup>3</sup>/т», используемая для доли вдуваемого метана, относится к количеству метана (н.м<sup>3</sup>) во вдуваемом газообразном метане, который вводят в доменную печь для получения 1 т

горячего металла (доля вдуваемого метана представляет собой сумму долей рекуперированного метана и внешнего метана, но рекуперированный газообразный метан содержит небольшое количество остаточного газа, отличного от метана. Обе величины долей и рекуперированного метана, и внешнего метана, приведённые в  
5 таблице 1, являются количествами метана, за вычетом небольшого количества остаточного газа, отличного от метана, и определяются путём округления до одного десятичного разряда. С учётом вышесказанного, каждая из долей вдуваемого метана, приведённых в таблице 1, иногда отличается от суммы соответствующих долей рекуперированного метана и внешнего метана).

10 В дополнение к этому, наименование пункта «количество С материала, подаваемого в доменную печь» в таблице 1 относится к массе (кг) атомов углерода внешнего происхождения (содержащихся конкретно в коксе, тонко измельчённом угле и внешнем газообразном метане), используемой для получения 1 т горячего металла.

15

20

25

30

35

40

45

Таблица 1

	Пример 1	Пример 2	Пример 3	Пример 4	Пример 5	
Технические характеристики доменной печи	Коэффициент полезного действия шахты	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94
	Потеря тепла	150000 ккал/т	150000 ккал/т	150000 ккал/т	150000 ккал/т	150000 ккал/т
	Скорость кокса	338 кг/т	338 кг/т	338 кг/т	338 кг/т	338 кг/т
	Доля тонкоизмельчённого угля	0 кг/т	0 кг/т	0 кг/т	0 кг/т	0 кг/т
	Доля вдуваемого метана	200 н.м <sup>3</sup> /т	200 н.м <sup>3</sup> /т	200 н.м <sup>3</sup> /т	200 н.м <sup>3</sup> /т	200 н.м <sup>3</sup> /т
	Доля рекуперированного метана	200 н.м <sup>3</sup> /т	200 н.м <sup>3</sup> /т	200 н.м <sup>3</sup> /т	103 н.м <sup>3</sup> /т	112 н.м <sup>3</sup> /т
	Доля внешнего метана	0 н.м <sup>3</sup> /т	0 н.м <sup>3</sup> /т	0 н.м <sup>3</sup> /т	98 н.м <sup>3</sup> /т	88 н.м <sup>3</sup> /т
	Подаваемое количество	321 н.м <sup>3</sup> /т	321 н.м <sup>3</sup> /т	321 н.м <sup>3</sup> /т	321 н.м <sup>3</sup> /т	321 н.м <sup>3</sup> /т
	Температура подачи	25 °С	25 °С	25 °С	25 °С	25 °С
	Доменный газ	кислородсодержащий газ	кислородсодержащий газ	кислородсодержащий газ	кислородсодержащий газ	кислородсодержащий газ
Процесс разделения газа	Концентрация кислорода	100 % об.	100 % об.	100 % об.	100 % об.	100 % об.
	Количество образующегося отходящего газа доменной печи	1034 н.м <sup>3</sup> /т	1034 н.м <sup>3</sup> /т	1034 н.м <sup>3</sup> /т	1034 н.м <sup>3</sup> /т	1034 н.м <sup>3</sup> /т
	Присутствие/отсутствие процесса разделения	отсутствует	отсутствует	отсутствует	отсутствует	отсутствует
	Тип газа до разделения	-	-	-	-	-
	Количество газа до разделения	н.м <sup>3</sup> /т	н.м <sup>3</sup> /т	н.м <sup>3</sup> /т	н.м <sup>3</sup> /т	н.м <sup>3</sup> /т
	Тип газа после разделения	-	-	-	-	-
Количество газа после разделения	н.м <sup>3</sup> /т	н.м <sup>3</sup> /т	н.м <sup>3</sup> /т	н.м <sup>3</sup> /т	н.м <sup>3</sup> /т	

Таблица 1 (продолжение)

