

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **035126**(13) **B1**(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2020.04.30

(21) Номер заявки
201792620

(22) Дата подачи заявки
2016.05.30

(51) Int. Cl. **C03B 5/235** (2006.01)
F27D 17/00 (2006.01)
C03B 5/237 (2006.01)

(54) **ПЕЧЬ С НАГНЕТАНИЕМ ПРИ СКОРОСТИ ЗВУКА**(31) **1555009**(32) **2015.06.02**(33) **FR**(43) **2018.04.30**(86) **PCT/FR2016/051289**(87) **WO 2016/193608 2016.12.08**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**ВЕРАЛЛИА ФРАНС; СЭН-ГОБЭН
ГЛАСС ФРАНС (FR)**

(72) Изобретатель:
Эйю Фредерик, Гарнье Лоран (FR)

(74) Представитель:
Медведев В.Н. (RU)

(56) EP-A1-2508827
US-A-4347072
US-A-4372770
US-A-5203859

(57) Изобретение относится к ванной стекловаренной печи с подковообразным пламенем с низкими выбросами NOx, оснащенной потолочной горелкой, включающей впускной канал для окислителя, содержащего от 15 до 30% кислорода, в ее стенке выше по потоку, канал для отведения дымовых отходящих газов в ее стенке выше по потоку и систему вдувания со скоростью звука, включающую по меньшей мере один инжектор для вдувания струи газа со скоростью, по меньшей мере равной 80% скорости звука, называемый инжектором с околосвуковой скоростью, отверстие в стенке выше по потоку или отверстие в канале для отведения дымовых отходящих газов, причем указанный инжектор с околосвуковой скоростью вдувает свой газ в режиме противотока относительно потока дымовых отходящих газов, которые направляются в сторону канала для отведения дымовых отходящих газов, и также к способу получения расплавленного стекла, включающему плавление стекла в указанной печи.

B1**035126****035126****B1**

Изобретение относится к области ванн стекловаренных печей с подковообразным пламенем с низкими выбросами NOx.

Квалифицированный специалист в этой области технологии обычно подразумевает под NOx выбросы оксидов азота типа NO и/или NO₂, происходящие от нежелательного окисления азота. Существенным источником азота является тот, который содержится в окислителе, таком как воздух или обогащенный кислородом воздух.

В большинстве процессов горения, в частности, тех, которые применяются в стекловаренных печах, сталкиваются с проблемами нежелательных выбросов NOx в дымовых отходящих газах. NOx оказывают вредное влияние как на людей, так и окружающую среду. Более конкретно, с одной стороны, NO₂ является раздражающим газом, который вызывает респираторные заболевания. С другой стороны, в контакте с атмосферой он может постепенно формировать кислотный дождь. Наконец, он приводит к фотохимическому загрязнению, поскольку в сочетании с летучими органическими соединениями и солнечной радиацией он способствует образованию "тропосферного" озона, повышение концентрации которого на малых высотах становится вредоносным для людей, в особенности в периоды жаркой погоды. Этим объясняется, почему стандарты на эмиссию NOx становятся все более строгими. В основном вследствие существования этих стандартов изготовители и операторы печей, такие как изготовители и операторы стекловаренных печей, постоянно озабочены ограничением выбросов NOx настолько, насколько возможно, предпочтительно до содержания ниже 800 мг/норм.м³, стандартизованных при 8% кислорода в сухом отходящем газе. В пределах контекста настоящей заявки уровни содержания NOx всегда выражаются в мг/норм.м³, стандартизованных при 8% кислорода в сухом отходящем газе, единице, которая традиционно используется квалифицированным специалистом в этой области технологии. Квалифицированный специалист в этой области технологии обычно полагает, что содержание NOx ниже 700 мг/норм.м³ уже является хорошим содержанием, и что содержание NOx ниже 600 мг/норм.м³ является очень хорошим. Полезно знать, как получить даже более низкие уровни содержания NOx.

Стекловаренные печи рассчитаны на эксплуатацию в течение нескольких десятков лет, и их сооружение является дорогостоящим. Это потому, что их конструкция изменяется медленно. Действительно, проведение испытаний в промышленных печах является практически невозможным ввиду слишком большого риска ошибиться, если изменяются эксплуатационные параметры, такие как размеры устройства. В частности, воздухоприточные отверстия в стенках печи представляют собой каналы, выполненные из огнеупорных керамических материалов, размеры которых не могут быть легко модифицированы без остановки печи, чтобы перестроить значительную ее часть. Этим обуславливается то, почему невозможно простым путем модифицировать конструкцию печи, чтобы видоизменить потоки внутри камеры сгорания и, в частности, импульса воздуха, без изменения скорости его течения.

Импульс I газовой струи, подаваемой инжектором, задается формулой

$$I = Q_m \cdot V + S \cdot \Delta P$$

в которой

Q_m представляет массовый расход потока газовой струи;

V - скорость газа на выходном канале инжектора;

S - площадь поперечного сечения инжектора на его выходном канале;

ΔP - разность давлений между выходным каналом инжектора и давлением в камере.

Термин "со скоростью звука" в описании газовой струи означает, что указанная струя имеет скорость звука при температуре нагнетаемого газа (температуре на выходном канале инжектора).

