

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **035822**(13) **B1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2020.08.17

(21) Номер заявки
201890759

(22) Дата подачи заявки
2016.10.05

(51) Int. Cl. **C04B 2/12** (2006.01)
F27B 1/02 (2006.01)
F27B 1/00 (2006.01)

(54) СПОСОБ ОБЖИГА МИНЕРАЛЬНОЙ ПОРОДЫ В ПРЯМОЙ ВЕРТИКАЛЬНОЙ РЕГЕНЕРАТИВНОЙ ПЕЧИ С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМИ ПОТОКАМИ И ПРИМЕНЯЕМАЯ ПЕЧЬ

(31) 2015/5631

(32) 2015.10.06

(33) BE

(43) 2018.08.31

(86) PCT/EP2016/073796

(87) WO 2017/060303 2017.04.13

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**С.А. ЛУАСТ РЕШЕРШ Э
ДЕВЕЛОПМЕН (BE)**

(56) US-A-4315735
FR-A5-2091767
US-A-6113387
DE-A1-19843820

(72) Изобретатель:
Хабиб Зиад (BE), Падо Гильем (FR)

(74) Представитель:
Люлька Г.М., Фелицына С.Б. (RU)

(57) Изобретение относится к способу обжига минеральной породы в прямой вертикальной регенеративной печи с параллельными потоками, в которой по меньшей мере две камеры (1, 2) соединены между собой при помощи газопропускного канала (3), при этом каждая камера работает поочередно в режиме обжига и в режиме предварительного нагрева, при этом режим обжига включает в себя сжигание топлива в присутствии воздуха таким образом, чтобы получить обжиг породы в виде обожженной породы, выделение газообразных продуктов сгорания и их переход из одной камеры в другую через указанный канал (3), при этом способ дополнительно включает в себя нагнетание дополнительного воздуха в указанный канал (3) с окислением недожога, содержащегося в газообразных продуктах сгорания, проходящих в этом канале.

B1**035822****035822****B1**

Изобретение относится к способу обжига минеральной породы в прямой вертикальной регенеративной печи с параллельными потоками (Parallel Flow Regenerative Kiln, PFRK), в которой по меньшей мере две камеры соединены между собой при помощи газопропускного канала.

Регенеративные печи с параллельными потоками обычно содержат две или три вертикальные камеры, соединенные между собой в своей центральной части соединительной шахтой. Эти камеры работают поочередно: одна работает в режиме обжига (прокаливания) в течение заранее определенного периода времени, например 10-12 мин, в то время как другая или другие работает(ют) в режиме предварительного нагрева минеральной породы. Затем камера, работавшая в режиме обжига, переходит в режим предварительного нагрева, тогда как камера или одна из камер, работавшая(их) в режиме предварительного нагрева, переходит в режим обжига. Рабочий цикл повторяется, таким образом, каждый раз, когда данная камера опять начинает работать в режиме обжига.

Способ, применяемый в этих известных печах, включает в себя загрузку минеральной породы сверху камер, выгрузку обожженной минеральной породы снизу камер,

при этом каждая камера работает поочередно в режиме обжига и в режиме предварительного нагрева, при этом одна камера находится в режиме обжига в течение заранее определенного периода времени, тогда как другая камера находится в режиме предварительного нагрева, и наоборот,

режим обжига включает в себя в присутствии указанной минеральной породы сжигание топлива в присутствии газа, содержащего кислород, таким образом, чтобы получить обжиг этой породы в виде обожженной породы, выделение газообразных продуктов сгорания и переход этих газообразных продуктов сгорания из камеры в режиме обжига в другую камеру в режиме предварительного нагрева через указанный газопропускной канал,

при этом режим предварительного нагрева включает в себя теплообмен между указанной минеральной породой и указанными газообразными продуктами сгорания, выходящими из указанного газопропускного канала.

В рамках настоящего изобретения под минеральной породой следует понимать, в частности, известковую породу, доломитовую породу и/или магнезит, которые после обжига образуют соответственно негашеную известь, негашеный доломит и магнезию.

Минеральные породы или камни загружают в вершине камер. В верхней части этих камер находятся также фурмы, обеспечивающие подачу топлива в печь. Зона предварительного нагрева камней находится между вершиной камеры и концами топливных фурм. Камни, которые поступают к концам фурм, в камере в режиме обжига, питаемой топливом и кислородсодержащим газом, достигают температур, обычно колеблющихся от 800 до 1300°C. При этом камера или камеры в режиме предварительного нагрева не получают питания топливом. Камни, находящиеся в камере или в камерах в режиме предварительного нагрева, рекуперировать энергию, получаемую от газов, выходящих из камеры в режиме обжига. Работу камер чередуют, например, каждые 10-15 мин, когда подача топлива прекращается в камеру в режиме обжига и когда она переходит в режим предварительного нагрева, и наоборот. Если печь содержит две камеры, цикл длится, как правило, от 20 до 24 мин.

Из соображений экономии предпочтительно в установке этого типа используют недорогое топливо. К сожалению, в этом недорогом топливе содержание азота и серы является высоким, что создает потенциальные экологические проблемы из-за выброса газов, таких как оксиды азота NO_x или оксиды серы SO_x . Другой проблемой при использовании топлива с высоким содержанием серы является то, что она обычно захватывается известью, чего следует избегать в некоторых вариантах применения, например в черной металлургии, где максимальное содержание серы в извести ограничивают значением 0,1 мас. %.

Способы, позволяющие снизить содержание серы в извести, описаны, в частности, в документах ВЕ 1018212 и US 4315735. В этих патентах предложено уменьшать количество воздуха, подаваемого в камеру в режиме обжига, чтобы производить неполное сжигание топлива. Это позволяет реально препятствовать захвату серы известью в камере в режиме обжига. Было отмечено, что это позволяет также уменьшить количество оксидов азота NO_x , образующихся в этой камере в режиме обжига. Первичный воздух, транспортирующий топливо, играет исключительно важную роль в горении и в образовании оксидов азота NO_x , поскольку его предварительно смешивают с топливом, и он быстро реагирует с азотом, содержащимся в топливе, как только это позволяет температура. Следовательно, уменьшение количества этого первичного воздуха способствует уменьшению образования оксидов азота NO_x . К сожалению, неполное сгорание топлива приводит также к увеличению количества недожога в газообразных продуктах сгорания на выходе печи, в основном монооксида углерода. В этих известных документах уменьшение количества воздуха, подаваемого в камеру в режиме обжига, производят, пока не будет отмечено пороговое значение содержания монооксида углерода CO , измеренное на выходе камеры в режиме обжига в соединительной шахте. Таким образом, эти способы основаны на отслеживании повышения содержания CO в газах, выделяемых на выходе печи, что свидетельствует о потере энергии в процессе и является большим недостатком в плане загрязнения атмосферы, причем эти газы могут быть даже несовместимыми с требованиями законодательства в области экологии.

Для улучшения характеристик печей, как известно, в соединительную шахту подают газообразное,

жидкое или твердое топливо (см. FR 2091767 и DE 19843820). Наконец, известно также нагнетание масла в соединительную шахту через фурму в качестве источника тепла во время запуска печи (см. US 6113387).

Настоящее изобретение призвано устранить эти недостатки и предложить способ, позволяющий преодолеть недостатки, связанные с содержанием серы и азота в применяемом недорогом топливе, не приводя при этом к недопустимому увеличению недожога в выходящих из печи газообразных продуктах сгорания и, следовательно, к соответствующим потере энергии и загрязнению окружающей среды.

