

(19)



Евразийское
патентное
ведомство

(21) 202393001

(13) A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2024.03.04

(51) Int. Cl. C21B 5/00 (2006.01)
C21B 5/06 (2006.01)
C21B 7/00 (2006.01)
C21B 13/00 (2006.01)

(22) Дата подачи заявки
2022.05.02

(54) СПОСОБ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИНТЕЗ-ГАЗА ДЛЯ СНИЖЕНИЯ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОЙ РУДЫ В ДОМЕННЫХ ПЕЧАХ

(31) 102021000011189

(72) Изобретатель:

(32) 2021.05.03

Базини Лука Эудженио Риккардо,

(33) IT

Якуаньелло Гаэтано, Салладини

(86) PCT/EP2022/061672

Аннарита (IT)

(87) WO 2022/233769 2022.11.10

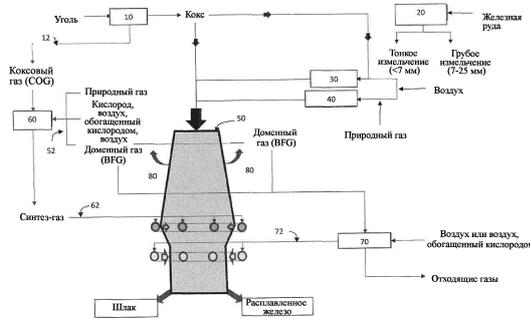
(74) Представитель:

(71) Заявитель:

Хмара М.В. (RU)

НЕКСТКЕМ ТЕК С.П.А. (IT)

(57) Описан способ восстановления железной руды в доменной печи для получения железа и/или соединений железа и углерода с низким негативным воздействием на окружающую среду, в котором синтез-газ, полученный из потока углеводородов способом каталитического частичного окисления с малой продолжительностью контакта (SCT-CPO), объединенный со способом восстановления железной руды, также используют в доменной печи.



202393001

A1

A1

202393001

СПОСОБ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИНТЕЗ-ГАЗА ДЛЯ СНИЖЕНИЯ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОЙ РУДЫ В ДОМЕННЫХ ПЕЧАХ

5 Область техники, к которой относится изобретение

Настоящее изобретение относится к способу восстановления железной руды в доменной печи с использованием синтез-газа, полученного посредством каталитического частичного окисления (CPO; от англ.: Catalytic Partial Oxidation), с целью снижения выбросов CO₂.

10

Уровень техники

15 Более 90% производимой стали в настоящее время получают посредством восстановления железных руд в доменных печах (BF; от англ.: blast furnaces) способом, в котором широко используются кокс, сжигание которого обеспечивает достижение необходимых температур, и газовая смесь, необходимая для процесса восстановления. В характерном случае продукт, получаемый в BF, является чугуном с высоким содержанием углерода, который затем преобразуют в сталь в основном кислородном конвертере (BOF; от англ.: Basic Oxygen Furnace).

20 Однако эта технология производства оказывает существенное негативное воздействие на окружающую среду из-за выбросов CO₂ и других загрязняющих веществ.

25 Восстановление железных руд в BF в характерном случае требует расхода кокса, лежащего в диапазоне от 450 кг до 700 кг на тонну полученного жидкого металла (ТНМ; от англ.: Ton of Hot Metal); это количество при сжигании обеспечивает примерно 75% от общего расхода энергии, необходимого для преобразования железных руд в сталь при использовании комбинированных BF и BOF способов. Однако количество кокса можно также снизить до менее чем 400 кг/ТНМ, если сочетать его использование с использованием пылевидного и/или микронизированного угля, что имеет место в новейших технологиях производства стали.

30 Коксовая печь, в которой получают кокс из угля, также генерирует коксовый газ (COG; от англ.: coke oven gas), который содержит водород, легкие углеводороды, а также загрязняющие вещества, такие как полиароматические углеводороды, различные соединения азота и серы, а также жидкие и/или твердые частицы, которые могут быть выброшены в атмосферу, если они не

будут должным образом захвачены, и которые обычно обозначают как взвешенные частицы.

Кроме того, способы восстановления железной руды в BF генерируют доменный газ (BFG; от англ.: blast furnace gas), основными компонентами которого являются CH_4 , CO , CO_2 , H_2 , H_2O , N_2 и меньшие количества ароматических углеводородов, соединений серы, взвешенных частиц, аммиачных соединений и NO_x . Кроме того, как указано выше, способ восстановления железной руды в BF, генерирует большие количества CO_2 , например – 1,7 тонн CO_2 /ТНМ.

10 Поэтому существует необходимость повышения энергетической эффективности способов восстановления железной руды в BF и уменьшения количества выбрасываемого в атмосферу CO_2 .

Поэтому задачей настоящего изобретения является обеспечение технологического решения для восстановления железной руды в BF, которое 15 повысит его энергетическую эффективность и снизит выбросы диоксида углерода.

Сущность изобретения

Поэтому аспект настоящего изобретения относится к экологически 20 благоприятному способу восстановления железных руд в BF для производства железа и/или соединений железа и углерода, включающему сжигание кокса и использование в BF синтез-газа, полученного из потока углеводородов способом каталитического частичного окисления с малой продолжительностью контакта. Согласно аспекту настоящего изобретения способ восстановления железной 25 руды в BF печи для производства железа и/или соединений железа и углерода осуществляют посредством сжигания кокса, полученного в коксовой печи, расположенной выше по потоку относительно доменной печи, и он отличается тем, что синтез-газ, полученный способом каталитического частичного окисления с малой продолжительностью контакта (SCT-CPO), объединенный со способом 30 восстановления железной руды, также подают в доменную печь, причем в способе SCT-CPO используют поток газообразных углеводородов, окислитель, выбранный из одного или более из кислорода, воздуха, обогащенного кислородом, и воздуха, и опционально – водород и/или пар.

Согласно другому аспекту настоящего изобретения поток углеводородов 35 содержит BFG и COG, рециркулированные из доменной печи и коксовой печи, соответственно.

При использовании в контексте настоящего изобретения термин «углеводородные газы» означает природный газ, газы из химических процессов, газы, образующиеся при рафинировании нефти, и газы, образующиеся при ферментации биомассы, также известные как «биогаз».

5 Использование синтез-газа в способе восстановления железной руды в доменной печи обеспечивает уменьшение количества кокса, используемого в доменной печи. Кроме того, использование коксового газа и доменного газа для получения синтез-газа обеспечивает дополнительное снижение выбросов загрязняющих веществ, связанных с производством и использованием кокса, а
10 также повышение общей энергетической эффективности способа восстановления железной руды и снижение выбросов CO₂.

Краткое описание графических материалов

Ниже изобретение описано также со ссылкой на прилагаемые графические
15 материалы, где

- на фиг. 1 представлена схема способа согласно первому варианту осуществления настоящего изобретения;

- на фиг. 2 представлена схема способа согласно второму варианту осуществления настоящего изобретения; и

20 - на фиг. 3 представлена схема способа согласно третьему варианту осуществления настоящего изобретения.

Сведения, подтверждающие возможность осуществления изобретения

Способы восстановления железной руды в доменных печах в характерном
25 случае дают чугуны, который затем преобразуют в сталь в кислородных конвертерах.

Как показано на Фиг. 1, в доменной печи 50 слои дробленой железной руды с частицами различного размера помещают в блок 20, где наименьшие из них агломерируют способами спекания 30 и гранулирования 40, совместно с
30 частицами кокса, который имеет более высокую теплотворную способность, чем уголь, и является механически более устойчивым в подвижных слоях доменной печи, так что он не крошится с образованием загрязняющей пыли. Кокс получают в коксовой печи 10, интегрированной в способ производства стали в доменной печи и расположенной выше по потоку относительно нее. При производстве кокса
35 также образуется коксовый газ, характерный состав которого представлен в Таблице 1.