Патентный документ EP 2508827 A1 описывает вдувание газообразного окислителя в боковую стенку ванной печи с подковообразным пламенем, чтобы прекращать сгорание топлива, согласно принципу ступенчатого горения. Это вдувание проводится диагонально как по направлению стенки выше по потоку, так и по направлению к противоположной стенке, и поэтому отчасти по тому же направлению, как поток дымовых отходящих газов. Тем самым значительно интенсифицируется рециркуляция газов, которая предполагалась бы сокращающей концентрацию NOx, однако без приведения точных примерных вариантов исполнения. Этот документ описывает, что затруднительно уменьшить концентрацию NOx ниже 1100 мг/норм.м³, и предлагает решение для сокращения содержания NOx ниже этого значения. Авторам настоящего изобретения удалось определить, что горизонтальная рециркуляция в лабораторной печи действительно возрастает. Однако также сокращается вертикальная рециркуляция. Пламя не особенно распространяется, если смотреть сверху, параллельно поверхности стекла. Развитие пламени тогда ограничивается и сужается в зоне вблизи боковой стенки напротив стенки, включающей газовый инжектор. Это движение пламени в сторону концентрированного состояния вблизи боковой стенки приводит к повышению температуры боковой стенки, что является весьма неблагоприятным для ее функционирования с течением времени. Кроме того, разбавление пламени является частичным, и фактически не очень эффективным. В самом деле, эти интенсивные рециркуляции мало взаимодействуют с пламенем, что является не очень эффективным в отношении сокращения NOx. Авторы настоящего изобретения смогли определить, что это решение было не очень эффективным для снижения содержания NOx в печи, которое и так уже составляет менее 700 мг/норм.м³ без любого дополнительного вдувания газа.

Согласно изобретению было найдено простое средство влияния на факельное сжигание воздействием на газовые потоки внутри камеры сгорания, без необходимости значительных разборок огнеупорного материала, слагающего стенки печи, и в особенности воздуховпускные каналы. Более конкретно, был размещен по меньшей мере один инжектор сжатого газа, работающий в режиме звуковой, или сверхзвуковой, или околосвуковой скорости (околосвуковая скорость подразумевает по меньшей мере 80% скорости звука), причем этот инжектор называется "инжектором с околосвуковой скоростью", вблизи канала для отведения отходящих газов или в канале для отведения отходящих газов и в режиме противотока с потоком отходящих газов. Тем самым было достигнуто огромное преимущество, обеспечиваемое этим инжектором с околосвуковой скоростью, для снижения содержания NOx. В пределах контекста настоящей заявки инжектор с околосвуковой скоростью подает свой газ со скоростью по меньшей мере 80% и предпочтительно по меньшей мере 95% скорости звука. Как правило, эта скорость не превышает 300% скорости звука. Форма наконечника инжектора с околосвуковой скоростью делает возможным превышение скорости звука или нет. Для превышения ее рекомендуется использовать инжектор с сужающейся и затем расширяющейся формой. Инжекторы, традиционно применяемые в области производства стекла, имеют суживающийся конец. Эта конфигурация обеспечивает возможность достижения скорости звука без способности превышения ее.

Изобретение относится к ванной стекловаренной печи с подковообразным пламенем, оснащенной потолочной горелкой, включающей впускной канал для окислителя, содержащего от 15 до 30% кислорода, в ее стенке выше по потоку, канал для отведения дымовых отходящих газов в ее стенке выше по потоку и систему вдувания со скоростью звука, включающую по меньшей мере один инжектор для вдувания струи газа со скоростью, по меньшей мере равной 80% скорости звука, называемый инжектором с околосвуковой скоростью, отверстие в стенке выше по потоку или отверстие в канале для отведения дымовых отходящих газов, причем указанный инжектор с околосвуковой скоростью вдувает свой газ в режиме противотока относительно потока дымовых отходящих газов, которые направляются в сторону канала для отведения дымовых отходящих газов.

Изобретение делает возможным получение превосходных уровней содержания NOx в отходящих газах, поскольку они могут содержать менее 600, и даже менее 570, и даже менее 500 или даже менее 450 мг/норм.м³. Вдувание газа со скоростью звука в противотоке относительно дымовых отходящих газов благоприятствует вертикальной рециркуляции дымовых газов выше пламени. Действительно, численное моделирование газовых потоков в лабораторном масштабе показало, что вдувание газа со скоростью звука согласно изобретению препятствует горизонтальной рециркуляции, чтобы благоприятствовать вертикальной рециркуляции над пламенем. Это является благоприятным для распространения пламени по поверхности стекла и поэтому для передачи тепла на стекло, а также для увеличения площади обмена между пламенем и газообразными продуктами сгорания. Таким образом, усиливается разбавление пламени в дымовых газах и снижается концентрация NOx.

Система вдувания со скоростью звука может включать только единственный инжектор с околосвуковой скоростью (инжектор для вдувания струи газа со скоростью, по меньшей мере равной 80% скорости звука) или многочисленные инжекторы с околосвуковой скоростью, т.е. 2, или 3, или 4, или 5, или 6, или даже больше инжекторов с околосвуковой скоростью.

Окислителем обычно является воздух. Впускной канал для окислителя подает большую часть окислителя, т.е. по меньшей мере 95% общей величины расхода потока окислителя, поступающего в камеру сгорания, причем остальное количество представляет собой засосанный воздух. Этот впускной канал для окислителя сформирован отверстием в стенке, выполненной из огнеупорного материала.