Изобретением предложен вышеупомянутый способ, который дополнительно включает в себя нагнетание газа, содержащего дополнительный кислород, в указанный газопропускной канал с окислением недожога, содержащегося в газообразных продуктах сгорания, проходящих в этом газопропускном канале.

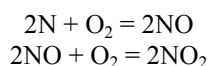
Под недожогом в рамках настоящего изобретения следует понимать любое вещество, которое не полностью прореагировало с кислородом газа, содержащего кислород, применяемый для сжигания топлива. Этот недожог может включать в себя мелкие частицы углерода, не сгоревшие во время горения, органические молекулы, а также и в первую очередь моноксид углерода. Присутствие монооксида углерода в газообразных продуктах сгорания свидетельствует о неполной реакции окисления топлива во время горения. Поскольку эта реакция окисления является экзотермической, это значит, что, если она оказывается неполной, происходит потеря части потенциальной энергии, содержащейся в топливе.

Преимуществом заявленного способа является то, что он позволяет окислять присутствующий недожог, в частности моноксид углерода, содержащийся в газообразных продуктах сгорания, и, следовательно, избегать вышеупомянутой потери энергии, причем, что примечательно, при его прохождении из одной камеры в другую. Таким образом, добавление газа, содержащего дополнительный кислород, происходит за пределами камер в пространстве, предусмотренном для перехода газа из одной камеры в другую. Следовательно, он не мешает работе внутри камер.

Под газом, содержащим кислород, в рамках настоящего изобретения следует понимать воздух, воздух, обогащенный кислородом, или кислород, например технический кислород. Газ, содержащий дополнительный кислород, может тоже представлять собой воздух, воздух, обогащенный кислородом, или кислород, например технический кислород, и может дополнительно содержать добавку, позволяющую улучшить окисление недожога, такую как катализаторы горения. Можно указать, например, обогащение газа дополнительным кислородом, где использование кислорода позволяет улучшить реакцию окисления несгоревших газов в газопропускном канале. Такой способ позволяет легче стабилизировать производимое количество СО и поддерживать его ниже максимальных допустимых значений. В дальнейшем тексте описания выражение "газ, содержащий кислород" для упрощения будет просто выражено термином "воздух".

Таким образом, заявленный способ обеспечивает работу без недостатков в условиях, которые, как известно, приводят к снижению содержания NO_x в газах, выделяемых печью.

Действительно, известно, что органический одноатомный азот топлива реагирует с кислородом, содержащимся в воздухе, поступающем в зону горения, в соответствии со следующими упрощенными реакциями:



При уменьшении подачи кислорода в камеру в режиме обжига во время сжигания топлива вышеупомянутые реакции становятся неполными.

В отличие от известных способов заявленный способ, позволяющий уменьшить количество NO_x в регенеративной печи с параллельными потоками, позволяет также избегать повышения содержания СО в газах на выходе печи. Таким образом, преимуществом этого способа является возможность использования недорогого топлива или сырья с высоким содержанием азота и серы, такого как нефтяной кокс или древесные отходы, при одновременном соблюдении законодательных экологических норм, касающихся содержания диоксида серы, оксидов азота, а также монооксида углерода в выделяемых газах. Разумеется, для обжига минеральной породы в рамках настоящего изобретения можно использовать все виды твердого, жидкого или газообразного топлива, применяемые в технике, такие как древесный уголь, дрова, бурый уголь, битуминозные сланцы, каменный уголь, антрацит, спирты, нефть и ее производные, природный газ, биогаз, сжиженный нефтяной газ, отходы (например, древесные отходы, виноградные выжимки и т.д.) и т.д.

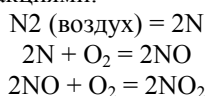
Кроме того, уменьшение общей подачи воздуха в камеру в режиме обжига позволяет уменьшить потери напора, связанные с прохождением газов через слой камней в этой камере, а это значит, что в эту камеру можно загрузить большее количество минеральной породы. Следовательно, способ в соответствии с настоящим изобретением позволяет повысить производительность печи. Это дает экономический и экологический выигрыш, учитывая, что можно применять недорогое топливо с высоким содержанием азота и серы, то есть моментальная производительность печи повышается и количество загрязняющих выбросов в атмосферу уменьшается.

В частности, согласно изобретению газ, содержащий кислород, подаваемый в камеру в режиме об-

жига, находится в виде газа, содержащего первичный кислород, который поступает одновременно с топливом, в частности через топливные фурмы, и в виде газа, содержащего вторичный кислород, поступающий сверху этой камеры через предназначенную для обжига породу. Первичный воздух служит, в частности, для транспортировки топлива и для его сжигания или для охлаждения фурм, нагнетающих топливо. При этом уменьшение подачи первичного воздуха приводит к неполному сгоранию топлива в обжиговой камере, что выражается в получении существенного количества недожога, в частности монооксида углерода. Чтобы оптимизировать уменьшение подачи воздуха в обжиговую камеру, можно также осуществлять уменьшение подачи вторичного воздуха.

Согласно частному варианту осуществления изобретения окисление недожога, происходящее во время вышеупомянутого нагнетания газов, содержащих дополнительный кислород, осуществляют при температуре окисления, достаточно высокой для обеспечения окисления монооксида углерода и достаточно низкой, чтобы избежать термического разложения молекул двухатомного азота N_2 в одноатомный азот N. Предпочтительно эта температура окисления составляет от 800 до 1300°C и предпочтительнее от 900 до 1250°C. Действительно, выделения оксида азота NO_x являются результатом двух разных реакций: описанной выше реакции органического одноатомного азота топлива с кислородом воздуха и термического разложения молекулярного азота воздуха в присутствии кислорода.

Термическое разложение молекулярного азота, содержащегося в воздухе, требует температуры, превышающей 1250°C. В этом случае оксиды азота NO_x образуются в результате связывания одноатомного азота, получаемого при термическом разложении, и кислорода, присутствующего в воздухе, в соответствии со следующими упрощенными реакциями:



Таким образом, температура в месте нагнетания газа, содержащего дополнительный кислород, является существенным фактором оптимизации способа, способствуя окислению монооксида углерода с образованием диоксида углерода и ограничивая образование NO_x в газопропускном канале, соединяющем камеры.

Предпочтительно согласно варианту осуществления заявленного способа дополнительное количество кислорода, нагнетаемое в указанный газопропускной канал при помощи газа, содержащего дополнительный кислород, составляет от 0.1 до 50-кратного стехиометрического количества кислорода, вычисляемого на основании количества CO, измеряемого на выходе печи (в дымоходе) в отсутствие этого газа, содержащего дополнительный кислород.

Под выражением "стехиометрическое количество" в рамках настоящего изобретения следует понимать теоретическое количество кислорода, необходимое для того, чтобы реакция окисления монооксида углерода была полной и происходила в стехиометрических условиях. Эти стехиометрические количества вычисляют относительно количества CO, измеряемого в газах на выходе печи (в дымоходе) в отсутствие газа, содержащего дополнительный кислород.

В частности, добавляемое количество кислорода обусловлено количествами CO и O_2 , присутствующими в дымовых газах печи, а также минимальной скоростью этого газа, содержащего дополнительный кислород, необходимой для нормального смешивания дополнительного кислорода в дымовых газах; например, эта скорость может быть, по меньшей мере, равна скорости дымовых газов (порядка 5-15 м/с).