Таблица 1

	г/норм. м ³	об. %
H ₂	51,33	56,44%
CH ₄	177,41	24,39%
N ₂	68,52	5,38%
CO	67,69	5,32%
H ₂ O	28,29	3,46%
C ₂ H ₂	25,58	2,16%
CO ₂	27,47	1,37%
C ₆ H ₆	40,824	1,15%
O ₂	2,75	0,19%
H ₂ S	0,37	0,02%
HCN	0,98	0,07%
C ₇ H ₈	0,6566	0,02%
SO ₂	0,3502	0,01%
C ₁₀ H ₈	0,0442	0,00%
Деготь	0,0002	0,00%
COS (серооксид углерода)	0,0008	0,00%
CS ₂	0,0003	0,00%
NH ₃	0,01	0,00%
Этилбензол	0,0305	0,00%
Орто-ксилол	0,0812	0,00%
Мета-ксилол	0,073	0,00%
Пара-ксилол	0,0539	0,00%
1-метилнафталин	0,0453	0,00%
2-метилнафталин	0,0394	0,00%
Флуорен	0,0018	0,00%
Фенантрен	0,0001	0,00%
Антрацен	0,0002	0,00%
Аценафтен	0,0331	0,00%

В нижней части доменной печи 50 воздух или обогащенный кислородом воздух, предварительно нагретый в блоке 70, продувают по линии 72. Этот поток окислителя реагирует с коксом, полученным в коксовой печи 10, интегрированной с доменной печью, с образованием газа с высоким содержанием монооксида

углерода при высокой температуре (примерно 1900°C), который восстанавливает железную руду. Железо, отделенное от других неметаллических веществ, в характерном случае – щелочных металлов и оксидов кремния, плавится и собирается и сливается в виде расплавленного железа из нижней части доменной печи.

Не все восстанавливающие вещества в газе, полученном при сжигании кокса, используются в процессах восстановления. Поэтому в верхней части печи собирается отработанный доменный газ (BFG) 80 при температуре, примерно равной 400°C, который имеет достаточную теплотворную способность для использования для предварительного нагрева воздуха или обогащенного кислородом воздуха, который подают в нижнюю часть доменной печи. Характерный состав доменного газа указан в Таблице 2 ниже.

Таблица 2

	Об. %
CH ₄	0,00%
CO	21,20%
CO ₂	19,80%
H ₂	3,70%
H ₂ O	8,00%
N ₂	47,30%

Согласно одному из аспектов настоящего изобретения, способ восстановления железной руды в доменной печи для получения железа и/или соединений железа и углерода посредством сжигания кокса осуществляют посредством замены части кокса, полученного в коксовой печи выше по потоку относительно доменной печи, синтез-газом, полученным способом каталитического частичного окисления с малой продолжительностью контакта, в котором используют поток углеводородного газа, окислитель, выбранный из одного или более из кислорода, обогащенного воздуха и воздуха, и опционально – водорода и/или пара.

Согласно другому аспекту настоящего изобретения, способ восстановления железных руд в BF для получения железа и/или соединений железа и углерода посредством сжигания кокса осуществляют посредством замены части кокса, полученного в коксовальной установке, расположенной выше по потоку относительно доменной печи, синтез-газом, полученным способом каталитического частичного окисления с малой продолжительностью контакта, в котором используют окислитель, выбранный из одного или более из

кислорода, обогащенного воздуха и воздуха, и поток газообразных углеводородов, содержащий BF газ и коксовый газ, рециркулированные из BF и коксовой печи, соответственно, за счет чего осуществляют частичную рециркуляцию атомов углерода, и опционально – из других углеводородных газов и пара.

В характерном случае синтез-газ получают с использованием различных способов, таких как паровой риформинг (SR; от англ.: Steam Reforming), некаталитическое частичное окисление (POx; от англ.: Non-catalytic Partial Oxidation) и автотермический риформинг (ATR; от англ.: Autothermal Reforming).

Относительно недавним вариантом способа парового риформинга является риформинг с газовым обогревом (GHR; от англ.: Gas Heated Reforming).

Синтез-газ используют во многих химических процессах, таких как синтез метанола и его производных, синтез аммиака и мочевины, синтез жидких углеводородов с использованием способа Фишера-Тропша и производство водорода.

Основные способы производства, в которых используют синтез-газ, требуют, чтобы он был получен с очень различными составами для повышения эффективности интеграции со способами, в которых его используют. В технологиях производства синтез-газа, указанных выше, фактически используют катализаторы, которые требуют значительных количеств пара в смеси реагентов, выраженных как отношение пара к углероду (S/C; от англ.: steam to carbon ratio) в углеводородном сырье, чтобы они не были деактивированы. Поэтому эти технологии дают «влажные» смеси синтез-газа, состав которых может оказывать негативное влияние на эффективность BF.

Однако снижение этой влажности может потребовать охлаждения синтез-газа для конденсации и удаления пара, и при этом может потребоваться последующее нагревание его до очень высоких температур, в характерном случае лежащих в диапазоне от 800°C до 1050°C, прежде чем его можно будет подать в BF. Это приводит к значительному усложнению конструкции установки и большому снижению энергетической эффективности. Кроме того, даже способ некаталитического частичного окисления (POx), который особенно хорошо подходит для случаев, когда в качестве углеводородного сырья используют тяжелые остатки после нефтепереработки, может обеспечить высокотемпературный синтез-газ, в характерном случае – с температурой выше 1300°C, с большим количеством примесей, таких как углеродистые остатки, полиароматические соединения и соединения серы, что может сделать его использование в BF сложным и неэффективным.

Также известно получение синтез-газа с использованием способа каталитического частичного окисления с малой продолжительностью контакта (SCT-CPO).

Этот способ описан в многочисленных документах, таких как следующие патентные документы: WO 2020/058859 (A), WO 2016/016257 (A1), WO 2016/016256 (A1), WO 2016/016253 (A1), WO 2016/016251 (A1), WO 2011/151082, WO 2009/065559, WO 2011/072877, WO 2009/127512, WO 2007/045457, WO 2006/034868, WO 2005/211604, WO 2005/023710, WO 97/37929.

Способ SCT-CPO также описан в следующих научных публикациях:

а) «Issues in H₂ and synthesis gas technologies for refinery, GTL and small and distributed industrial needs»; Basini, Luca, Catalysis Today, 106 (1-4), p.34, Oct 2005;

б) «Fuel rich catalytic combustion: Principles and technological developments in short contact time (SCT) catalytic processes»; Basini, L.; Catalysis Today, 117(4), 384-393; DOI: 10.1016/j.cattod.2006.06.043 Published: Oct. 15, 2006;

в) «Natural Gas Catalytic Partial Oxidation: A Way to Syngas and Bulk Chemicals Production / IntechOpen»; G. Iaquaniello, E. Antonetti, B. Cucchiella, E. Palo, A. Salladini, A. Guarinoni, A. Lainati and L. Basini; <http://dx.doi.org/10.5772/48708>;

г) «Short Contact Time Catalytic Partial Oxidation (SCT-CPO) for Synthesis Gas Processes and Olefins Production»; L.E. Basini, A. Guarinoni, Ind. Eng. Chem. Res. 2013, 52, 17023-17037; <https://doi.org/10.1021/ie402463m>.

Термин «каталитическое частичное окисление с малой продолжительностью контакта» (SCT-CPO) имеет четко определенное значение в научной литературе, которое очевидно из научных статей с а) по г), указанных выше.

В Таблице 3 приведены основные реакции, участвующие в способах производства синтез-газа.