Оказывается, что струя сжатого газа, направляемая инжектором с околосвуковой скоростью в дымовой отходящий газ, содействует значительному модифицированию пути и рециркуляции газовых потоков в печи. Пламя, образованное тем самым в печи, является более разбавленным, тепло, которое оно доставляет, тем самым распределяется вдоль большей длины, и времена пребывания дымовых газов в камере сгорания в целом становятся более продолжительными. Это является благоприятным в двух отношениях:

- а) образуется меньшее количество NOx вследствие более низкой температуры пламени,
- б) огнеупорные материалы печи испытывают меньшую термическую нагрузку, поэтому срок их службы явно возрастает.

Инжектор с околосвуковой скоростью имеет выходное отверстие в стенке, включающей канал для отведения дымовых отходящих газов, или открывается в канал для отведения дымовых отходящих газов и нагнетает газ со скоростью звука в противотоке относительно потока дымовых отходящих газов, которые направляются (в камере сгорания) в сторону стенки выше по потоку. Термины "выше по потоку" и "ниже по потоку" подразумевают направление течения стекла, которое движется от стороны выше по потоку к стороне ниже по потоку. В ванной печи с подковообразным пламенем пламя начинается от одной горелки (т.е. сборного узла, сформированного впускным каналом для окислителя и топливной(ными) форсункой(ами) на стенке выше по потоку, чтобы распространяться в сторону ниже по потоку, затем поворачивать, чтобы возвращаться обратно в сторону канала для отведения дымовых отходящих газов, также размещенного в стенке выше по потоку, и рядом с впускным каналом для окислителя. Согласно

изобретению инжектор с околосвуковой скоростью нагнетает свой газ по направлению от стороны выше по потоку в сторону ниже по потоку, но в противотоке относительно дымовых отходящих газов, т.е. сталкиваясь с потоком дымовых газов, когда этот поток направляется в сторону канала для отведения отходящих газов в стенке выше по потоку и в направлении, противоположном направлению потока отходящих газов. Чтобы выполнить это, каждый инжектор с околосвуковой скоростью системы вдувания со скоростью звука предпочтительно имеет выходное отверстие в канале для отведения дымовых газов или в стенке выше по потоку в точке, более близкой к каналу для отведения дымовых газов, чем к впускному каналу для окислителя. Каждый инжектор с околосвуковой скоростью системы вдувания со скоростью звука предпочтительно имеет выходное отверстие на расстоянии менее 1 м или даже менее 0,5 м от края канала для отведения дымовых газов. Это справедливо для ситуации, где инжектор с околосвуковой скоростью открывается в канал для отведения дымовых газов или в стенке выше по потоку. Край канала для отведения дымовых газов представляет собой контур, сформированный каналом для отведения дымовых газов в стенке, включающей указанный канал, т.е. в стенке выше по потоку, на боковой стороне камеры сгорания. Даже если, где это уместно, инжектор с околосвуковой скоростью имеет выходное отверстие внутри канала для отведения дымовых газов, он является достаточно мощным, чтобы возмущать течение потока дымовых газов еще в печи и направленное в сторону канала для отведения дымовых газов. Вот почему, когда говорят, что газ со скоростью звука вдувает свой газ в противотоке относительно потока дымовых отходящих газов, которые направляются в сторону стенки выше по потоку, он представляет собой поток дымовых газов все еще в печи, и которые еще только должны поступать в канал для отведения дымовых газов.

Вектор, представляющий скорость газа на выходе из инжектора с околосвуковой скоростью, имеет ненулевой компонент параллельно потоку дымовых газов, поступающих в канал для отведения дымовых газов, и в направлении, противоположном направлению этого потока. Можно полагать, что поток дымовых газов, поступающих в канал для отведения дымовых газов, имеет направление, по существу, перпендикулярное стенке выше по потоку в печи, включающей канал для отведения дымовых газов. Компонент импульса системы вдувания со скоростью звука перпендикулярно стенке, включающей канал для отведения дымовых отходящих газов, предпочтительно составляет больше 5 Н, предпочтительно более 10 Н. Согласно последнему признаку учитываются все инжекторы с околосвуковой скоростью системы вдувания со скоростью звук, и определяется совокупный компонент системы перпендикулярно стенке выше по потоку. Этот компонент представляет собой результат всех компонентов импульсов, нагнетаемых всеми инжекторами с околосвуковой скоростью перпендикулярно стенке, включающей канал для отведения дымовых отходящих газов. Этот компонент составляет более 5 Н, предпочтительно более 10 Н.

Сжатый газ, нагнетаемый инжектором с околосвуковой скоростью, может быть любой природы и, в частности, может представлять собой природный газ или кислород, но предпочтительно воздух.

Ванные печи с подковообразным пламенем хорошо известны квалифицированным специалистам в области технологии стекловарения. Стенка выше по потоку ванной печи с подковообразным пламенем включает два отверстия, которые действуют попеременно как впускной канал для окислителя и как канал для отведения дымовых газов. В отношении работы ванной печи с подковообразным пламенем может быть сделана ссылка, в частности, на патентный документ WO 2008/078049, в особенности на его фиг. 1 и 2. Таким образом, чтобы действовать согласно настоящему изобретению, каждое из этих двух отверстий оснащается системой вдувания со скоростью звука, но функционирует только одна, связанная с отверстием, которое действует в качестве канала для отведения дымовых газов. Когда работа печи реверсируется, также реверсируется действие этих двух систем вдувания со скоростью звука. Поэтому система, связанная с отверстием, которое стало впускным каналом для окислителя, отключается, и включается система, связанная с отверстием, которое стало каналом для отведения дымовых газов.