Кроме того, согласно частному варианту осуществления газ, содержащий дополнительный кислород, может иметь в момент нагнетания температуру в пределах между значением окружающей температуры и 400°C. Кроме того, контроль этой температуры позволяет избежать охлаждения газопропускного канала, которое привело бы к снижению эффективности окисления монооксида углерода в диоксид углерода.

Согласно частному варианту осуществления изобретения газопропускной канал является соединительной шахтой, которая напрямую соединяет одну камеру с другой. Предпочтительно нагнетание газа, содержащего дополнительный кислород, в соединительную шахту происходит на равном расстоянии от соединяемых ею камер. Это равноудаленное положение камер является предпочтительным, учитывая, что режимы работы камер регулярно чередуются. При этом нагнетание дополнительного газа, когда его производят на одинаковом расстоянии от камер, не зависит от чередования режимов обжига и предварительного нагрева камер печи.

Кроме того, предпочтительно согласно заявленному способу топливо подают в камеру в режиме обжига через фурмы, выдающие параллельные пучки топливных струй, которые подвергаются сжиганию и образуют линии газообразных продуктов сгорания, которые проходят через соединительную шахту, при этом вышеупомянутое нагнетание газа, содержащего дополнительный кислород, осуществляют на уровне каждой из этих линий газообразных продуктов сгорания. Моделирование CFD (Computational Fluid Dynamics) или Цифровая Механика Текучих Сред (MFN) позволило получить картографию распределения температур и концентрации кислорода в камере, работающей в режиме обжига, и в соединительной шахте. Эти моделирования показали, что во время своего перемещения в соединительной шахте и перехода в камеру в режиме предварительного нагрева, прежде чем выйти из печи, газообразные продукты сгорания, такие как CO, следуют по траекториям, определяемым топливными фурмами. Эти тра-

ектории, которые называются также линиями потока газообразных продуктов сгорания, соответствуют также местам соединительной шахты, где температура является подходящей для оптимального окисления недожога.

Согласно другому частному варианту осуществления заявленного способа указанный газопропускной канал образован соединительной шахтой, которая соединяет периферические каналы, выполненные вокруг каждой камеры, чтобы обеспечивать доступ для газообразных продуктов сгорания из каждой камеры в соединительную шахту. В этом случае указанное нагнетание газа, содержащего дополнительный кислород, можно осуществлять в соединительной шахте, в периферических каналах или сразу в соединительной шахте и периферических каналах.

Предпочтительно заявленный способ применяют для прямой вертикальной регенеративной печи с параллельными потоками, содержащей две камеры. Печь может содержать три камеры и три газопропускных канала, каждый из которых соединяет две из вышеупомянутых камер, при этом одна камера находится в режиме обжига в течение заранее определенного периода времени, тогда как две другие камеры находятся в режиме предварительного нагрева.

Согласно предпочтительному варианту осуществления заявленного способа минеральную породу выбирают из группы, в которую входят известковая порода, доломитовая порода, магнезит и их смеси.

В этом случае способ в соответствии с настоящим изобретением является способом производства негашеной извести, и/или негашеного доломита, и/или магнезии в прямой вертикальной регенеративной печи с параллельными потоками.

В каждую из камер печи можно загружать минеральную породу одного вида. В альтернативном варианте в каждую из камер печи можно загружать минеральную породу разного вида.

Другие варианты осуществления заявленного способа указаны в прилагаемой формуле изобретения.

Объектом настоящего изобретения является также прямая вертикальная регенеративная печь с параллельными потоками для производства обожженной минеральной породы, содержащая по меньшей мере две камеры, соединенные между собой через газопропускной канал, при этом каждая из указанных камер содержит по меньшей мере одно устройство питания топливом, по меньшей мере один подвод газа, содержащего кислород для сжигания топлива, вход для загрузки минеральной породы, выход для выгрузки указанной произведенной обожженной минеральной породы, дымоход для удаления газообразных продуктов сгорания.

Кроме того, печь в соответствии с настоящим изобретением дополнительно содержит источник газа, содержащего дополнительный кислород, и нагнетательное устройство, соединенное с этим источником газа, содержащего дополнительный кислород, и выполненное с возможностью нагнетания этого газа, содержащего дополнительный кислород, в указанный газопропускной канал. Это устройство позволяет решить проблему, связанную с образованием недожога во время сжигания. Действительно, согласно настоящему изобретению недожог, такой как СО, образующийся в камере в режиме обжига и проходящий через газопропускной канал, окисляется дополнительным воздухом до того, как попадет в камеру в режиме предварительного нагрева и затем на выход печи. Это позволяет избежать любой потери энергии в результате неполного окисления образующего топлива углеродсодержащего вещества и соблюдать экологические требования, относящиеся к содержанию СО в выходящих в атмосферу газообразных продуктах сгорания. Кроме того, окисление недожога происходит в пространстве, находящемся за пределами камер, поэтому добавление газа, содержащего дополнительный кислород, не влияет на работу самих камер. Это имеет значение, в частности, когда обжиг камней или породы осуществляют в условиях, приводящих к неполному сгоранию топлива. Действительно, неполное сгорание позволяет, в частности, уменьшить содержание NO_x. При использовании заявленной печи количество NO_x уменьшается, тогда как содержание СО в выделяемых газах сохраняется ниже значений, предписанных законодательными нормами.

Согласно изобретению газопропускной канал может быть соединительной шахтой, которая напрямую соединяет одну камеру с другой. Он может быть также образован соединительной шахтой, которая соединяет периферические каналы, расположенные вокруг каждой камеры таким образом, чтобы обеспечивать доступ для газообразных продуктов сгорания из каждой камеры в соединительную шахту. В этом последнем случае вышеупомянутое нагнетательное устройство расположено таким образом, чтобы нагнетать газ, содержащий дополнительный кислород, в соединительную шахту, в периферические каналы или сразу в соединительную шахту и в периферические каналы.

Предпочтительно нагнетательное устройство содержит по меньшей мере одну прямую перфорированную нагнетательную трубку, заходящую в соединительную шахту и получающую питание от источника газа, содержащего дополнительный кислород. Предпочтительно эта нагнетательная трубка расположена поперечно относительно продольной оси соединительной шахты, но может быть также ориентирована под углом относительно поперечной оси. Это устройство позволяет легко нагнетать дополнительный воздух на выходе камеры в режиме обжига, причем почти по всей ширине соединительной шахты, чтобы окислять максимум недожога, в частности получаемого в результате неполного сгорания.

Предпочтительно согласно настоящему изобретению нагнетательная трубка содержит одно или несколько отверстий, ориентированных таким образом, чтобы нагнетать газ, содержащий дополнительный кислород, в сторону верхней части соединительной шахты. Картографии, полученные путем моделирования CFD, тоже показали, что газообразные продукты сгорания в основном находятся в верхней части соединительной шахты, где к тому же температура является наиболее высокой. Как было указано выше, температура имеет большое значение для реакции окисления недожога. Чтобы добиться оптимального окисления недожога, поступающего из камеры в режиме обжига, предпочтительно дополнительный воздух нагнетают в верхней части соединительной шахты.

Согласно частному варианту осуществления печь содержит нагнетательную трубку, заходящую в соединительную шахту через проем, равноудаленный от указанных камер. В этом случае нагнетание дополнительного газа происходит независимо от чередования режимов обжига и предварительного нагрева в камерах печи.