Таблица 3

	$\Delta H^{\circ}_{298\text{ K}}$
Паровой CO₂ риформинг	
$\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} = \text{CO} + 3 \text{H}_2$	206
$\text{CO} + \text{H}_2\text{O} = \text{CO}_2 + \text{H}_2$	-41
$\text{CH}_4 + \text{CO}_2 = 2\text{CO} + 2 \text{H}_2$	247

Некаталитическое частичное окисление (POx)	
$\text{CH}_4 + 3/2 \text{O}_2 = \text{CO} + 2 \text{H}_2\text{O}$	-520
$\text{CO} + \text{H}_2\text{O} = \text{CO}_2 + \text{H}_2$	-41
Автотермический риформинг (ATR)	
$\text{CH}_4 + 3/2 \text{O}_2 = \text{CO} + 2 \text{H}_2\text{O}$	-520
$\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} = \text{CO} + 3 \text{H}_2$	206
$\text{CO} + \text{H}_2\text{O} = \text{CO}_2 + \text{H}_2$	-41
Каталитическое частичное окисление (CPO)	
$\text{CH}_4 + 1/2 \text{O}_2 = \text{CO} + \text{H}_2$	-38
$\text{CO} + \text{H}_2\text{O} = \text{CO}_2 + \text{H}_2$	-41

В настоящее время неожиданно было обнаружено, что использование синтез-газа, полученного способом SCT-CPO, является особенно выгодным, так как это обеспечивает решение проблемы повышения энергетической эффективности способов восстановления железной руды в BF, а также уменьшения количества CO_2 , выбрасываемого в атмосферу в этих способах. В частности, интеграция SCT-CPO синтез-газа с использованием кокса обеспечивает возможность:

- а) получения синтез-газа с составом и температурой, подходящими для подачи в BF, в характерном случае лежащей в диапазоне от 800°C до 1050°C ;
- б) получения синтез-газа, который можно подать прямо в BF, предпочтительно с содержанием влаги менее 7 об. %;
- в) получения синтез-газа с восстановительной емкостью, определяемой как отношение $(\text{H}_2 + \text{CO})/(\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2) = R$, предпочтительно превышающей объемное отношение, равное 7,5;
- г) восстановление железной руды со снижением выбросов CO_2 , что делает способ более энергетически эффективным;
- е) достижение этих целей за счет рециркуляции значительных количеств коксового и BF газов и, возможно, других отходящих газов из производственных процессов или из биомассы, например – биогаза.

Что касается пунктов б) и в) выше, то при производстве синтез-газа необходимо учитывать параметры содержания влаги и восстановительной емкости. В частности, он должен иметь низкое процентное содержание пара, который ингибирует процессы восстановления железных руд, и выраженное

преобладание продуктов частичного окисления (CO , H_2) над продуктами полного окисления (CO_2 , H_2O) углеводородов.

Соответственно, способ по настоящему изобретению представляет собой инновационное решение, подходящее не только для снижения производства и использования кокса за счет синтез-газа, но и для использования коксового и BF газов для получения синтез-газа с оптимальным составом для восстановления железной руды. Это двойное преимущество стало возможным за счет получения синтез-газа с использованием способа SCT-CPO.

Способ SCT-CPO обеспечивает возможность получения синтез-газа, подходящего для процессов восстановления, происходящих в BF, с использованием различных источников углеводородов, таких как: i) природный газ, ii) продувочный газ из процессов нефтепереработки и некоторых химических и нефтехимических процессов, iii) биогаз, полученный из биомассы.

В частности, возможно и выгодно интегрировать использование этих видов углеводородного сырья с соответствующими количествами COG и BFG, полученных в процессах восстановления железной руды.

На Фиг. 1 схематически показан интегрированный (объединенный) способ восстановления железной руды согласно первому варианту осуществления настоящего изобретения.

Интегрированный способ включает коксовую печь 10, блок 20 для подачи железной руды, блоки спекания 30 и гранулирования 40 кокса и железной руды, BF 50 и реактор 60 каталитического частичного окисления (CPO) для получения синтез-газа.

Реактор 60 SCT-CPO генерирует синтез-газ с использованием углеводородных газов различного состава, например, природного газа (NG), коксового газа, подаваемого по линии 12, BF газа, подаваемого по линии 52 и одного или более из потоков воздуха, воздуха, обогащенного кислородом, и кислорода.

Реактор SCT-CPO генерирует синтез-газ, который подают в BF 50 по одной или более трубопроводных линий 62, расположенных выше линии 72, подающей высокотемпературную смесь окислителей из блока 70.

Использование синтез-газа, полученного таким способом, дает возможность уменьшить производство и использование кокса и связанные с этим выбросы загрязняющих веществ, снизить выбросы загрязняющих веществ, содержащие соединения азота, серы и углерода, и снизить выбросы CO_2 .

Поскольку BF обычно работает при давлениях, лежащих в диапазоне от 2 кг/см^2 до 10 кг/см^2 , производство синтез-газа с использованием способа SCT-CPO

происходит при давлениях, превышающих давление в BF, так что синтез-газ можно направить, не подвергая его процессам охлаждения и очистки, и поэтому при высокой температуре, прямо в BF по линии 62.

В способе SCT-CPO используют технологические условия, отличающиеся низкими отношениями пара к углероду (S/C) в исходном сырье, причем только каталитический способ SCT-CPO позволяет его использование без стимуляции образования побочных продуктов, состоящих из ненасыщенных углеводородов, которые могут быть преобразованы за счет радикальных реакций, приводящих к повышению содержания ароматических и полиароматических соединений и, возможно, углеродистых остатков.

В связи с этим следует подчеркнуть, что присутствие CO_2 в смеси реагентов, в частности, в BFG и в меньшей степени в COG, так же как и присутствие пара обладает высокой способностью к ингибированию развития радикальных реакций в газовой фазе и в значительной степени компенсирует снижение содержания и, в пограничных случаях, отсутствие пара в смеси реагентов (см. Chemical Engineering Journal 165 (2010) 633-638).

Возможность подачи синтез-газа, полученного при очень высокой температуре в реакторе 60 SCT-CPO, непосредственно в BF 50 (Фиг. 10) обеспечивает возможность работы при очень низком объемном отношении S/C для поддержания высокой восстановительной емкости синтез-газа. Такое состояние в традиционных системах, таких как SR и ATR, приводит к образованию угля и прекурсоров углеродистых остатков, в отличие от того, что происходит в реакторе SCT-CPO.

Рабочие параметры, при которых эксплуатируют реактор SCT-CPO, являются следующими:

- значения давления, превышающие давление в BF; предпочтительно — от 2 бар_г до 15 бар_г, более предпочтительно — от 2,5 бар_г до 10 бар_г, еще более предпочтительно — от 3 бар_г до 8 бар_г;
- температуры смесей реагентов, лежащие в диапазоне от 100°C до 600°C, и предпочтительно — от 250°C до 450°C;
- объемное отношение O_2/C (моли окислителя O_2 /моли углерода C) в смеси реагентов, лежащее в диапазоне от 0,3 до 0,7, и предпочтительно — от 0,50 до 0,65;
- объемное отношение S/C, лежащее в диапазоне от 0 до 1,5, и предпочтительно — от 0 до 0,5.

Характеристики состава смеси реагентов и рабочие параметры объединяют для получения синтез-газа с высоким восстановительным

потенциалом по отношению к реакциям восстановления железной руды, и, в частности, они обеспечивают получение синтез-газа с фракцией пара, предпочтительно составляющей менее 10 об. %, более предпочтительно — менее 7 об. %, и с объемным отношением $R = (H_2 + CO)/(H_2O + CO_2)$,
5 предпочтительно превышающим 5, более предпочтительно — превышающим 7.

Кроме того, реакторы SCT-CPO, используемые в данном варианте осуществления, обеспечивают низкое падение давления, лежащее в диапазоне от 5 кг/см² до 0,5 кг/см².

Объемные процентные содержания BFG в смеси углеводородных
10 реагентов, используемой для получения синтез-газа, лежат в диапазоне от 0% до 60%, предпочтительно — от 15% до 50%.

Объемные процентные содержания COG в смеси углеводородных реагентов лежат в диапазоне от 0% до 60%, предпочтительно — от 15% до 50%.

Сумма объемных процентных содержаний BFG и COG в смеси
15 углеводородных реагентов лежит в диапазоне от 0% до 80%, и предпочтительно — от 15% до 60%.

Содержание влаги в полученном синтез-газе составляет менее 10 об. %, предпочтительно — менее 7 об. %, причем одновременно объемное отношение $R = (H_2 + CO)/(H_2O + CO_2)$ превышает 5, и предпочтительно превышает 7, более
20 предпочтительно — превышает 7,5.

Также обнаружено и составляет аспект настоящего изобретения, что присутствие водорода в смеси реагентов, подаваемой в реактор SCT-CPO, в частности, в COG, но и в BFG, повышает работоспособность реакторов SCT-CPO, так как при одном и том же объемном отношении O₂/C присутствие
25 водорода снижает парциальное давление окислителя, ингибирует реакции радикального окисления углеводородов в гомогенной газовой фазе, которые генерируют ненасыщенные соединения, и оказывает дополнительный гидрогенизирующий эффект на ненасыщенные соединения, присутствующие в смеси реагентов, в частности, на присутствующие в COG и в меньшей степени присутствующие в BFG. Кроме того, показано, как экспериментально, так и с
30 помощью теоретических анализов, что присутствие H₂ совместно с другими углеводородами, CO₂ и другими инертными молекулами (например – N₂) оказывает ограниченное влияние на пределы воспламеняемости реакционных смесей, которые легко можно использовать в реакторах SCT-CPO.