Впускной канал для окислителя открывается в камеру сгорания печи через отверстие в стенке выше по потоку печи, выполненной из огнеупорного материала. Венец этого канала обычно снижается по направлению циркуляции окислителя, чтобы образовать угол с горизонталью между 14 и 30°. Таким образом, окислитель направляется в сторону потока топлива, поскольку последний обычно нагнетается форсунками, размещенными ниже впускного канала для окислителя. Эти топливные форсунки могут быть ориентированы так, что их струи направлены слегка вверх к направлению потока окислителя. Направление выброса топлива обычно может образовывать угол с горизонталью между 0 и 15°, в частности между 3 и 15° вверх. Впускной канал для окислителя и его топливная(ные) форсунка(ки) составляют горелку. Как правило, используются несколько топливных форсунок, и они размещаются под потоком воздуха. Эти топливные форсунки распределены ниже потока воздуха, одна рядом с другой, если смотреть сверху, чтобы распределять пламя, если рассматривать сверху, параллельно поверхности стекла. Позади каждого из двух отверстий в стенке выше по потоку печи обычно размещается регенератор. Окислитель проходит через регенератор и подогревается в нем перед поступлением во впускной канал для окислителя. Когда проводится "реверсирование" печи, впускной канал для окислителя становится каналом для отведения дымовых газов, и регенератор, связанный с указанным каналом, затем подогревается дымовыми газами. Регенераторы заполнены огнеупорными элементами (кирпичами, крестовидными элемен-

тами и т.д.), образующими сетчатую структуру, через которую движутся дымовые газы или окислитель, в зависимости от рабочей фазы. Когда через регенератор пропускается дымовой газ, тепло дымового газа передается огнеупорным элементам регенератора. Когда через регенератор пропускается окислитель, тепло огнеупорных элементов регенератора нагревает окислитель. Окислитель во впускном канале для окислителя находится, по существу, при атмосферном давлении и, как правило, под давлением слегка выше атмосферного давления, т.е. давлении между атмосферным давлением и атмосферным давлением+100 Па, как абсолютным давлением.

Таким образом, в ванной печи с подковообразным пламенем согласно изобретению площадь поперечного сечения впускного канала для окислителя в стенке выше по потоку обычно варьирует в пределах диапазона, протяженного от 0,5 до 3 м². Канал для отведения дымовых газов обычно идентичен впускному каналу для окислителя, поскольку каждый из этих каналов попеременно исполняет функцию то подачи окислителя, то отведения дымовых газов. Таким образом, площадь поперечного сечения канала для отведения дымовых газов в стенке выше по потоку обычно находится в пределах диапазона, протяженного от 0,5 до 3 м².

Один или многие инжекторы с околосвуковой скоростью, в частности два, или три, или четыре, или пять, или шесть инжекторов с околосвуковой скоростью, или еще больше, могут составлять оснащение канала для отведения дымовых газов с образованием системы вдувания со скоростью звука согласно изобретению. Инжектор с околосвуковой скоростью может быть сформирован трубой, изготовленной из жаростойкого металла, в частности сделанной из нержавеющей стали, вставленной в отверстие, сделанное в огнеупорном материале канала для отведения дымовых газов, или размещенное вблизи канала для отведения дымовых газов.

Инжектор с околосвуковой скоростью может иметь выходное отверстие в печь выше, или ниже, или по сторонам канала для отведения дымовых газов, или в самом канале для отведения дымовых газов. Ось инжектора с околосвуковой скоростью предпочтительно ориентирована в сторону потока дымовых газов, направляемых к стенке выше по потоку и в противотоке относительно этого потока.

Область истечения из системы вдувания со скоростью звука предпочтительно имеет общую площадь в пределах диапазона, протяженного от 0,2 до 4 см². Для случая, где используется единичный инжектор с околосвуковой скоростью, она представляет собой область на конце инжектора с околосвуковой скоростью. Для ситуации, где система вдувания со скоростью звука включает несколько инжекторов с околосвуковой скоростью, она представляет собой сумму площадей для выпуска газа через все инжекторы с околосвуковой скоростью.

Система вдувания со скоростью звука подает газ в пропорции от 0,2 до 5%, предпочтительно от 0,2 до 2% нормального объема окислителя, вводимого впускным каналом для окислителя. Поэтому здесь учитывается сумма объемов газа, подводимого всеми инжекторами системы вдувания со скоростью звука.

Изобретение также относится к способу получения расплавленного стекла, включающему плавление стекла в ванной печи с подковообразным пламенем согласно изобретению. В частности, количество окислителя, вводимого в печь, предпочтительно является избыточным относительно количества топлива, подводимого в печь. В частности, количество вводимого в печь окислителя, не включая подачу через систему вдувания со скоростью звука, предпочтительно является избыточным относительно количества топлива, подводимого в печь, не считая подачу через систему вдувания со скоростью звука.

Фигуры приведены не в масштабе.

Фиг. 1 представляет ванную печь с подковообразным пламенем согласно изобретению в виде сбоку в разрезе;

фиг. 2 показывает различные системы вдувания со скоростью звука, которые могут быть объединены с каналом для отведения дымовых газов в печи согласно изобретению;

фиг. 3 представляет, в виде сбоку в разрезе, канал для отведения дымовых газов, оснащенный отверстием инжектора с околосвуковой скоростью в той же стенке выше по потоку печи согласно изобретению;

фиг. 4 представляет изображение газовых потоков в ванной печи с подковообразным пламенем согласно разнообразным конфигурациям.