	Тип исходного газа	Пример 1 Отходящий газ доменной печи	Пример 2 Отходящий газ доменной печи	Пример 3 Отходящий газ доменной печи	Пример 4 Отходящий газ доменной печи	Пример 5 Отходящий газ доменной печи
Процесс образования газообразного метана	Количество исходного газа	527	264	1034	135	147
	Количество подаваемого газообразного водорода	1301	651	2554	334	364
	Количество образующегося рекуперированного газообразного метана	402	201	788	103	112
Распределение газа	Концентрация метана в рекуперированном газообразном метане	99,6	99,6	99,6	99,6	99,6
	Количество рекуперированного газообразного метана во вдуваемом газообразном метане	201	201	201	103	112
	Избыточное количество рекуперированного газообразного метана (количество, подаваемое на сталелитейный завод)	201	0	587	0	0
Баланс С	Избыточное количество отходящего газа доменной печи (количество, подаваемое на сталелитейный завод)	507	770	0	899	886
	Скорость расхода циркулирующих атомов углерода	107	107	107	55	60
	Количество С материала, подаваемого в доменную печь	290	290	290	343	338
Результаты оценки	Количество CO <sub>2</sub> , испускаемого из доменной печи во внешнюю среду	1064	1064	1064	1256	1238
	Температура на выходе фурмы	2046	2046	2046	2046	2046

Таблица 1 (продолжение)

		Сравнительный пример 1	Сравнительный пример 2	Сравнительный пример 3	Сравнительный пример 4	Сравнительный пример 5	
Технические характеристики доменной печи	Коэффициент полезного действия шахты	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	
	Потеря тепла	150000	150000	150000	150000	150000	
	Скорость кокса	331	410	410	338	406	
	Восстановитель (Вдуваемый восстановитель)	Доля тонкоизмельчённого угля	170	0	0	0	0
		Доля вдуваемого метана	0	97	97	200	103
		Доля рекуперированного метана	0	97	97	75	103
		Доля внешнего метана	0	0	0	126	0
	Доменный газ	Подаваемое количество	1006	1053	1053	321	1057
		Температура подачи	1200	1200	1200	25	1200
	Процесс разделения газа	Тип	горячее дутьё	горячее дутьё	горячее дутьё	кислородосодержащий газ	горячее дутьё
Концентрация кислорода		25	25	25	100	25	
Количество образующегося отходящего газа доменной печи		1517	1587	1587	1034	1594	
Процесс разделения газа	Присутствие/отсутствие процесса разделения	отсутствует	присутствует	присутствует	отсутствует	присутствует	
	Тип газа до разделения	-	отходящий газ доменной печи	отработанный газ сушильной печи	-	отходящий газ доменной печи	
	Количество газа до разделения	-	232	704	-	246	
	Тип газа после разделения	-	CO, CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	-	CO, CO <sub>2</sub>	
	Количество газа после разделения	-	97	179	-	103	

Таблица 1 (продолжение)

		Сравнительный пример 1	Сравнительный пример 2	Сравнительный пример 3	Сравнительный пример 4	Сравнительный пример 5
Процесс образования газообразного метана	Тип исходного газа	-	CO, CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	отходящий газ доменной печи	CO, CO <sub>2</sub>
	Количество исходного газа	н.м <sup>3</sup> /т	97	179	98	103
	Количество подаваемого газообразного водорода	н.м <sup>3</sup> /т	342	715	243	360
	Количество образующегося рекуперируемого газообразного метана	н.м <sup>3</sup> /т	97	179	75	103
Распределение газа	Концентрация метана в рекуперируемом газообразном метане	% об.	100,0	100,0	99,6	100,0
	Количество рекуперируемого газообразного метана во вдуваемом газообразном метане	н.м <sup>3</sup> /т	97	97	75	103
	Избыточное количество рекуперируемого газообразного метана (количество, подаваемое на сталелитейный завод)	н.м <sup>3</sup> /т	-	0	81	0
	Избыточное количество отходящего газа доменной печи (количество, подаваемое на сталелитейный завод)	н.м <sup>3</sup> /т	1144	960	1192	935
Баланс С	Скорость расхода циркулирующих атомов углерода	кг/т	52	52	40	55
	Количество С материала, подаваемого в доменную печь	кг/т	420	353	353	349
Результаты оценки	Количество CO <sub>2</sub> , выпускаемого из доменной печи во внешнюю среду	кг/т	1539	1293	1293	1279
	Температура на выходе фурмы	°C	2179	2000	2000	1978