35 На самом деле, присутствие водорода в смеси реагентов, в частности, содержащегося в COG и BFG, сильно ингибирует все радикальные реакции, которые приводят к образованию углеродистых остатков, как в зонах

теплозащиты и предварительного нагрева реагентов, которые отделяют зону смешивания реагентов от зоны каталитических реакций, так и в слое катализатора, где происходят гетерогенные каталитические процессы получения синтез-газа.

5 Кроме того, согласно аспекту изобретения, изображенному на Фиг. 2, в блоке 75 водород, содержащийся в коксовом газе, используют для проведения реакций гидрогенизации и гидродесульфуризации потока коксового газа перед подачей в реактор SCT-CPO.

10 Специалисты в данной области техники знакомы с обеими конструкциями реакторов для способа получения синтез-газа посредством SCT-CPO и с каталитическими системами, которые можно использовать, описанными в многочисленных публикациях. В частности, кроме уже указанных документов, отметим публикации US 5,856,585, WO 97/37929, WO 03/099712 A1, Journal of Catalysis, 138 (1) (1992) pp. 267-282, Fuel Processing Technology, 42(2-3) (1995) pp. 15 109-127, Science 271(5255) (1996) pp. 1560-1562.

Согласно следующему варианту осуществления настоящего изобретения, схематически проиллюстрированному на Фиг. 3, способ по настоящему изобретению обеспечивает интеграцию или замену способов, используемых для получения кислорода посредством криогенной дистилляции (установка для 20 разделения воздуха – ASU; от англ.: Air Separation Unit) и вакуумной короткоцикловой адсорбции (VPSA; от англ.: Vacuum Pressure Swing Adsorption), электролитическим способом, в котором используют кислород и водород, полученные посредством электролиза воды. Кислород подают в реактор SCT-CPO, а водород добавляют к синтез-газу, полученному в реакторе SCT-CPO, 25 перед подачей в BF.

На Фиг. 3 показан электролизер 90, который может быть электролизером с полимерной электролитической мембраной (PEM; от англ.: polymer electrolyte membrane) или водно-щелочным (AE; от англ.: alkaline water) электролизером. В эти типы электролизеров воду подают в жидкой форме. Если используют 30 твердооксидный электролизер (SOEC; от англ.: Solid Oxide Electrolyzer Cell), то воду подают в паровую фазу и можно также добавить CO₂ к пару и дополнительно получить монооксид углерода, кроме водорода и кислорода. В этом случае кислород подают в реактор SCT-CPO, а водород и монооксид углерода добавляют к полученному синтез-газу перед подачей его в BF.

35 Использование электролизеров в способе восстановления железной руды является особенно выгодным, если доступен избыток электрической энергии из различных первичных источников энергии, в том числе возобновляемых.

Приведенные ниже примеры иллюстрируют некоторые варианты осуществления настоящего изобретения и представлены в качестве неограничивающих примеров.

5 Описание примеров осуществления изобретения

Пример 1

В этом примере описан интегрированный способ производства синтез-газа с использованием способа SCT-CPO с подачей природного газа, кислорода и пара (при объемном отношении пар/углерод S/C = 0,2), и его применение при
10 восстановлении железной руды в BF.

В Таблице 4 показаны композиции на входе и выходе реактора SCT-CPO, работающего при часовой объемной скорости газа (GHSV; от англ.: Gas Hourly Space Velocity), равной 80000 ч⁻¹ (норм. л/час реагентов/л катализатора), с
15 использованием катализатора, состоящего из сферических гранул α-Al₂O₃, на которые осаждены частицы Rh (0,5 масс. %) в верхней части слоя катализатора и частицы Rh-Ni (0,5 масс. % и 2,5 масс. %, соответственно) в конечной части слоя катализатора, где кислород израсходован в реакциях окисления углеводородов. Реактор SCT-CPO производит из природного газа (NG), O₂ и пара синтез-газ, пригодный для использования в BF. Этот синтез-газ производят при давлении,
20 равном 2,5 бар_g, и температуре, равной 950°C. Он имеет значение объемного отношения R ≥ 7,5 и содержание влаги, примерно равное 8 об. %.

Рабочие параметры и составы реагентов и полученного синтез-газа приведены в Таблице 4 ниже.

Таблица 4

Рабочие параметры реактора SCT-CPO	Единицы измерения	На входе в реактор	На выходе из реактора
Температура	С	375	950
Давление	бар _g	4	2,5
Молярная масса среды	кг/кмоль	23,34	12,34
Объемная скорость потока	норм. м ³ /ч	23195	55952
Скорость потока в молях	кмоль/ч	1035	2496

CH ₄	об. %	45,46%	0,28%
CO	об. %	0,00%	30,28%
CO ₂	об. %	1,10%	2,51%
H ₂	об. %	0,00%	58,88%
H ₂ O	об. %	12,28%	7,04%
N ₂	об. %	1,78%	0,94%
C ₂ H ₆	об. %	4,54%	0,00%
C ₃ H ₈	об. %	1,23%	0,00%
C ₄ H ₁₀	об. %	0,53%	0,00%
C ₅ H ₁₂	об. %	0,15%	0,00%
C ₆ H ₁₄	об. %	0,05%	0,00%
O ₂	об. %	32,76%	0,00%
Ароматические соединения	об. %	0,00%	0,00%

5 Подача в BF 200 норм. м³ синтез-газа, полученного в реакторе SCT-CPO, на тонну полученного чугуна дает возможность снизить использование кокса и угольной пыли на 43-49 кг на тонну полученного металла. Диапазон зависит от

10 состава твердого топлива и решений, использованных для точек входа синтез-газа в BF. Эта экономия в установке с производством 2,35 миллионов тонн металла в год соответствует сокращению производства и использования кокса и угольной пыли на 101000-116200 тонн в год и связанных с этим выбросов

15 загрязняющих веществ NO_x, SO_x, ароматических и полиароматических соединений и частиц. Что касается выбросов CO₂, то снижение количества используемого кокса и угольной пыли позволяет избежать от 327500 до 376500 тонн выбросов CO₂ в год, что частично компенсируется выбросами CO₂, связанными с производством и использованием синтез-газа из природного газа

(305100 тонн CO₂), и не увеличивает выбросы NO_x, SO_x, ароматических и полиароматических соединений и частиц. Поэтому в целом снижение выбросов CO₂ лежит в диапазоне от 22300 до 71400 тонн в год.

Пример 2

20 В этом примере описан интегрированный способ производства синтез-газа с использованием способа SCT-CPO при подаче природного газа, кислорода и водорода, полученных посредством электролиза воды, и пара (при объемном

отношении пар/углерод $S/C = 0,2$), и его применение при восстановлении железной руды в BF.

В Таблице 5 показаны композиции на входе и выходе реактора SCT-CPO, работающего при часовой объемной скорости газа (GHSV), равной 80000 ч^{-1} (норм. л/час реагентов/л катализатора), с использованием катализатора, состоящего из сферических гранул $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, на которые осаждены частицы Rh (0,5 масс. %) в верхней части слоя катализатора и частицы Rh-Ni (0,5 масс. % и 2,5 масс. %, соответственно) в конечной части слоя катализатора, где кислород израсходован в реакциях окисления углеводородов. Реактор SCT-CPO производит из NG, O_2 и пара синтез-газ, пригодный для использования в BF. Этот синтез-газ производят при давлении, равном 2,5 бар_г, и температуре, равной 950°C . Он имеет значение объемного отношения $R \geq 7,5$ и содержание влаги, примерно равное 8 об. %. К этому синтез-газу добавляют удвоенное количество водорода по отношению к количеству кислорода, полученное способом электролиза воды.