Фиг. 1 представляет ванную печь 1 с подковообразным пламенем в виде сбоку в разрезе, причем расплавленное стекло 2 течет слева направо. Разрез проведен через канал 3 для отведения дымовых газов, которые направляются в регенератор 4, содержащий огнеупорные элементы 5, которые будут подогреваться дымовыми газами. После фазы инверсии это отверстие будет использоваться в качестве впускного канала для окислителя горелки для пламени, причем указанный окислитель тогда подогревается огнеупорными элементами 5. Как представлено, канал находится в фазе отведения дымовых газов. Инжектор 6 сжатого газа имеет выходное отверстие в стенке 7 выше по потоку, которая также представляет собой стенку, в которую открывается канал для отведения дымовых газов. Струя 8 сжатого газа направляется в сторону потока дымовых газов (изображенного пунктирными линиями 9), направляемого к каналу для отведения дымовых газов, в то же время будучи в режиме противотока относительно него.

Фиг. 2 показывает разнообразные системы вдувания со скоростью звука, которые могут быть объединены с каналом 20 для отведения дымовых газов. Эти разнообразные конфигурации иллюстрированы

примерами. Система вдувания со скоростью звука может включать 3 инжектора 21 и может быть размещена непосредственно над каналом 20 для отведения дымовых газов (фиг. 2a) или на некотором расстоянии выше дымовых газов (фиг. 2b). Инжекторы системы вдувания со скоростью звука могут быть размещены под каналом 20 для отведения дымовых газов (фиг. 2d). В фиг. 2e используется одиночный инжектор 26 и размещается ниже канала 20 для отведения дымовых газов. Здесь инжектор слегка сдвинут влево, к стороне продольной оси печи. В фиг. 2с) инжекторы с околосвуковой скоростью были объединены в систему вдувания со скоростью звука выше и ниже канала для отведения дымовых газов. Символ "d" означает то, что подразумевается под расстоянием между инжектором и краем канала. Принимая во внимание маленький диаметр инжектора с околосвуковой скоростью, расстояние d принимается как начинающееся от его оси.

Фиг. 3 представляет канал 30 для отведения дымовых газов в виде сбоку, оснащенный инжектором с околосвуковой скоростью 31, имеющим выходное отверстие в той же стенке 33 выше по потоку печи. Инжектор с околосвуковой скоростью находится на расстоянии d от края канала. Инжектор с околосвуковой скоростью подает свой газ с импульсом, который представляется вектором 32, который может расщепляться на компонент 34, перпендикулярный стенке 33 выше по потоку и еще один компонент 35, параллельный стенке.

Фиг. 4 представляет изображение газовых потоков в контрольной ванной печи с подковообразным пламенем без дополнительного вдувания газа через стенку (конфигурация a), в ванной печи с подковообразным пламенем с вдуванием при скорости звука согласно изобретению (конфигурация b) и в ванной печи с подковообразным пламенем с вдуванием при скорости звука из боковой стенки (конфигурация c).

Примеры 1-10.

Были проведены испытания на ванной печи с подковообразным пламенем, включающей две действующие в режиме инверсии горелки, имеющие мощность 13,3 МВт, и окислителем в которых был воздух. Каждый воздуховпускной канал имел площадь $1,55 \text{ м}^2$ (с шириной 2200 мм и высотой 800 мм). В печь загружали материал типа известково-натриевой шихты, включающий 95 вес.%стеклобоя. Она работала с производительностью 330 т в день. Печь имела площадь поверхности 94 м^2 . Температура стекла на выходе печи составляла около 1300°C . Венец был при температуре около 1600°C .

Один или многие инжекторы с околосвуковой скоростью сжатого воздуха были размещены вблизи канала для отведения дымовых отходящих газов, чтобы сформировать системы вдувания со скоростью звука. Эти инжекторы имели суживающийся конец. Нагнетаемый газ был при температуре 25°C . Табл. 1 приводит разнообразные эксплуатационные условия, а также результаты в плане содержания NO_x в дымовых газах. Были протестированы четыре возможных положения инжекторов с околосвуковой скоростью:

непосредственно над каналом для отведения дымовых газов: инжектор находится точно на краю канала для отведения дымовых газов с углом наклона 20° вниз относительно горизонтали;

слегка выше канала для отведения дымовых газов: инжектор находится в 400 мм выше верхнего края канала для отведения дымовых газов с углом наклона 20° вниз относительно горизонтали;

ниже канала для отведения дымовых газов: инжектор находится в 250 мм ниже канала для отведения дымовых газов с углом наклона 5° вверх относительно горизонтали.

Все инжекторы с околосвуковой скоростью сжатого воздуха над каналом для отведения дымовых газов имели внутренний диаметр 5 мм. Инжекторы с околосвуковой скоростью сжатого воздуха под каналом для отведения дымовых газов имели внутренний диаметр 6 мм. В табл. 1 показаны

относительное давление: это давление в резервуаре для питания инжектора с околосвуковой скоростью;

величина расхода потока: это общая величина расхода потока сжатого воздуха (сумма величин расхода потока всех инжекторов с околосвуковой скоростью);

скорость вдувания: это скорость воздуха на выходном канале инжектора с околосвуковой скоростью сжатого воздуха;

звуковой импульс: это сумма импульсов инжектора с околосвуковой скоростью (в случае примера 2 без вдувания со скоростью звука, но импульс газа тем не менее был обозначен при 50% скорости звука в колонке "звуковой импульс" для упрощения);

NO_x : это концентрация в мг/норм.м^3 , стандартизированных при 8% кислорода в сухом дымовом газе;

вариация: это вариация в NO_x относительно контроля (без вдувания сжатого воздуха со скоростью звука).