Согласно частному варианту осуществления изобретения соединительная шахта имеет потолок и продольную ось и нагнетательное устройство нагнетания газа, содержащего дополнительный кислород, содержит одно или несколько отверстий, выполненных в потолке соединительной шахты, через которые нагнетают газ, содержащий дополнительный кислород, из источника такого газа, при этом указанные отверстия расположены на одинаковом расстоянии от камер и перпендикулярно к этой продольной оси. Эти отверстия представляют собой альтернативу нагнетательной трубке, учитывая, что они позволяют нагнетать дополнительный газ непосредственно на линиях потока газообразных продуктов сгорания на уровне потолка соединительной шахты. Как показали моделирования CFD, именно в этих местах количество недожога является максимальным и температура является идеальной для его окисления.

В частном варианте осуществления указанные отверстия устройства нагнетания газа, содержащего дополнительный кислород, предпочтительно оснащены механическими системами рассеяния или приведения во вращение, что позволяет улучшить распределение дополнительного воздуха в соединительной шахте.

В предпочтительном варианте выполнения заявленной печи устройство питания топливом содержит один или несколько рядов из одной или нескольких одноструйных или многоструйных фурм, расположенных таким образом, чтобы производить пучки параллельных топливных струй в соответствующей камере, причем эти пучки являются параллельными между собой, при этом топливные струи вышеупомянутых различных пучков находятся в нескольких плоскостях, параллельных относительно продольной оси соединительной шахты.

Предпочтительно в заявленной печи отверстия нагнетательной трубки или отверстия в потолке соединительной шахты для нагнетания газа, содержащего дополнительный кислород, расположены в указанных плоскостях, образованных указанными пучками. Как было указано выше с учетом моделирования CFD, эти плоскости представляют собой линии потока газообразных продуктов сгорания.

Предпочтительно заявленная печь содержит две камеры и соединяющий их газопропускной канал. Печь может также содержать три камеры и три газопропускных канала, каждый из которых соединяет между собой две из вышеупомянутых камер, а также нагнетательное устройство для нагнетания газа, содержащего дополнительный кислород, в каждый из указанных газопропускных каналов.

Другие варианты выполнения заявленной печи указаны в прилагаемой формуле изобретения.

Другие детали и особенности изобретения будут более очевидны из нижеследующего описания, представленного в качестве неограничивающего примера, со ссылками на прилагаемые чертежи.

На фиг. 1a схематично показана прямая вертикальная регенеративная печь с параллельными потоками и с двумя камерами, соединенными соединительной шахтой;

на фиг. 1b схематично показана прямая вертикальная регенеративная печь с параллельными потоками и с двумя камерами с кольцевыми периферическими каналами, соединенными соединительной шахтой;

на фиг. 2 показана соединительная шахта в варианте выполнения заявленной печи, вид в поперечном разрезе по линии I-I фиг. 1a;

на фиг. 3 показан другой вариант выполнения соединительной шахты заявленной печи, вид в поперечном разрезе тоже по линии I-I фиг. 1a;

на фиг. 4 показан вариант выполнения печи, показанной на фиг. 3, вид в разрезе по линии IV-IV фиг. 1a;

на фиг. 5 показан вариант выполнения заявленной печи, вид в разрезе по линии V-V фиг. 1b;

на фиг. 6 показан вид, аналогичный виду, представленному на фиг. 5, заявленной печи, содержащей три камеры.

На фиг. 1a схематично показана прямая вертикальная регенеративная печь с параллельными потоками для производства обожженной минеральной породы. На этой схеме печь содержит две камеры 1 и 2 прямоугольного сечения, соединенные между собой соединительной шахтой 3, которая в этом примере соединяет обе камеры напрямую. Минеральную породу 20 загружают через верхнюю часть камер, например через вход 6, где она находится в зоне А предварительного нагрева. Каждая камера содержит устройство 4 питания топливом, содержащее топливные фурмы 9 и устройства 5 (a) и 5(b) подачи газа,

содержащего кислород, для обеспечения горения топлива. Затем минеральная порода, первоначально загруженная в зоне А предварительного нагрева, которая простирается от верхней части камеры до конца топливных фурм 9, проходит в зону В обжига, расположенную между концом топливных фурм 9 и нижним уровнем соединительной шахты 3. Обожженную минеральную породу 21 собирают в нижней части камеры в зоне С охлаждения и выгружают, например, через выход 7, а газообразные продукты сгорания удаляют через верхнюю часть камер 1 и 2, например через выпускной дымоход 8.

Камеры 1 и 2 прямой вертикальной регенеративной печи с параллельными потоками работают поочередно согласно двухэтапному циклу: на первом этапе первая камера служит для обжига, тогда как вторая камера служит для предварительного нагрева, а на втором этапе наоборот, вторая камера служит для обжига, тогда как первая камера служит для предварительного нагрева. Как правило, загрузку минеральной породы производят в середине цикла в момент переключения контуров текущих сред от одной камеры на другую, обеспечивающего изменение направления потоков газов в печи. На фиг. 1а камера 1 находится в режиме обжига, тогда как камера 2 находится в режиме предварительного нагрева. В камере 1, работающей в режиме обжига, топливо поступает через фурмы 9 устройства 4 питания, а воздух, необходимый для горения этого топлива, поступает через устройства 5(а) (первичный воздух) и через верхнюю часть 5(б) (вторичный воздух) камеры 1 через предварительно нагретую породу, находящуюся в зоне А предварительного нагрева. Это позволяет достичь в зоне В обжига достаточно высокой температуры для осуществления обжига породы. Полученную обожженную породу, охлажденную в зоне С охлаждения воздухом, поступающим через устройство 5(с) в нижней части первой камеры 1, собирают на выходе 7, предусмотренном в этой нижней части камеры. Выпускной дымоход 8 камеры в режиме обжига закрыт. Первичный воздух, подаваемый устройством 5(а), а также вторичный воздух, подаваемый устройством 5(б) в верхней части камеры 1, и охлаждающий воздух, подаваемый устройством 5(с), обеспечивают принудительную циркуляцию газов в направлении камеры 2 в режиме предварительного нагрева, где только часть охлаждающего воздуха нагнетается в 5(с). Таким образом, в режиме обжига газообразные продукты сжигания топлива в первой камере 1 проходят через соединительную шахту 3 и поступают во вторую камеру 2 печи, работающую в режиме предварительного нагрева, в которую не поступают ни топливо, ни газ, содержащий первичный или вторичный кислород. Минеральная порода, загруженная в зону А предварительного нагрева этой второй камеры, рекуперировывает тепловую энергию этих газообразных продуктов сгорания за счет теплообмена до их выхода через выпускной дымоход 8, который в камере, работающей в режиме предварительного нагрева, открыт. Таким образом, порода предварительно нагревается в преддверии момента, когда эта вторая камера будет работать в режиме обжига.