Таблица 5

Рабочие параметры реактора SCT-CPO	Единицы измерения	На входе в реактор	На выходе из реактора
Температура	С	375	950
Давление	бар _г	4	2,5
Молярная масса среды	кг/кмоль	23,34	9,68
Объемная скорость потока	норм. м ³ /ч	23195	55952
Скорость потока в молях	кмоль/ч	1035	2496
CH ₄	об. %	45,46%	0,21%
CO	об. %	0,00%	22,49%
CO ₂	об. %	1,10%	1,86%
H ₂	об. %	0,00%	69,47%
H ₂ O	об. %	12,28%	5,23%
N ₂	об. %	1,78%	0,70%
C ₂ H ₆	об. %	4,54%	0,00%

C ₃ H ₈	об. %	1,23%	0,00%
C ₄ H ₁₀	об. %	0,53%	0,00%
C ₅ H ₁₂	об. %	0,15%	0,00%
C ₆ H ₁₄	об. %	0,05%	0,00%
O ₂	об. %	32,76%	0,00%
Ароматические соединения	об. %	0,00%	0,00%
HE	об. %	0,12%	0,04%
HCN	об. %	0,00%	0,00%
C ₂ H ₂	об. %	0,00%	0,00%

5 Поддача 200 норм. м³ этого синтез-газа, полученного в реакторе SCT-CPO, к которому добавлен водород, полученный в электролизере, на тонну полученного чугуна дает возможность снизить использование кокса и угольной

10 пыли на 45-52 кг на тонну полученного металла, в зависимости от состава твердого топлива и решений, использованных для точек входа синтез-газа в BF. Эта экономия в установке с производством 2,35 миллионов тонн металла в год соответствует снижению производства и использования кокса и угольной

15 пыли на 105800-121600 тонн в год и связанных с этим выбросов загрязняющих веществ NO_x, SO_x, ароматических и полиароматических соединений и частиц. Что касается выбросов CO₂, то снижение количества используемого кокса и угольной

20 пыли позволяет избежать выбросов, лежащих в диапазоне от 342600 до 393000 тонн CO₂ в год, что однако частично компенсируется выбросами CO₂, связанными с производством и использованием синтез-газа из природного газа (226600 тонн CO₂), и не увеличивает выбросы NO_x, SO_x, ароматических и полиароматических соединений и частиц. Поэтому в целом снижение выбросов CO₂ лежит в диапазоне от 116100 до 167400 тонн в год.

Пример 3

20 В этом примере описан интегрированный способ производства синтез-газа с использованием способа SCT-CPO с подачей биогаза и кислорода, и его применение при восстановлении железной руды в BF.

25 В Таблице 6 показаны композиции на входе и выходе реактора SCT-CPO, производящего синтез-газ, содержащий 45 об. % CO₂ и O₂, при отсутствии пара в смеси реагентов. Синтез-газ пригоден для использования в BF.

Реактор работает при часовой объемной скорости газа (GHSV), равной

80000 ч⁻¹ (норм. л/час реагентов/л катализатора), с использованием катализатора, состоящего из сферических гранул α-Al₂O₃, на которые осаждены частицы Rh (0,5 масс. %) в верхней части слоя катализатора и частицы Rh-Ni (0,5 масс. % и 2,5 масс. %, соответственно) в конечной части слоя катализатора, где

5 кислород израсходован в реакциях окисления углеводородов. Синтез-газ производят при давлении, равном 2,5 кг/см², и температуре, равной 950°C. Он имеет значение объемного отношения R = 2,5 и содержание влаги, равное 16,7 об. %.

Этот пример показывает, что можно использовать синтез-газ, полученный

10 исключительно из биогаза, и обеспечивать снижение использования кокса и угольной пыли и значительное снижение выбросов CO₂. В других вариантах осуществления настоящего изобретения биогаз явно может дополнять использование других газообразных источников углерода, таких как природный газ, коксовый газ и BFG (см. Примеры 5 и 6) и обеспечивать получение синтез-

15 газа с меньшим содержанием пара и большей восстановительной способностью R.

Фактически подача 200 норм. м³ такого синтез-газа на тонну чугуна дает возможность снизить использование кокса и угольной пыли на 27-31 кг на тонну

20 полученного металла, в зависимости от состава твердого топлива и решений, использованных для точек входа синтез-газа. Эта экономия в установке с производством 2,35 миллионов тонн металла в год соответствует снижению производства и использования кокса и угольной пыли на 63500-73000 тонн в год и связанных с этим выбросов загрязняющих веществ NO_x, SO_x, ароматических и полиароматических соединений и частиц. Что касается выбросов CO₂, то

25 снижение количества используемого кокса и угольной пыли позволяет избежать выбросов, лежащих в диапазоне от 205600 до 236400 тонн CO₂ в год.

Кроме того, использование биогаза не увеличивает выбросы NO_x, SO_x, ароматических и полиароматических соединений и частиц и выбросы CO₂.

Таблица 6

Рабочие параметры реактора SCT-CPO	Единицы измерения	На входе в реактор	На выходе из реактора
Температура	С	375	950
Давление	бар _g	4	2,5
Молярная масса	кг/кмоль	29,5	18,9

среды			
Объемная скорость потока	норм. м ³ /ч	35924	55952
Скорость потока в молях	кмоль/ч	1603	2496
CH ₄	об. %	40,79%	0,03%
CO	об. %	0,00%	35,91%
CO ₂	об. %	33,37%	11,71%
H ₂	об. %	0,00%	35,59%
H ₂ O	об. %	0,00%	16,76%
N ₂	об. %	0,00%	0,00%
C ₂ H ₆	об. %	0,00%	0,00%
C ₃ H ₈	об. %	0,00%	0,00%
C ₄ H ₁₀	об. %	0,00%	0,00%
C ₅ H ₁₂	об. %	0,00%	0,00%
C ₆ H ₁₄	об. %	0,00%	0,00%
O ₂	об. %	25,84%	0,00%
Ароматические соединения	об. %	0,00%	0,00%
HE	об. %	0,00%	0,00%

Пример 4

В этом примере описан интегрированный способ производства синтез-газа с использованием способа каталитического частичного окисления при подаче биогаса, содержащего 45 об. % CO₂, кислорода и водорода, полученных посредством электролиза воды, и его применение при восстановлении железной руды в BF.

В Таблице 7 показаны композиции на входе и выходе СРО реактора, питаемого биогазом, содержащим 45 об. % CO₂, и O₂ при отсутствии пара в смеси реагентов. Полученный синтез-газ пригоден для использования в BF.

Реактор работает при часовой объемной скорости газа (GHSV), равной 80000 ч⁻¹ (норм. л/час реагентов/л катализатора), с использованием катализатора, состоящего из сферических гранул α-Al₂O₃, на которые осаждены частицы Rh (0,5 масс. %) в верхней части слоя катализатора и частицы Rh-Ni (0,5 масс. % и 2,5 масс. %, соответственно) в конечной части слоя катализатора, где

кислород израсходован в реакциях окисления углеводородов. Синтез-газ производят при давлении, равном $2,5 \text{ кг/см}^2$, и температуре, равной 950°C .

К этому синтез-газу добавляют в два раза больше водорода, чем кислорода, причем и тот, и другой получают способом электролиза воды, интегрированным в сталелитейную установку.

Полученный синтез-газ имеет значение объемного отношения $R = 3,7$ и содержание влаги, равное $12,6 \text{ об. \%}$.

Этот пример показывает, что можно использовать синтез-газ, полученный исключительно из биогаза, и обеспечить снижение использования кокса и угольной пыли и большое снижение выбросов CO_2 . В других вариантах осуществления настоящего изобретения биогаз явно может дополнять использование других газообразных источников углерода, таких как природный газ, коксовый газ и BFG (см. Примеры 5 и 6) и обеспечивать получение синтез-газа с меньшим содержанием пара и большей восстановительной способностью R.