Результаты "вариации" из примеров 2-7 приведены относительно примера 1. Результаты "вариации" из примеров 9-10 приведены относительно примера 8.

Примеры 11 и 12.

Испытания были проведены на ванной печи с подковообразным пламенем, включающей две действующие в режиме инверсии горелки, имеющие мощность 11 МВт, и окислителем в которых был воздух. Каждый воздуховпускной канал горелки (или канал для отведения дымовых газов, в зависимости от фазы инверсии) имел площадь 2 м^2 (с шириной 2300 мм и высотой 960 мм). В печь загружали материал типа известково-натриевой шихты, включающий 60 вес.%стеклобоя. Она работала с производительностью

250 т в день. Печь имела площадь поверхности 85 м². Температура стекла на выходе печи составляла около 1300°C. Венец был при температуре около 1600°C. Система вдувания со скоростью звука включала только единственный инжектор с околозвуковой скоростью сжатого воздуха с сужающимся концом. Последний был размещен в 300 мм ниже канала для отведения дымовых газов и в 650 мм от нижнего угла канала для отведения дымовых газов, ближайшего к продольной оси печи. Инжектор с околозвуковой скоростью вдувал свой газ с углом наклона 5° вверх относительно горизонтали и имел внутренний диаметр 8 мм в диаметре. Нагнетаемый газ был при температуре 25°C.

Табл. 1 приводит разнообразные эксплуатационные условия, а также результаты в плане содержания NOx в дымовых газах.

Таблица 1

Пример №	Число инжекторов непо-средственно выше	Число инжекторов в 400 мм выше	Число инжекторов в 250 мм ниже	Относительное давление [бар]	Расход потока [норм.м ³ /час]	% от скорости звука	Скорость вдувания [м/сек]	Звуковой импульс [Н]	NOx [мг/норм. м ³ при 8% O ₂]	Вариация
1 (сравнительный)									601	–
2 (сравнительный)	3			0,2	35	50	174	2	607	1%
3	3			0,7	65	84	289	7	559	–7%
4	3			1,7	104	100	346	14	546	–9%
5	3			4,2	200	100	346	33	405	–33%
6	0	3		4,2	200	100	346	33	390	–35%
7			2	4,2	200	100	346	33	397	–34%
8 (сравнительный)				–	–	–	–	–	778	–
9	3			4,2	200	100	346	33	494	–37%
10		3	2	4,2	400	100	346	65	354	–54%
11			1	3	132	100	346	21	457	
12			1	3,5	148	100	346	24	381	

Примеры 13-15.

Были проведены численные моделирования течения дымовых отходящих газов в ванной печи с подковообразным пламенем, в следующих конфигурациях:

- а) контроль: без дополнительного вдувания газа (см. фиг. 4а));
- б) дополнительное вдувание газа при скорости звука с расходом потока 181 норм.м³/ч в стенке выше по потоку в соответствии с настоящим изобретением;
- с) дополнительное вдувание газа при скорости звука с расходом потока 150 норм.м³/ч в боковой стенке (см. фиг. 4б, причем дополнительное вдувание обозначено жирной стрелкой); инжектор был сформирован под углом 60° относительно боковой стенки к стороне стенки выше по потоку и был на расстоянии от стенки выше по потоку, равном 23% общей длины боковой стенки; этот пример приведен в порядке сравнения и не в соответствии с настоящим изобретением;
- д) дополнительное вдувание газа при скорости звука с расходом потока 150 норм.м³/ч в стенке выше по потоку (см. фиг. 4с, причем дополнительное вдувание обозначено жирной стрелкой) в соответствии с настоящим изобретением.

Ванная печь с подковообразным пламенем включает две горелки, работающие в режиме инверсии, имеющие мощность 11 МВт, и окислителем в которых является воздух. Каждый воздуховпускной канал горелки (или канал для отведения дымовых газов, в зависимости от фазы инверсии) имеет площадь 1,55 м² (с шириной 2200 мм и высотой 800 мм). Печь имеет площадь поверхности 94 м². Температура стекла на выходе печи составляла около 1300°C. Нагнетаемый газ был при температуре 25°C.

Фиг. 4 показывает влияние этих вдуваний на газовые потоки в печи лабораторного объема. Для визуализации этих потоков векторы скорости были показаны в вертикальной плоскости, проходящей через середину воздуховпускного канала. Это изображение позволяет сделать видимой вертикальную рециркуляцию газов. В зависимости от конфигураций наблюдаются большие различия. Видно, что вдувание со скоростью звука согласно изобретению приводит к самой широкой рециркуляции в лабораторном объеме. Кроме того, результаты для NOx, выраженные относительно контроля без вдувания со скоростью звука, демонстрируют преимущество вдувания согласно изобретению, как показано в табл. 2. Колонка "вариация" приводит концентрацию NOx относительно контрольной конфигурации без дополнительного

нагнетания газа (фиг. 4а). Вдувание согласно изобретению приводит к сокращению содержания NOx, соответственно, на 15 и 20%. Вдувание газа со скоростью звука от боковой стенки не обеспечивает существенного сокращения NOx.