Как показано в таблице 1, во всех примерах стало возможным уменьшение количества

диоксида углерода, выпускаемого из доменной печи во внешнюю среду, при одновременном поддержании стабильной работы доменной печи путём регулирования температуры на выходе из фурмы в диапазоне от 2000°C до 2400°C. В частности, в примерах 1 – 3 стало возможным значительное снижение количества диоксида углерода, выпускаемого из доменной печи во внешнюю среду.

С другой стороны, в сравнительных примерах 1 - 4 не достигался в достаточной степени эффект снижения выбросов диоксида углерода. В сравнительном примере 5 доменная печь не могла стабильно работать, поскольку температура на выходе из фурмы была ниже 2000°C вследствие увеличения объёма вдуваемого газообразного метана.

Список позиций

- 1: доменная печь
- 2: фурма
- 3: устройство для рекуперации газообразного метана
- 4: устройство для вдувания газа
- 4-1: центральная труба
- 4-2: внутренняя труба
- 4-3: внешняя труба
- 5: первое устройство для обезвоживания
- 6: второе устройство для обезвоживания
- 7: горелка
- 8: зона циркуляции
- 9: сушильная печь
- 10: газоразделительное устройство
- 11: устройство для обезвоживания отработанного газа сушильной печи

#### (57) Формула изобретения

1. Способ вдувания газа в доменную печь, включающий в себя следующее: получают рекуперированный газообразный метан из отходящего газа, отводимого из доменной печи, и

вдувают доменный газ и восстановитель в доменную печь из фурмы, при этом доменный газ представляет собой кислородсодержащий газ, а рекуперированный газообразный метан используют по меньшей мере как часть восстановителя,

при этом эквивалентная масса углерода рекуперированного газообразного метана, который вдувают в доменную печь в качестве восстановителя для получения 1 т горячего металла, составляет 55 кг/т или больше.

2. Способ по п. 1, в котором эквивалентная масса углерода рекуперированного газообразного метана, который вдувают в доменную печь в качестве восстановителя для получения 1 т горячего металла, составляет 60 кг/т или больше,

при этом эквивалентную массу углерода рекуперированного газообразного метана, который вдувают в доменную печь в качестве восстановителя для получения 1 т горячего металла, определяют при помощи следующего уравнения:

[Эквивалентная масса углерода рекуперированного газообразного метана, который вдувают в доменную печь в качестве восстановителя для получения 1 т горячего металла, кг/т] = [Масса метана в рекуперированном газообразном метане, вдуваемом в доменную печь в качестве восстановителя, кг] × (12/16) ÷ [Объём производства горячего металла, т].

3. Способ по п. 1 или 2, в котором кислородсодержащий газ имеет концентрацию кислорода 80% об. или больше.

4. Способ по любому из пп. 1-3, в котором из части отходящего газа получают рекуперированный газообразный метан, а излишек отходящего газа подают на сталелитейный завод.

5. Способ по любому из пп. 1-4, в котором излишек рекуперированного газообразного метана подают на сталелитейный завод.