Таблица 7

Рабочие параметры реактора SCT-CPO	Единицы измерения	На входе в реактор	На выходе из реактора	На выходе из реактора + H_2
Температура	С	375	950	950
Давление	бар _g	4	2,5	2,5
Молярная масса среды	кг/кмоль	29,5	19	14,7
Объемная скорость потока	норм. м ³ /ч	27914	43340	55952
Скорость потока в молях	кмоль/ч	1245	1934	2496
CH_4	об. %	40,79%	0,03%	0,02%
CO	об. %	0,00%	35,91%	26,96%
CO_2	об. %	33,37%	11,71%	8,79%
H_2	об. %	0,00%	35,59%	51,65%
H_2O	об. %	0,00%	16,76%	12,58%
N_2	об. %	0,00%	0,00%	0,00%

C ₂ H ₆	об. %	0,00%	0,00%	0,00%
C ₃ H ₈	об. %	0,00%	0,00%	0,00%
C ₄ H ₁₀	об. %	0,00%	0,00%	0,00%
C ₅ H ₁₂	об. %	0,00%	0,00%	0,00%
C ₆ H ₁₄	об. %	0,00%	0,00%	0,00%
O ₂	об. %	25,84%	0,00%	0,00%
Ароматические соединения	об. %	0,00%	0,00%	0,00%
HE	об. %	0,00%	0,00%	0,00%
HCN	об. %	0,00%	0,00%	0,00%
C ₂ H ₂	об. %	0,00%	0,00%	0,00%
C ₆ H ₆	об. %	0,00%	0,00%	0,00%

Использование 200 норм. м³ синтез-газа с составом, описанным в Таблице 7, на тонну чугуна дает возможность снизить использование кокса и угольной пыли на 44-51 кг на тонну полученного металла, в зависимости от состава твердого топлива и решений, использованных для точек входа синтез-газа. Эта экономия в установке с производством 2,35 миллионов тонн металла в год соответствует снижению производства и использования кокса и угольной пыли на 103400-118600 тонн в год и связанных с этим выбросов загрязняющих веществ NO_x, SO_x, ароматических и полиароматических соединений и частиц. Что касается выбросов CO₂, то снижение количества используемого кокса и угольной пыли позволяет избежать выбросов от 335000 до 385300 тонн CO₂ в год. Кроме того, использование биогаза не увеличивает выбросы NO_x, SO_x, ароматических углеводородов и поликонденсированных ароматических углеводородов или выбросы CO₂.

15 Пример 5

В этом примере описан интегрированный способ производства синтез-газа с использованием способа SCT-CPO с подачей смеси углеводородов, состоящей из природного газа (29 об. %), BFG (34 об. %), COG (37 об. %), кислорода и пара (объемное отношение S/C = 0,1), и его применение при восстановлении железной руды в BF.

В Таблице 8 показаны композиции на входе и выходе реактора SCT-CPO, питаемого смесью, указанной выше, со сниженным количеством пара.

Полученный синтез-газ пригоден для использования в BF.

Реактор работает при часовой объемной скорости газа (GHSV), равной

95000 ч⁻¹ (норм. л/час реагентов/л катализатора), с использованием катализатора, состоящего из сферических гранул α -Al₂O₃, на которые осаждены частицы Rh (0,8 масс. %) в верхней части слоя катализатора и частицы Rh-Ni (0,5 масс. % и 3,5 масс. %, соответственно) в конечной части слоя катализатора, где кислород израсходован в реакциях окисления углеводородов.

Синтез-газ производят при давлении, равном 2,5 кг/см², и температуре, равной 950°C. Он имеет значение объемного отношения $R > 7,5$ и содержание влаги менее 7 об. %.

Подача 200 норм. м³ такого синтез-газа на тонну чугуна дает возможность снизить использование кокса и угольной пыли на 33-38 кг на тонну полученного металла, в зависимости от состава твердого топлива и решений, использованных для точек входа синтез-газа. Эта экономия в сталелитейной установке с производством 2,35 миллионов тонн металла в год обеспечивает возможность снижения количества кокса и угольной пыли, используемых в год, на 77600-89200 тонн и, соответственно, связанных с этим выбросов загрязняющих веществ NO_x, SO_x, ароматических углеводородов, поликонденсированных ароматических углеводородов и частиц.

Что касается выбросов CO₂, то снижение количества используемого кокса и угольной пыли позволяет избежать выбросов CO₂, лежащих в диапазоне от 251300 до 289000 тонн в год, что, однако, частично компенсируется выбросами CO₂, связанными с производством и использованием синтез-газа из природного газа (135600 тонн CO₂). Тем не менее, при этом не увеличиваются выбросы NO_x, SO_x, ароматических углеводородов, поликонденсированных ароматических углеводородов и частиц.

Поэтому в целом снижение выбросов CO₂ лежит в диапазоне от 115700 тонн/год до 153340 тонн/год.

Таблица 8

Рабочие параметры реактора SCT-CPO	Единицы измерения	На входе в реактор	На выходе из реактора
Температура	С	350	950
Давление	бар _g	3,5	2,5
Молярная масса среды	кг/кмоль	22,0	15,1
Объемная	норм. м ³ /ч	38416	55952

скорость потока			
Скорость потока в молях	кмоль/ч	1714	2496
CH ₄	об. %	25,64%	0,14%
CO	об. %	6,96%	28,77%
CO ₂	об. %	5,89%	2,99%
H ₂	об. %	17,51%	48,51%
H ₂ O	об. %	3,05%	7,30%
N ₂	об. %	17,84%	12,25%
C ₂ H ₆	об. %	1,85%	0,00%
C ₃ H ₈	об. %	0,50%	0,00%
C ₄ H ₁₀	об. %	0,21%	0,00%
C ₅ H ₁₂	об. %	0,16%	0,00%
C ₆ H ₁₄	об. %	0,02%	0,00%
O ₂	об. %	19,73%	0,00%
Ароматические соединения	об. %	0,00%	0,00%
HE	об. %	0,05%	0,06%
HCN	об. %	0,02%	0,00%
C ₂ H ₂	об. %	0,64%	0,00%
C ₆ H ₆	об. %	0,03%	0,00%

Пример 6

В этом примере описан интегрированный способ производства синтез-газа с использованием способа SCT-CPO с подачей смеси углеводородов, состоящей из природного газа (29 об. %), BFG (34 об. %), COG (37 об. %), кислорода и пара (объемное отношение S/C = 0,1), с добавлением к полученному синтез-газу объема водорода, полученного совместно с кислородом способом электролиза воды, и его применение при восстановлении железной руды в BF.

В Таблице 9 показаны композиции на входе и выходе реактора SCT-CPO, питаемого смесью, указанной выше, со сниженным количеством пара.

К полученному синтез-газу добавляют объем водорода, полученного совместно с кислородом способом электролиза воды.

Полученный синтез-газ пригоден для использования в BF.

Реактор работает при часовой объемной скорости газа (GHSV), равной

95000 ч⁻¹ (норм. л/час реагентов/л катализатора), с использованием катализатора, состоящего из сферических гранул α -Al₂O₃, на которые осаждены частицы Rh (0,8 масс. %) и частицы Ir (0,5 масс. %) в верхней части слоя катализатора и частицы Ir-Ni (0,5 масс. % и 3,5 масс. %, соответственно) в 5 конечной части слоя катализатора, где кислород израсходован в реакциях окисления углеводородов.

Синтез-газ производят при давлении, равном 2,5 кг/см², и температуре, равной 950°C, он имеет значение объемного отношения $R > 7,5$ и содержание влаги порядка 7 об. %.

10 Подача 200 норм. м³ такого синтез-газа на тонну чугуна дает возможность снизить использование кокса и угольной пыли на 39-45 кг на тонну полученного металла, в зависимости от состава твердого топлива и решений, использованных для точек входа синтез-газа. Эта экономия в сталелитейной установке с производством 2,35 миллионов тонн металла в год соответствует снижению 15 производства и использования кокса и угольной пыли на 91700-105400 тонн в год и связанных с этим выбросов загрязняющих веществ NO_x, SO_x, ароматических углеводородов, поликонденсированных ароматических углеводородов и частиц.

 Что касается выбросов CO₂, то меньший расход кокса и угольной пыли позволяет избежать выбросов CO₂, лежащих в диапазоне от 296900 до 341500 20 тонн в год, что частично компенсируется выбросами CO₂, связанными с производством и использованием синтез-газа из природного газа (135600 тонн CO₂). Тем не менее, при этом не увеличиваются выбросы NO_x, SO_x, ароматических углеводородов, поликонденсированных ароматических углеводородов и частиц.

25 Поэтому в целом снижение выбросов CO₂ лежит в диапазоне от 161400 тонн/год до 205900 тонн/год.