Таблица 2

Пример №	Число инжекторов в боковой стенке	Число инжекторов в 250 мм ниже канала для отведения дымовых газов	Расход потока [норм.м ³ /час]	% от скорости звука	Скорость вдувания [м/с]	Звуковой импульс [Н]	Вариация (%)
13 (фиг. 4b)		2	181	100	346	27	-19%
14 (сравн.) (фиг. 4c)	1		150	94	326	17	-1%
15		1	150	94	326	17	-15%

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Ванная стекловаренная печь (1) с подковообразным пламенем, оснащенная потолочной горелкой, включающей впускной канал для окислителя, содержащего от 15 до 30% кислорода, в ее стенке (33) выше по потоку, канал (3, 20, 30) для отведения дымовых отходящих газов в ее стенке (33) выше по потоку и систему вдувания со скоростью звука, включающую по меньшей мере один инжектор (6, 31) для вдувания струи газа со скоростью, по меньшей мере равной 80% скорости звука, называемый инжектором с околосвуковой скоростью, отверстие в стенке (33) выше по потоку или отверстие в канале (3, 20, 30) для отведения дымовых отходящих газов, причем указанный инжектор с околосвуковой скоростью вдувает газ (8) в режиме противотока относительно потока (9) дымовых отходящих газов, которые направляются в сторону канала (3, 20, 30) для отведения дымовых отходящих газов.

2. Печь по предшествующему пункту, отличающаяся тем, что инжектор (6, 31) с околосвуковой скоростью вдувает газ при скорости по меньшей мере 95% скорости звука.

3. Печь по любому из предшествующих пунктов, отличающаяся тем, что площадь поперечного сечения впускного канала для окислителя в стенке (33) выше по потоку находится в пределах диапазона, протяженного от 0,5 до 3 м², и тем, что площадь поперечного сечения канала (3, 20, 30) для отведения дымовых газов в стенке (33) выше по потоку находится в пределах диапазона, протяженного от 0,5 до 3 м².

4. Печь по одному из предшествующих пунктов, отличающаяся тем, что площадь истечения из системы вдувания со скоростью звука предпочтительно находится в пределах диапазона, протяженного от 0,2 до 4 см².

5. Печь по одному из предшествующих пунктов, отличающаяся тем, что компонент (34) импульса системы вдувания со скоростью звука перпендикулярно стенке (33), включающей канал (3, 20, 30) для отведения дымовых газов, составляет более 5 Н, предпочтительно более 10 Н.

6. Печь по одному из предшествующих пунктов, отличающаяся тем, что каждый инжектор (21, 22, 23, 24, 25, 26) с околосвуковой скоростью системы вдувания со скоростью звука имеет выходное отверстие в канале (3, 20, 30) для отведения дымовых газов или в стенке выше по потоку в точке, более близкой к каналу (3, 20, 30) для отведения дымовых газов, чем к впускному каналу для окислителя.

7. Печь по одному из предшествующих пунктов, отличающаяся тем, что каждый инжектор (21, 22, 23, 24, 25, 26) с околосвуковой скоростью системы вдувания со скоростью звука имеет выходное отверстие по меньшей мере в 1 м от края канала (20) для отведения дымовых газов.

8. Печь по одному из предшествующих пунктов, отличающаяся тем, что каждый инжектор (21, 22, 23, 24, 25, 26) с околосвуковой скоростью системы вдувания со скоростью звука имеет выходное отверстие по меньшей мере в 0,5 м от края канала (3, 20, 30) для отведения дымовых газов.

9. Печь по одному из предшествующих пунктов, отличающаяся тем, что газ представляет собой воздух.

10. Печь по одному из предшествующих пунктов, отличающаяся тем, что система вдувания со скоростью звука включает несколько инжекторов (21, 22, 23, 24, 25) с околосвуковой скоростью.

11. Способ получения расплавленного стекла, включающий плавление стекла в ванной стекловаренной печи (1) с подковообразным пламенем, оснащенной потолочной горелкой, включающей впускной канал для окислителя, содержащего от 15 до 30% кислорода, в ее стенке (33) выше по потоку, канал (3, 20, 30) для отведения дымовых отходящих газов в ее стенке (33) выше по потоку и систему вдувания со скоростью звука, включающую по меньшей мере один инжектор (6, 31) для вдувания струи газа, называемый инжектором с околосвуковой скоростью, отверстие в стенке (33) выше по потоку или отверстие в канале (3, 20, 30) для отведения дымовых отходящих газов, причем указанный инжектор с околосвуковой скоростью вдувает газ (8) со скоростью, по меньшей мере равной 80% скорости звука, и в режиме противотока относительно потока (9) дымовых отходящих газов, которые направляются в сторону канала (3, 20, 30) для отведения дымовых отходящих газов.

12. Способ по п.11, отличающийся тем, что инжектор (6, 31) с околосвуковой скоростью вдувает газ при скорости по меньшей мере 95% скорости звука.

13. Способ по любому из пп.11 или 12, отличающийся тем, что площадь поперечного сечения впускного канала для окислителя в стенке (33) выше по потоку находится в пределах диапазона, протяженного от 0,5 до 3 м², причем площадь поперечного сечения канала (3, 20, 30) для отведения дымовых газов в стенке (33) выше по потоку находится в пределах диапазона, протяженного от 0,5 до 3 м².

14. Способ по одному из пп.11-13, отличающийся тем, что площадь истечения из системы вдувания со скоростью звука предпочтительно находится в пределах диапазона, протяженного от 0,2 до 4 см².

15. Способ по одному из пп.11-14, отличающийся тем, что компонент (34) импульса системы вдувания со скоростью звука перпендикулярно стенке (33), включающей канал (3, 20, 30) для отведения дымовых газов, составляет более 5 Н, предпочтительно более 10 Н.