10

15

20

25

30

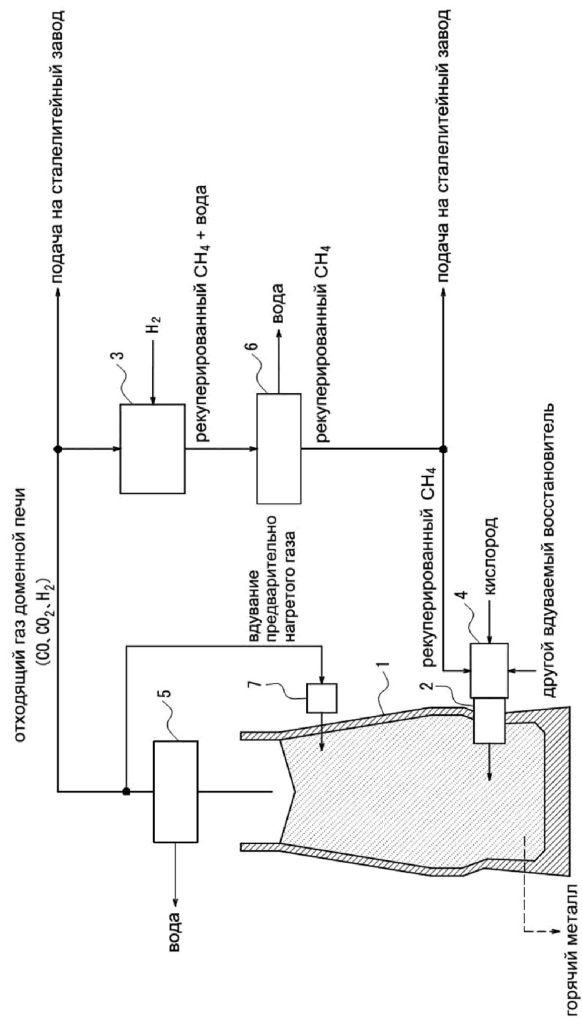
35

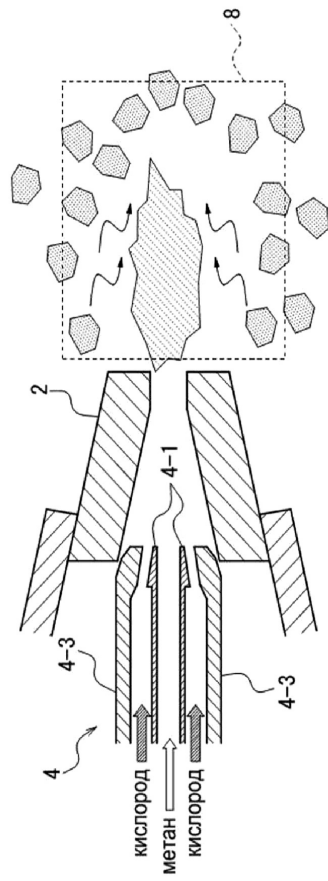
40

45