Согласно настоящему изобретению, как показано на фиг. 2 и 3, такая печь может содержать нагнетательное устройство 18 для нагнетания газа, содержащего дополнительный кислород, в соединительную шахту 3. Это устройство 18 позволяет окислять в соединительной шахте 3 недожог, основным состоящий из монооксида углерода и содержащийся в газообразных продуктах сгорания, поступающих из камеры 1 в режиме обжига, до их выхода из камеры 2. Соединительная шахта 3 находится в идеальном месте для установки этого устройства 18 нагнетания воздуха, так как ее центральное положение относительно камер 1 и 2 позволяет использовать это устройство нагнетания воздуха независимо от того, работает ли печь на первом или на втором этапе цикла, и, следовательно, независимо от того, находится ли камера 1 в режиме обжига, а камера 2 в режиме предварительного нагрева или наоборот. Окисление недожога в соединительной шахте позволяет поддерживать и даже повысить температуру газообразных продуктов сгорания до их использования для предварительного нагрева породы в камере 2. Недожог получают после сжигания, в частности когда подачу 5(а) и/или 5(б) газа, содержащего кислород для сжигания, уменьшают в камере в режиме обжига, чтобы вызвать неполное сгорание топлива. Такое уменьшение подачи воздуха в камеру 1 в режиме обжига осуществляют, уменьшая количество первичного воздуха 5(а), которое нагнетают через топливные фурмы 9 и которое служит, в частности, для сжигания этого топлива. В случае сжигания твердого топлива весь или часть этого первичного воздуха предварительно смешивается с топливом, и он служит для переноса этого топлива; по этой причине транспортировочный первичный воздух является основным источником образования оксидов азота NO_x при поступлении кислорода, смешанного с топливом и, следовательно, оказывающегося сразу же доступным. Другим способом осуществления неполного сжигания в камере 1 в режиме обжига является добавление вторичного воздуха 5(б), который нагнетают через верхнюю часть камеры 1 в режиме обжига через породу в зоне А предварительного нагрева. Разумеется, можно одновременно уменьшать количество первичного воздуха и вторичного воздуха.

В альтернативном варианте, если уменьшение количества первичного воздуха невозможно, в частности, поскольку он необходим для переноса твердого топлива, можно также уменьшить концентрацию кислорода этого первичного воздуха за счет его обогащения нейтральным газом (N_2 , CO_2 , ...) или путем его замены рециркулируемыми дымовыми газами с низким содержанием кислорода.

В отличие от печи, показанной на фиг. 1а, печь, показанная на фиг. 1б и 5, содержит камеры с круглым сечением. В данном случае соединительная шахта 3 соединяет два кольцевых периферических канала 22, каждый из которых окружает камеру. Они расположены таким образом, чтобы обеспечивать дос-

туп газообразным продуктам сгорания из каждой камеры в соединительную шахту, причем по всему контуру этих камер. Эти периферические каналы 22 находятся за пределами зоны прохождения обожженных блоков минеральной породы и образуют, таким образом, вместе с соединительной шахтой 3 газопропускной канал, который соединяет обе камеры.

На фиг. 2 представлен вид в поперечном разрезе относительно продольной оси L соединительной шахты 3 в первом варианте осуществления заявленной печи. Согласно этому варианту осуществления печь содержит прямую трубку 10, заходящую в соединительную шахту 3 через проем 13 и расположенную поперечно относительно продольной оси L этой соединительной шахты 3 либо горизонтально, как показано на фиг. 2, либо с некоторым углом наклона относительно горизонтали таким образом, чтобы отверстия 11 на конце трубки находились ближе к потолку 12 соединительной шахты, чем отверстия 11, расположенные вблизи проема 13. Отверстия 11 трубки 10 ориентированы таким образом, чтобы нагнетать газ, содержащий дополнительный кислород, преимущественно в сторону потолка 12 соединительной шахты 3. Действительно, именно на уровне этого потолка количество недожога является наибольшим, а температура является идеальной для его окисления. Предпочтительно трубка 10 вставлена на одинаковом расстоянии от обеих камер 1 и 2, чтобы устройство можно было использовать независимо от режимов обжига и предварительного нагрева камер. Она получает питание газом из схематично показанного источника 19 газа, содержащего дополнительный кислород.

На фиг. 3 представлен вид в поперечном разрезе относительно продольной оси L соединительной шахты 3 в другом варианте выполнения заявленной печи. Согласно этому варианту выполнения соединительная шахта 3 имеет отверстия 14 в своем потолке 12. Отверстия 14 в потолке 12 соединительной шахты предпочтительно находятся в плоскости, равноудаленной от камер (см. фиг. 4) и перпендикулярной к продольной оси L соединительной шахты 3. Газ, содержащий дополнительный кислород, может поступать через ряд трубок 15, подходящих к отверстиям 14 потолка 12 соединительной шахты 3. Эти трубки могут быть объединены главной трубой 16, проходящей от схематично показанного источника 20 нагнетаемого газа. Не показанный компрессор, расположенный на входе этой трубы 16, позволяет регулировать расход нагнетаемого воздуха, чтобы преодолевать также положительное давление внутри печи. Кроме того, отверстия 14, предусмотренные непосредственно в потолке 12 соединительной шахты 3, позволяют нагнетать дополнительный воздух напрямую в зоны, содержащие основную часть недожога и имеющие оптимальную температуру для его окисления.

Как показано на фиг. 4, камеры 1 и 2 печи находятся с двух сторон от соединительной шахты 3, в которой отверстия 14 расположены в плоскости, равноудаленной от камер 1 и 2 и перпендикулярной к продольной оси L соединительной шахты 3. В этом случае, в котором камеры являются прямоугольными, устройство 4 питания топливом содержит шесть рядов из трех топливных фурм 9, расположенных таким образом, чтобы создавать пучки топливных струй, находящиеся в шести плоскостях 17, параллельных между собой и параллельных относительно продольной оси L соединительной шахты 3. На фиг. 4 видно, что отверстия 14 в потолке 12 соединительной шахты 3 расположены в этих параллельных плоскостях 17. Эти плоскости соответствуют линиям потока газообразных продуктов сгорания, которые выходят из камеры 1 в режиме обжига и в которых концентрация недожога в этом газовом потоке является самой высокой.

Как видно из фиг. 5, где представлен вид в поперечном разрезе печи, показанной на фиг. 1b, нагнетание газа, содержащего дополнительный кислород, можно осуществлять не только через отверстия 14, образованные в соединительной шахте, но также через отверстия 23, образованные в периферических каналах 22.

На фиг. 6 представлен вид в разрезе печи в варианте осуществления изобретения, содержащей три камеры 1, 2 и 24, соединенные между собой тремя соединительными шахтами 3, 25 и 26. Камеры 2 и 24 находятся в режиме предварительного нагрева, в то время как камера 1 находится в режиме обжига, и т.д.

Сравнительный пример 1.

Промышленная регенеративная печь с параллельными потоками, содержащая две прямоугольные камеры, соединенные между собой соединительной шахтой, обеспечивающей прямое прохождение газов из одной камеры в другую, была использована в стандартных условиях для производства негашеной извести. В этой установке было использовано топливо, содержащее около 2 мас.% органического азота относительно общей массы топлива, такого как смесь древесных опилок и древесных отходов (50/50). В этих стандартных условиях в камере в режиме обжига расход первичного воздуха (служащего в данном случае для транспортировки топлива) составляет 2700 н.м³/ч, расход вторичного воздуха составляет 5526 н.м³/ч и расход топлива составляет 1790 кг/ч. Обожженную известковую породу охлаждают при помощи потока охлаждающего воздуха с расходом 4990 н.м³/ч. Эта установка обеспечивает обжиг 311 т породы в сутки, что соответствует 175 т обожженной продукции (негашеной извести) в сутки.

Сравнительный пример 2.