Таблица 9

Рабочие параметры реактора SCT-CPO	Единицы измерения	На входе в реактор	На выходе из реактора	На выходе из реактора + H ₂
Температура	С	350	950	950
Давление	бар _g	3,5	2.5	2,5
Молярная масса среды	кг/кмоль	22	15	12,3
Объемная	норм. м ³ /ч	38416	45578	55952

скорость потока				
Скорость потока в молях	кмоль/ч	1714	2033	2496
CH ₄	об. %	25,64%	0,14%	0,11%
CO	об. %	6,96%	28,77%	22,65%
CO ₂	об. %	5,89%	2,99%	2,36%
H ₂	об. %	17,51%	48,51%	59,46%
H ₂ O	об. %	3,05%	7,30%	5,75%
N ₂	об. %	17,84%	12,25%	9,64%
C ₂ H ₆	об. %	1,85%	0,00%	0,00%
C ₃ H ₈	об. %	0,50%	0,00%	0,00%
C ₄ H ₁₀	об. %	0,21%	0,00%	0,00%
C ₅ H ₁₂	об. %	0,16%	0,00%	0,00%
C ₆ H ₁₄	об. %	0,02%	0,00%	0,00%
O ₂	об. %	19,73%	0,00%	0,00%
Ароматические соединения	об. %	0,00%	0,00%	0,00%
HE	об. %	0,05%	0,06%	0,06%
HCN	об. %	0,02%	0,00%	0,00%
C ₂ H ₂	об. %	0,64%	0,00%	0,00%
C ₆ H ₆	об. %	0,03%	0,00%	0,00%

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ восстановления железных руд в доменной печи (BF) для получения железа и/или соединений железа и углерода, включающий сжигание
5 кокса, отличающийся тем, что синтез-газ, полученный из потока углеводородов с использованием способа каталитического частичного окисления с малой продолжительностью контакта (SCT-CPO), объединенного с указанным способом восстановления железных руд, также подают в указанную доменную печь (BF).

10 2. Способ восстановления железных руд по п. 1, в котором кокс получают в коксовой печи, расположенной выше по потоку относительно BF, отличающийся тем, что в способе SCT-CPO генерируют синтез-газ с использованием потока газообразных углеводородов, окислителя, выбранного из кислорода, обогащенного воздуха и воздуха, и опционально – пара.

15 3. Способ восстановления железных руд по п. 2, отличающийся тем, что поток углеводородов содержит один или более газов, выбранных из природного газа, газов, происходящих из химических процессов, газов, образующихся при рафинировании нефти, и газов, образующихся при ферментации биомассы.

20 4. Способ восстановления железных руд по любому из предыдущих пунктов, отличающийся тем, что поток углеводородов содержит доменный газ (BFG) и коксовый газ (COG), рециркулированные из BF и из коксовой печи, соответственно, за счет чего обеспечивается частичная рециркуляция атомов
25 углерода.

30 5. Способ восстановления железных руд по любому из предыдущих пунктов, отличающийся тем, что COG подвергают десульфуризационной обработке перед использованием в способе каталитического частичного окисления с малой продолжительностью контакта.

35 6. Способ восстановления железных руд по любому из предыдущих пунктов, отличающийся тем, что окислитель, подаваемый для способа SCT-CPO, содержит кислород, полученный способом электролиза воды, в форме жидкости или пара.

7. Способ восстановления железных руд по любому из предыдущих пунктов, отличающийся тем, что водород, полученный способом электролиза воды, в форме жидкости или пара добавляют к синтез-газу, полученному способом каталитического частичного окисления с малой продолжительностью
5 контакта.

8. Способ восстановления железных руд по любому из предыдущих пунктов, отличающийся тем, что способ SCT-CPO осуществляют при следующих рабочих условиях:

10 а. давление, превышающее рабочее давление в BF, предпочтительно лежащее в диапазоне от 2 бар_г до 15 бар_г, более предпочтительно — от 2,5 бар_г до 10 бар_г, еще более предпочтительно — от 3 бар_г до 8 бар_г;

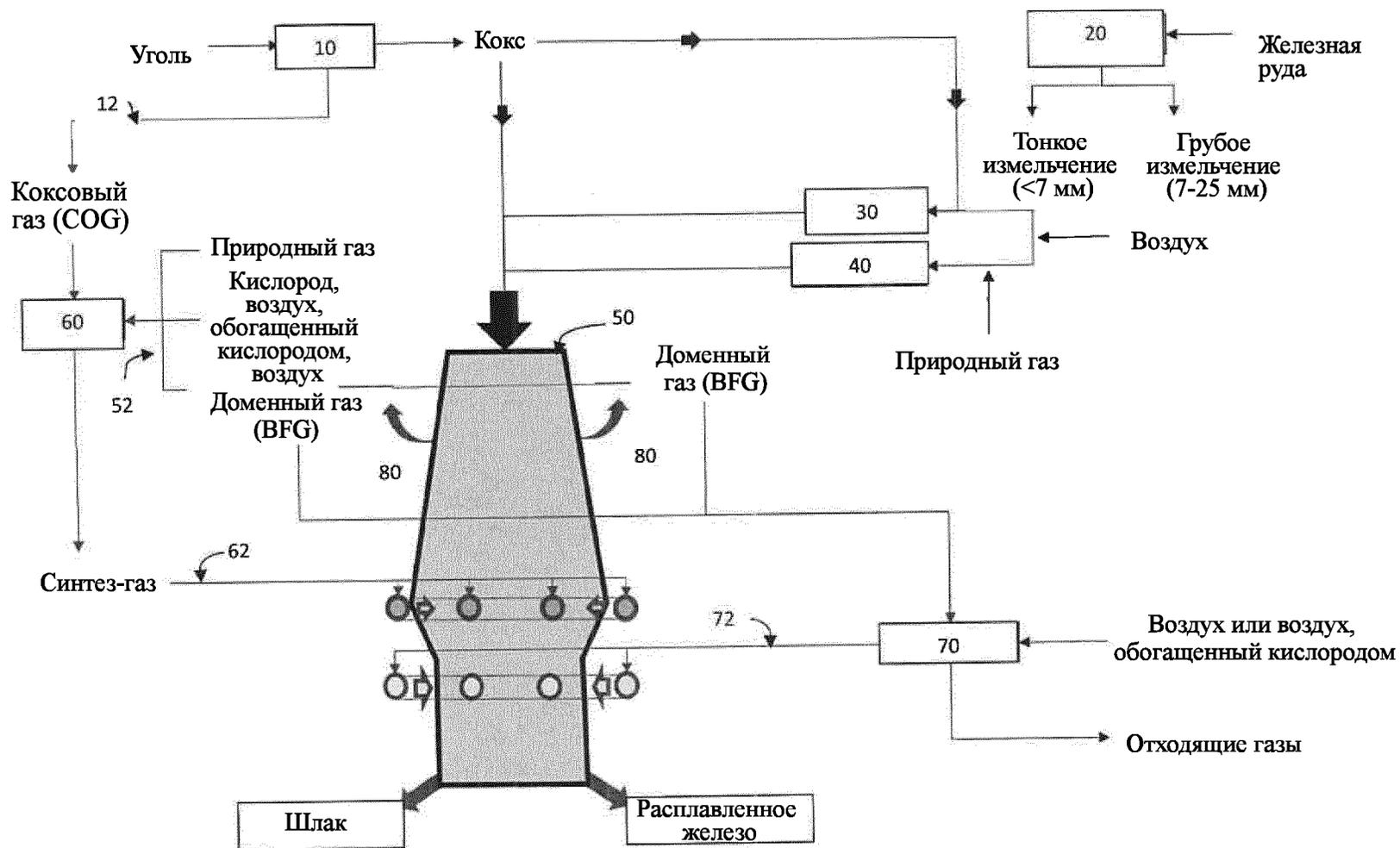
б. температура смеси реагентов, лежащая в диапазоне от 100°C до 600°C, предпочтительно — от 250°C до 450°C;

15 с. объемное отношение O₂/C, выраженное как отношение числа молей окислителя O₂ к числу молей углерода C в смеси реагентов, лежащее в диапазоне от 0,3 до 0,7, и предпочтительно – от 0,50 до 0,65;