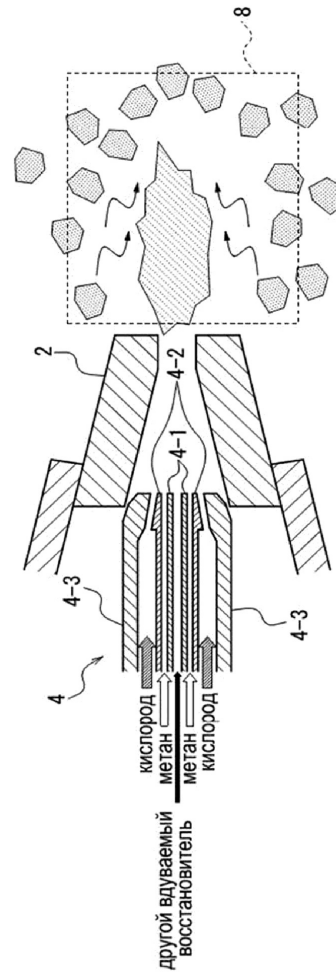


ФИГ. 1



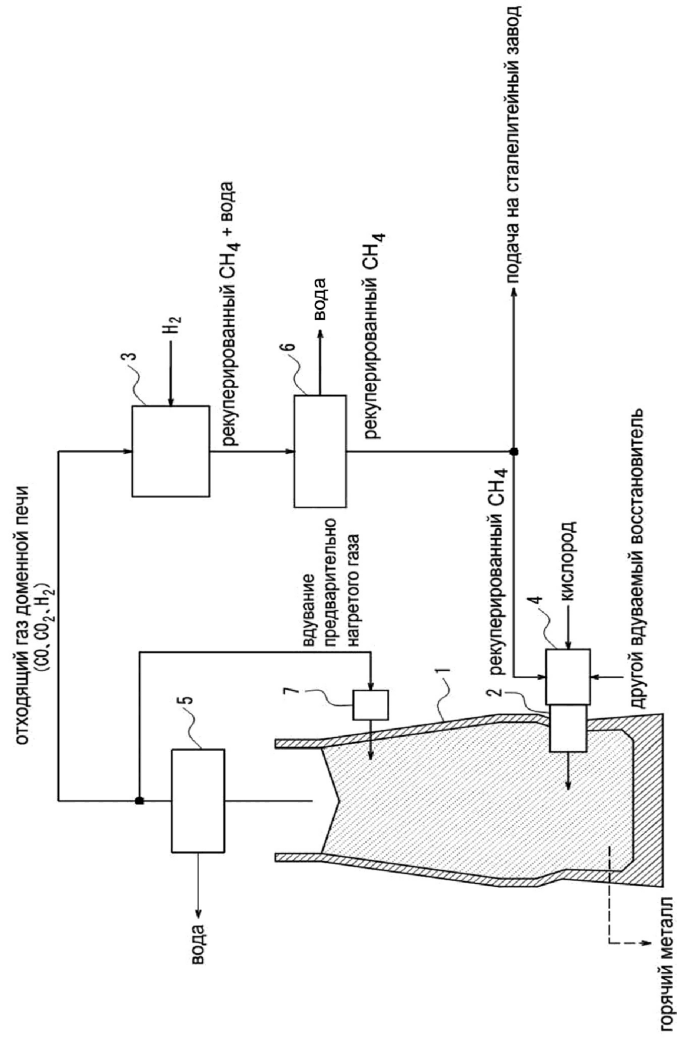


ФИГ. 2А

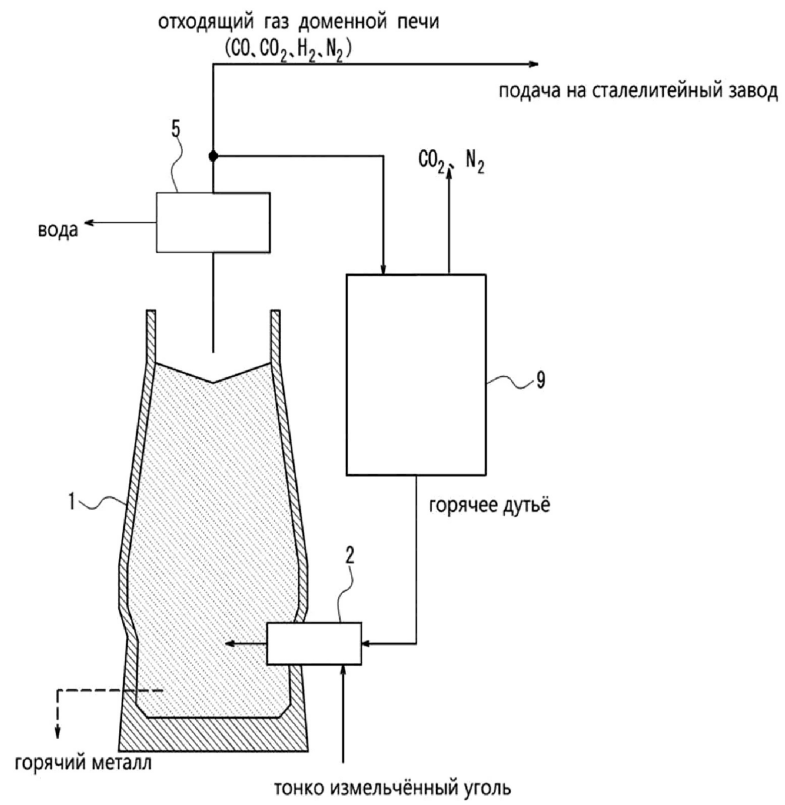