В регенеративной печи с параллельными потоками, представленной в сравнительном примере 1, было произведено неполное сжигание в камере в режиме обжига, благодаря уменьшению подачи в нее воздуха по сравнению с ее стандартной работой. Это уменьшение получили за счет уменьшения примерно на 12% объема потока нагнетаемого вторичного воздуха, то есть расход вторичного воздуха поменял-

ся с 5526 на 4842 н.м³/ч. Это позволило добиться уменьшения концентрации оксидов азота NO_x в дымах примерно на 12% по объему. Вместе с тем, температуру поддерживали на достаточном уровне для осуществления обжига породы, то есть при температуре, превышающей 900°C.

Однако результатом этого уменьшения подачи воздуха в камеру в режиме обжига является существенное увеличение образования недожога, такого как монооксид углерода СО, который может снизить энергетическую отдачу печи и создать проблемы экологического порядка после его выброса в атмосферу.

Пример в соответствии с изобретением.

Заявленное нагнетательное устройство для нагнетания дополнительного воздуха было установлено в печи, представленной в сравнительном примере 2, с целью окисления недожога, получаемого в результате неполного сгорания. Устройство нагнетания дополнительного воздуха является устройством, показанным на фиг. 3 и 4, где в потолке соединительной шахты выполнено шесть отверстий для нагнетания дополнительного воздуха, которые расположены в плоскостях шести рядов из четырех топливных фурм, при этом через указанные плоскости проходят линии газового потока, где концентрация недожога является самой высокой.

Устройство нагнетания дополнительного воздуха было рассчитано исходя из крайне критических условий с точки зрения СО. Действительно, в качестве базового условия было принято, что максимальное содержание СО, которое может быть достигнуто на выходе дымохода, составляет 1% по объему относительно дымового газа, содержащего 11% по объему кислорода (то есть 12500 мг СО/н.м³ дымового газа), что, как известно, соответствует около 2% по объему брутто СО на уровне соединительной шахты. Однако на практике содержание СО, как правило, является более низким. Следовательно, реально необходимое стехиометрическое количество дополнительного кислорода будет меньшим, что позволяет предположить, что расход дополнительного воздуха можно уменьшить. Вместе с тем, существующее устройство нагнетания дополнительного воздуха предполагает минимальный расход для обеспечения достаточной скорости, чтобы получить хорошее смешивание дополнительного кислорода в дымовых газах.

В настоящем примере расход нагнетаемого дополнительного воздуха соответствует количеству дополнительного кислорода, эквивалентному 12-кратному стехиометрическому количеству.

Кроме окисления недожога до выхода газообразных продуктов сгорания из печи, которое происходит при температуре от 800 до 1300°C, было отмечено, что продолжалось уменьшение количества NO_x. Неожданным техническим результатом настоящего изобретения стало повышение моментальной производительности печи примерно на 3%. Действительно, несмотря на нагнетание дополнительного воздуха в соединительную шахту, уменьшение добавления воздуха в камеру в режиме обжига приводит к уменьшению потери напора и, следовательно, статического давления в этой камере, что позволяет загружать большее количество известковой породы в зону предварительного нагрева и, следовательно, повысить производительность печи.

Значения содержания оксида азота NO_x и монооксида углерода СО были измерены на выходе дымохода (и выражены при 11% кислорода) для трех рассмотренных выше примеров.

1) Стандартные условия (сравнительный пример 1).

2) Уменьшение количества воздуха в камере в режиме обжига, но без добавления воздуха в шахте (сравнительный пример 2).

3) Уменьшение количества воздуха в камере в режиме обжига и добавление дополнительного воздуха (расход 500 н.м³/ч) в шахте (пример в соответствии с изобретением).

	1	2	3
Содержание NO _x (мг/ н.м ³)	400	350	350
Содержание СО (мг/ н.м ³)	100-200	500-800	100-200

Эта сравнительная таблица наглядно показывает, что уменьшение добавления воздуха в камеру в режиме обжига приводит к сокращению NO_x в выделяемых газах на выходе печи, но, к сожалению, его результатом является значительное повышение содержания СО (сравнительный пример 2).

Кроме того, когда в соединительную шахту нагнетают дополнительный воздух, содержание NO_x по-прежнему остается низким, тогда как опять наблюдаются значения содержания СО, идентичные значениям, полученным в отсутствие неполного сгорания (пример в соответствии с изобретением).

Таким образом, настоящее изобретение позволяет уменьшить выброс NO_x на 12,5% по сравнению со стандартными условиями и одновременно сохранить идентичные значения содержания СО.

Разумеется, настоящее изобретение ни в коем случае не ограничивается описанными выше вариантами осуществления, и в него можно вносить изменения, не выходя при этом за рамки объема прилагаемой формулы изобретения.

Например, можно отметить, что заявленную печь можно применять для обжига известковой породы в одной камере и доломитовой породы в другой камере. Можно отметить, что внутри одной камеры находится порода только одного вида. Это значит, что, если, например, камера в режиме обжига содержит известковую породу, то камера в режиме предварительного нагрева может содержать известковую породу или доломитовую породу, и наоборот. Таким образом, во время одного цикла можно производить негашеную известь и негашеный доломит одновременно, но в разных камерах.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ обжига минеральной породы в прямой вертикальной регенеративной печи с параллельными потоками, в которой по меньшей мере две камеры соединены между собой при помощи газопропускного канала, при этом способ включает в себя

загрузку минеральной породы сверху камер и

выгрузку обожженной минеральной породы снизу камер,

при этом каждая камера работает поочередно в режиме обжига и в режиме предварительного нагрева, при этом одна камера находится в режиме обжига в течение заранее определенного периода времени, тогда как другая камера находится в режиме предварительного нагрева, и наоборот,

режим обжига включает в себя в присутствии указанной минеральной породы сжигание топлива в присутствии газа, содержащего кислород, так, чтобы получить обжиг этой породы в виде обожженной минеральной породы, выделение газообразных продуктов сгорания и переход этих газообразных продуктов сгорания из камеры в режиме обжига в другую камеру в режиме предварительного нагрева через указанный газопропускной канал,

при этом режим предварительного нагрева включает в себя теплообмен между указанной минеральной породой и указанными газообразными продуктами сгорания, выходящими из указанного газопропускного канала,

при этом способ отличается тем, что дополнительно включает в себя нагнетание газа, содержащего дополнительный кислород, в указанный газопропускной канал с окислением недожога, содержащегося в газообразных продуктах сгорания, проходящих в этом газопропускном канале.

2. Способ по п.1, в котором газ, содержащий кислород, нагнетаемый в камеру в режиме обжига, находится в виде газа, содержащего первичный кислород, поступающий одновременно с топливом, и в виде газа, содержащего вторичный кислород, поступающий сверху этой камеры через предназначенную для обжига породу.

3. Способ по одному из пп.1 или 2, в котором указанное окисление недожога осуществляют при температуре окисления, достаточно высокой для обеспечения окисления монооксида углерода и достаточно низкой, чтобы избежать термического разложения молекул двухатомного азота в одноатомный азот.

4. Способ по п.3, в котором указанная температура окисления составляет от 800 до 1300°C.

5. Способ по любому из пп.1-4, в котором дополнительное количество кислорода, нагнетаемое в указанный газопропускной канал при помощи указанного газа, содержащего дополнительный кислород, составляет от 0.1 до 50-кратного стехиометрического количества кислорода, вычисляемого на основании количества CO, измеряемого на выходе печи в отсутствие этого газа, содержащего дополнительный кислород.