16. Способ по одному из пп.11-15, отличающийся тем, что каждый инжектор (21, 22, 23, 24, 25, 26) с околосвуковой скоростью системы вдувания со скоростью звука имеет выходное отверстие в канале (3, 20, 30) для отведения дымовых газов или в стенке выше по потоку в точке, более близкой к каналу (3, 20, 30) для отведения дымовых газов, чем к впускному каналу для окислителя.

17. Способ по одному из пп.11-16, отличающийся тем, что каждый инжектор (21, 22, 23, 24, 25, 26) с околосвуковой скоростью системы вдувания со скоростью звука имеет выходное отверстие по меньшей мере в 1 м от края канала (20) для отведения дымовых газов.

18. Способ по одному из пп.11-17, отличающийся тем, что каждый инжектор (21, 22, 23, 24, 25, 26) с околосвуковой скоростью системы вдувания со скоростью звука имеет выходное отверстие по меньшей мере в 0,5 м от края канала (3, 20, 30) для отведения дымовых газов.

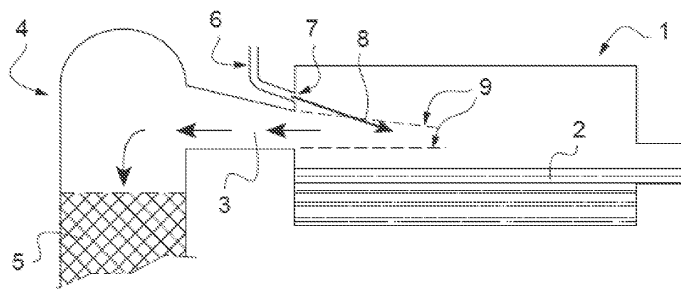
19. Способ по одному из пп.11-18, отличающийся тем, что газ представляет собой воздух.

20. Способ по одному из пп.11-19, отличающийся тем, что система вдувания со скоростью звука включает несколько инжекторов (21, 22, 23, 24, 25) с околосвуковой скоростью.

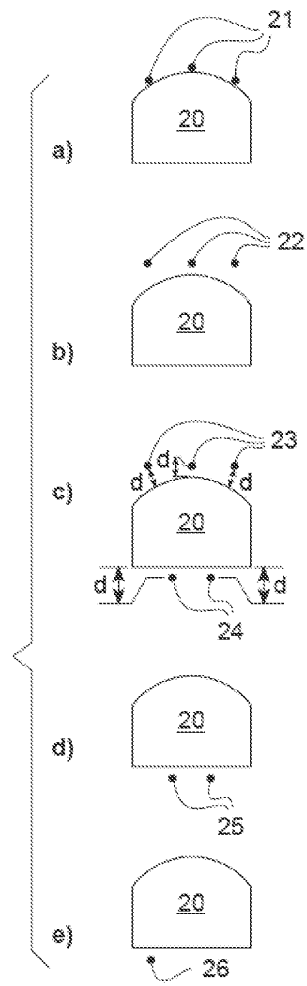
21. Способ по одному из пп.11-20, отличающийся тем, что система нагнетания со скоростью звука подает газ в пропорции от 0,2 до 5%, предпочтительно от 0,2 до 2% нормального объема окислителя, вводимого впускным каналом для окислителя.

22. Способ по одному из пп.11-21, отличающийся тем, что количество окислителя, вводимого в печь, является избыточным относительно количества топлива, подводимого в печь.

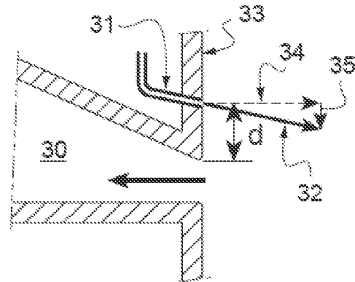
23. Способ по одному из пп.11-22, отличающийся тем, что количество вводимого в печь окислителя, не включая подачу через систему вдувания со скоростью звука, является избыточным относительно количества топлива, подводимого в печь, не считая подачу через систему вдувания со скоростью звука.



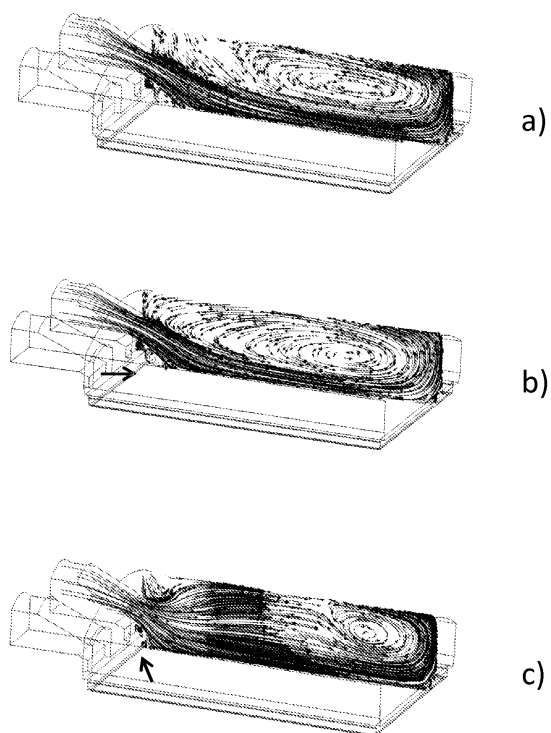
Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4