ФИГ. 2В



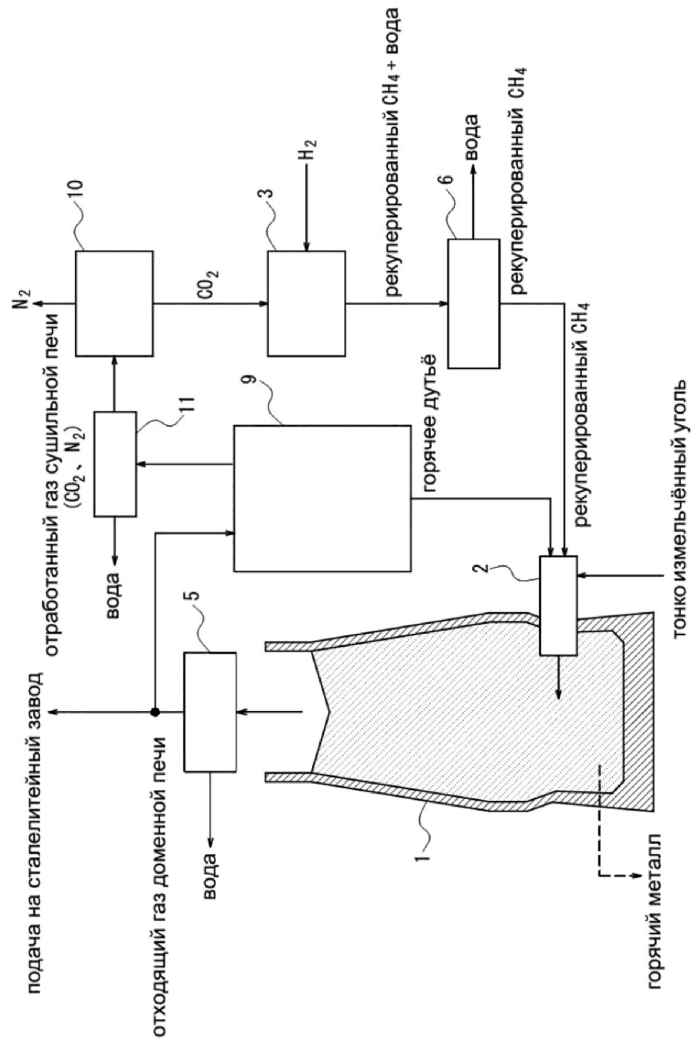


ФИГ. 4

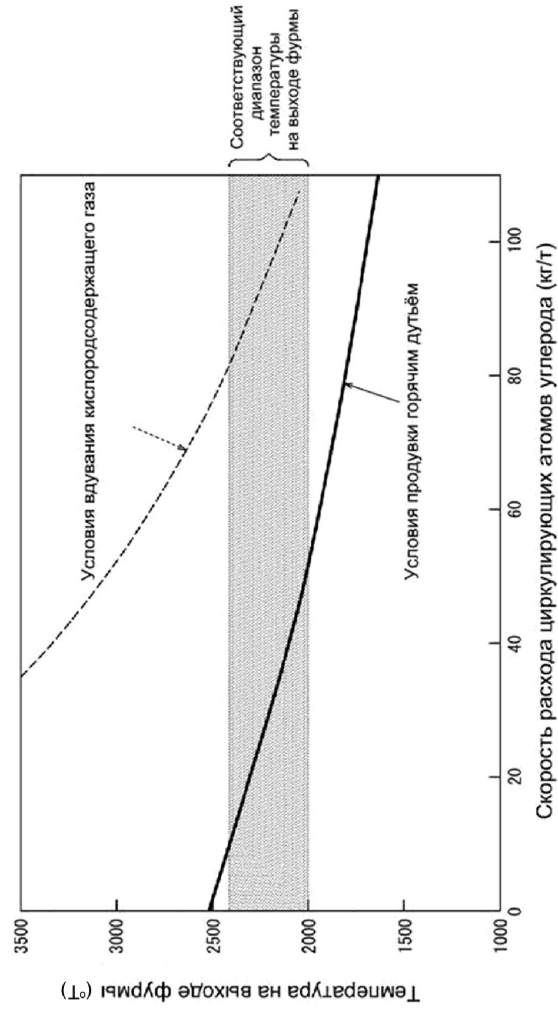


Фиг. 5





ФИГ. 7



ФИГ. 8