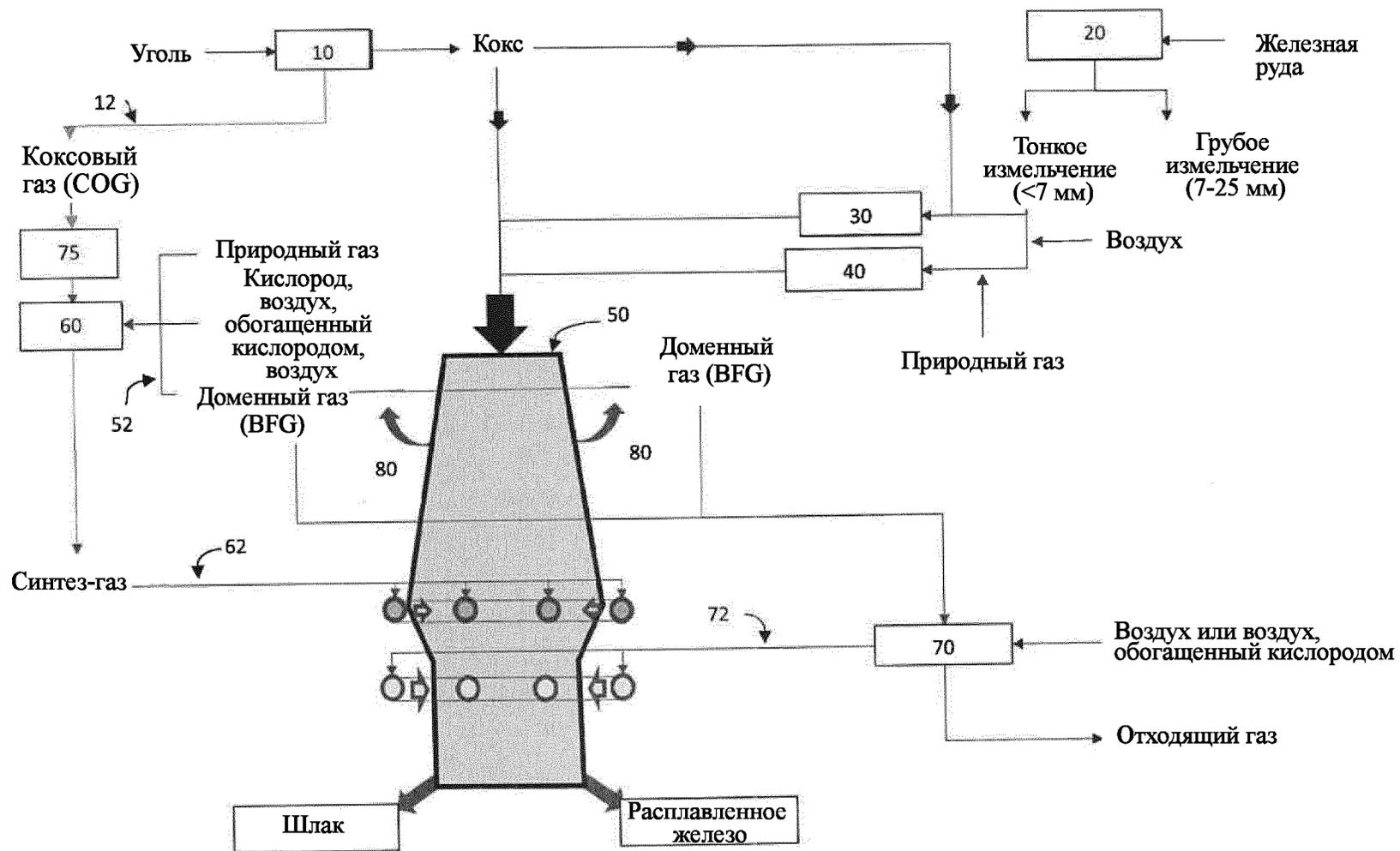
- объемное отношение S/C, выраженное как отношение числа молей пара к числу молей углерода C в смеси реагентов, лежащее в диапазоне от 0 до 1,5, и
20 предпочтительно - от 0 до 0,5.

9. Способ восстановления железных руд по любому из предыдущих пунктов, отличающийся тем, что способ каталитического частичного окисления с малой продолжительностью контакта осуществляют при содержании BFG в
25 потоке углеводородов, лежащем в диапазоне от 0 об. % до 60 об. %, предпочтительно – от 15 об. % до 50 об. %.

10. Способ восстановления железных руд по любому из предыдущих пунктов, отличающийся тем, что способ SCT-CPO осуществляют при содержании
30 COG в потоке углеводородов, лежащем в диапазоне от 0 об. % до 60 об. %, предпочтительно – от 15 об. % до 50 об. %.

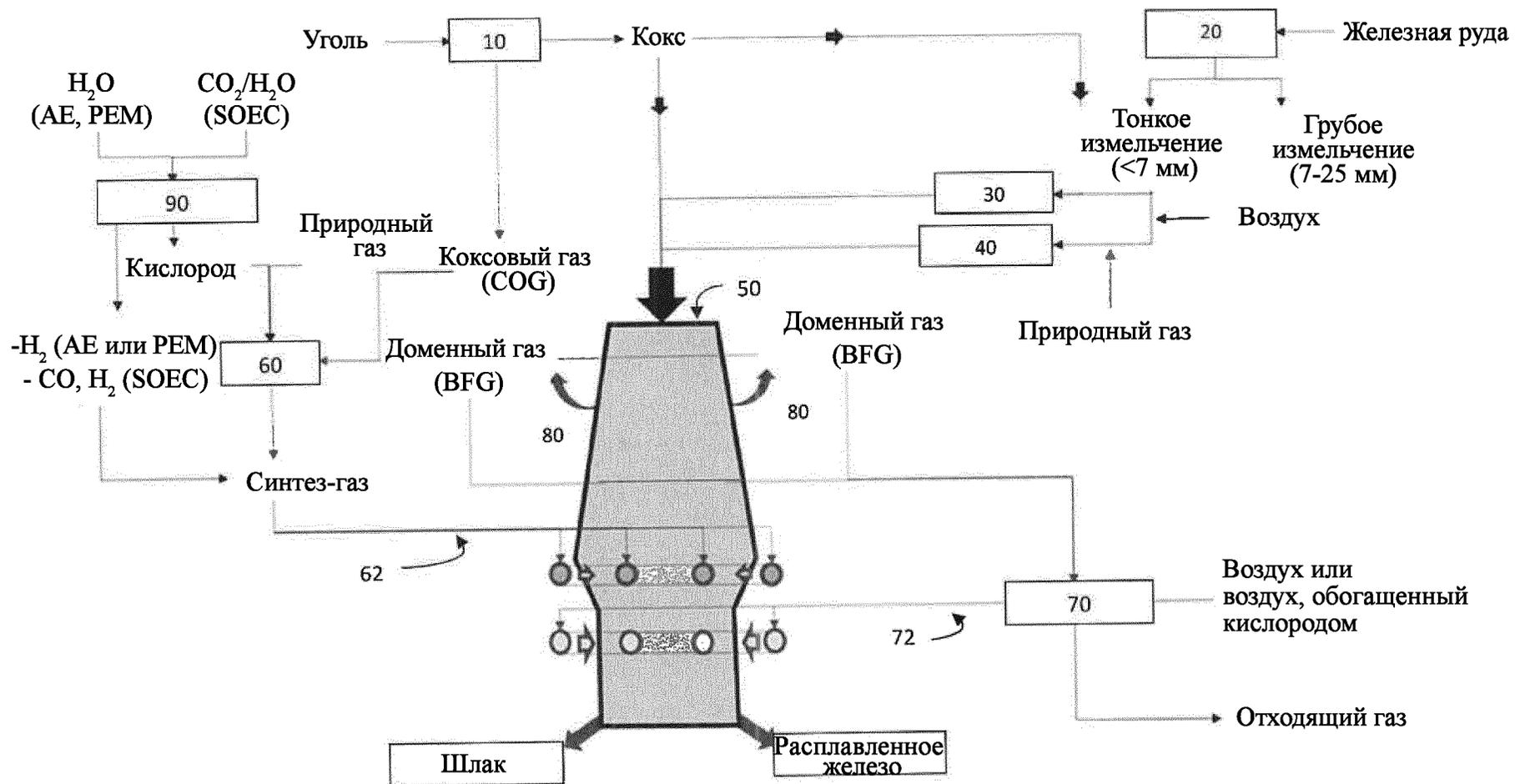


ФИГ. 1



2

ФИГ. 2



ФИГ. 3