6. Способ по любому из пп.1-5, в котором газ, содержащий дополнительный кислород, имеет в момент нагнетания температуру в пределах между значением температуры окружающей среды и 400°C.

7. Способ по любому из пп.1-6, в котором газ, содержащий дополнительный кислород, является воздухом, воздухом, обогащенным кислородом, или кислородом.

8. Способ по любому из пп.1-7, в котором газ, содержащий дополнительный кислород, содержит по меньшей мере один катализатор горения.

9. Способ по любому из пп.1-8, в котором указанный газопропускной канал является соединительной шахтой, которая напрямую соединяет одну камеру с другой.

10. Способ по п.9, в котором газ, содержащий дополнительный кислород, нагнетают в соединительную шахту на равном расстоянии от соединяемых ею камер.

11. Способ по одному из пп.9 или 10, в котором топливо подают в камеру в режиме обжига через фурмы, выдающие параллельные пучки топливных струй, которые подвергаются сжиганию и образуют линии газообразных продуктов сгорания, проходящие через соединительную шахту, при этом нагнетание вышеуказанного газа, содержащего дополнительный кислород, осуществляют на уровне каждой из этих линий газообразных продуктов сгорания.

12. Способ по любому из пп.1-8, в котором указанный газопропускной канал образован соединительной шахтой, которая соединяет периферические каналы, выполненные вокруг каждой камеры, чтобы обеспечивать доступ для газообразных продуктов сгорания из каждой камеры в соединительную шахту.

13. Способ по п.12, в котором указанное нагнетание газа, содержащего дополнительный кислород, происходит в соединительной шахте, в периферических каналах или сразу в соединительной шахте и периферических каналах.

14. Способ по любому из пп.1-13, в котором печь содержит три камеры и три газопропускных канала, каждый из которых соединяет две из вышеупомянутых камер, при этом одна камера находится в режиме обжига в течение заранее определенного периода времени, тогда как две другие камеры находятся в режиме предварительного нагрева.

15. Прямая вертикальная регенеративная печь с параллельными потоками для производства обожженной минеральной породы для осуществления способа по одному из пп.1-14, содержащая

по меньшей мере две камеры (1, 2), соединенные между собой через газопропускной канал (3), при этом указанный газопропускной канал (3) образован соединительной шахтой, имеющей потолок (12) и продольную ось (L),

при этом каждая из указанных камер содержит

по меньшей мере одно устройство (4) питания топливом,

по меньшей мере один подвод (5(a), 5(b)) газа, содержащего кислород для сжигания топлива,

вход (6) для загрузки минеральной породы,

выход (7) для выгрузки указанной произведенной обожженной минеральной породы,

дымоход (8) для удаления газообразных продуктов сгорания,

отличающаяся тем, что дополнительно содержит источник газа, содержащего дополнительный кислород, и нагнетательное устройство (18), соединенное с этим источником газа, при этом нагнетательное устройство (18) выполнено с возможностью нагнетания газа, содержащего дополнительный кислород, в указанный газопропускной канал (3) и содержит одно или несколько отверстий (14), образованных в потолке (12) соединительной шахты, или по меньшей мере одну нагнетательную трубку (10) для подачи дополнительного кислорода.

16. Печь по п.15, в которой указанная соединительная шахта напрямую соединяет одну камеру с другой.

17. Печь по п.15, в которой указанная соединительная шахта соединяет периферические каналы, расположенные вокруг каждой камеры, таким образом, чтобы обеспечивать доступ для газообразных продуктов сгорания из каждой камеры в соединительную шахту.

18. Печь по одному из пп.15-17, в которой по меньшей мере одна нагнетательная трубка (10) является прямой и перфорированной, заходит в соединительную шахту (3) и получает питание от указанного источника (19) газа, содержащего дополнительный кислород.

19. Печь по п.18, в которой указанная по меньшей мере одна нагнетательная перфорированная трубка (10) расположена поперечно относительно продольной оси (L) соединительной шахты.

20. Печь по одному из пп.18 или 19, в которой указанная нагнетательная трубка (10) содержит одно или несколько отверстий (11), ориентированных таким образом, чтобы нагнетать газ, содержащий дополнительный кислород, в сторону верхней части соединительной шахты.

21. Печь по любому из пп.15-20, в которой указанная трубка (10) заходит в соединительную шахту (3) через проем (13), равноудаленный от указанных камер.

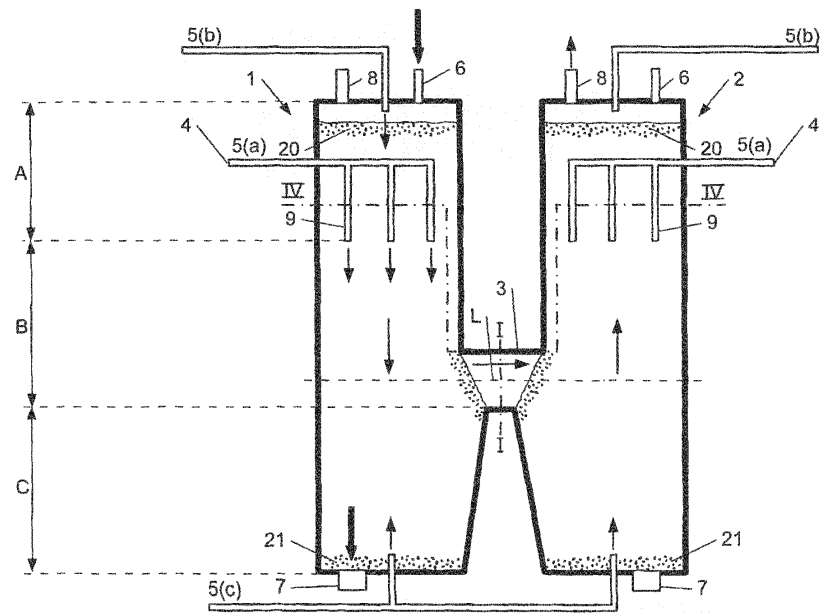
22. Печь по одному из пп.15-17, в которой указанные одно или несколько отверстий (14), выполненных в потолке (12) соединительной шахты, через которые поступает газ, содержащий дополнительный кислород, из указанного источника (20) такого газа, расположены на одинаковом расстоянии от камер и перпендикулярно к продольной оси (L) соединительной шахты (3).

23. Печь по любому из пп.15-22, в которой устройство питания топливом содержит один или несколько рядов из одной или нескольких одноструйных или многоструйных фурм, расположенных так, чтобы производить пучки параллельных топливных струй в соответствующей камере, причем эти пучки являются параллельными между собой, при этом топливные струи вышеупомянутых различных пучков находятся в нескольких плоскостях, параллельных относительно продольной оси (L) соединительной шахты.

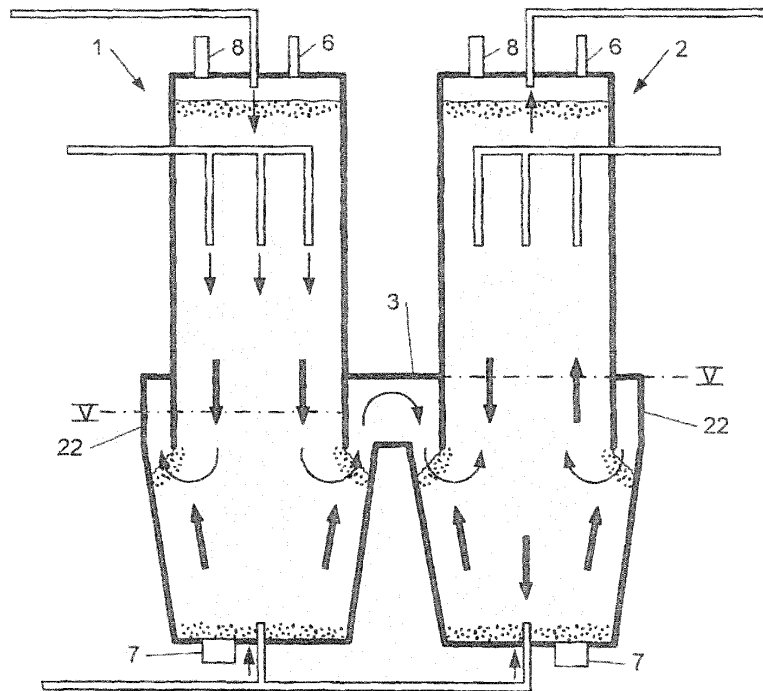
24. Печь по п.23, в которой отверстия нагнетательной трубки или отверстия в потолке соединительной шахты для нагнетания газа, содержащего дополнительный кислород, расположены в указанных плоскостях, образованных указанными пучками.

25. Печь по п.17, отличающаяся тем, что указанное нагнетательное устройство расположено так, чтобы нагнетать газ, содержащий дополнительный кислород, в соединительную шахту, в периферические каналы или сразу в соединительную шахту и в периферические каналы.

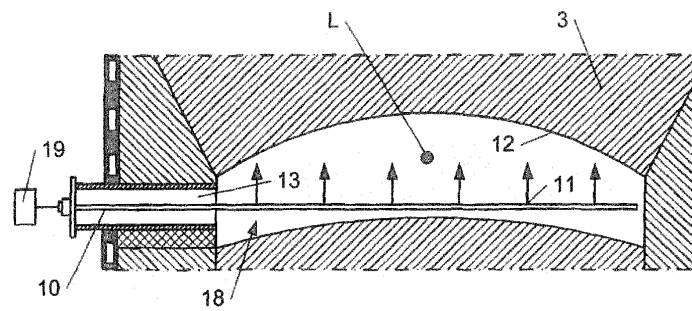
26. Печь по любому из пп.15-25, отличающаяся тем, что содержит три камеры и три газопропускных канала, каждый из которых соединяет две из вышеупомянутых камер, и нагнетательное устройство для нагнетания газа, содержащего дополнительный кислород, в каждый из указанных газопропускных каналов.



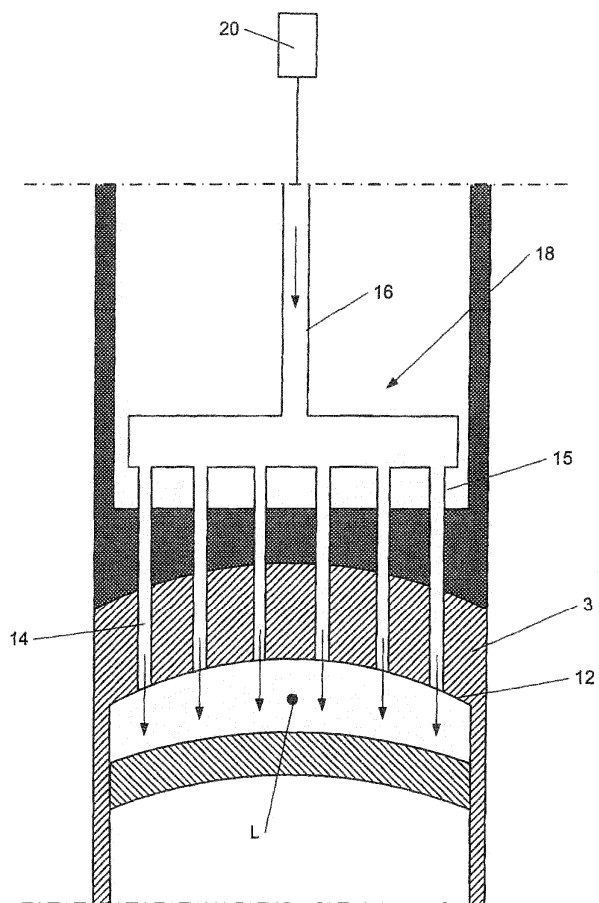
Фиг. 1a



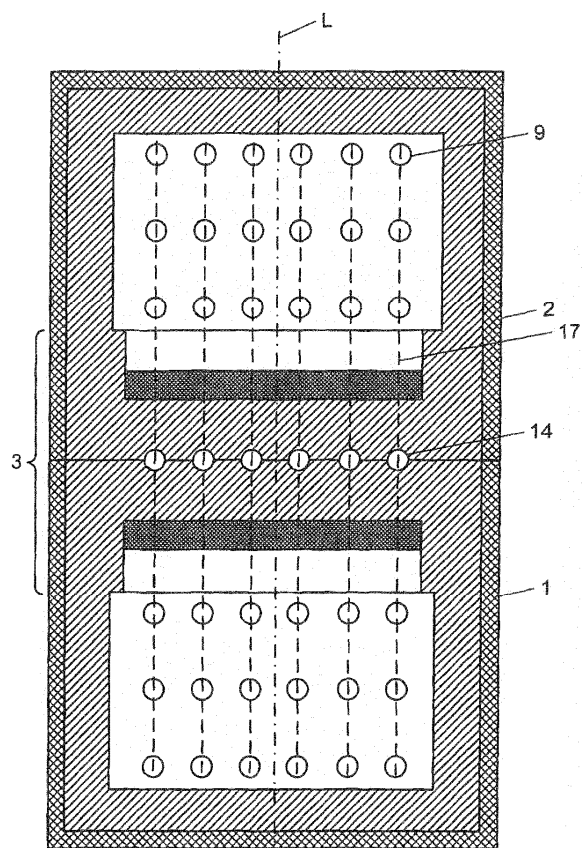
Фиг. 1b



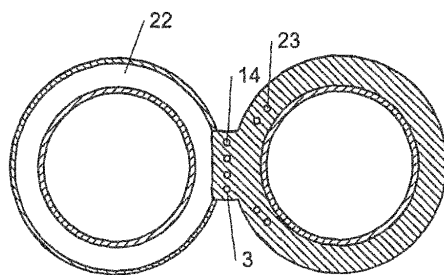
Фиг. 2



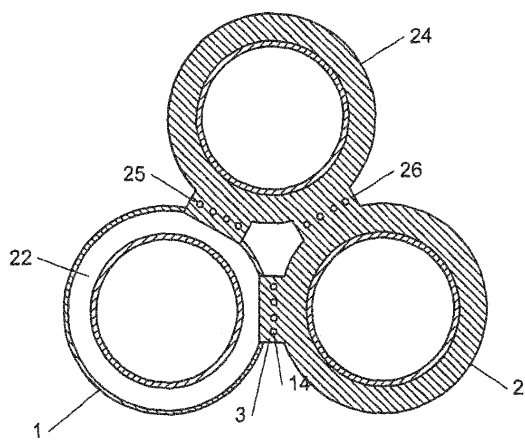
Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6

