



Изобретение относится к теплотехнике и может быть использовано для сжигания газообразного топлива в системах отопления сушильных, нагревательных, термических, плавильных печей, паровых и водогрейных котлов и других тепловых агрегатов.

Известна рекуперативная горелка преимущественно для обогрева рабочих объемов промышленных печей, содержащая воздухоподающий корпус, размещенную в корпусе с кольцевым зазором трубу первичного воздуха, камеру сгорания с выходным соплом, соединенную с топливной трубой, а также обечайку с отогнутой наружу входной кромкой и отогнутой внутрь выходной кромкой, установленную в кольцевом зазоре между корпусом, трубой первичного воздуха и камерой сгорания с образованием наружной и внутренней кольцевой камеры рекуператора [1].

В известной рекуперативной горелке камера сгорания расположена в конце горелки со стороны выхода ее в теплотехнический агрегат и занимает незначительный объем по отношению к объему горелки, что не позволяет обеспечить эффективный подогрев первичного воздуха, по всей длине горелки. Подогрев вторичного воздуха во внутренней кольцевой камере от горячих газов, забранных из рабочего пространства печи и проходящих по наружной кольцевой камере, не обеспечивает заметного повышения эффективности подогрева воздуха, так как объем нагретого вторичного воздуха составляет от 10 до 30 % холодного воздуха.

Кроме того, при заборе горячих газов в наружную кольцевую камеру из рабочего пространства печи, где присутствуют продукты неполного сгорания топлива, которые при прохождении через рекуперативную часть горелки образуют сажу. Техническая пыль от огнеупоров, окалины обжигаемых заготовок, находящаяся в рабочем пространстве печи, а также образованная сажа засоряют канал для прохождения печных газов, снижая эффективность работы горелки.

При работе на малых расходах воздуха из-за низкого теплосъема происходит перегрев рекуперативной части горелки, что приводит к сгоранию сажи и прогару обечайки. При этом известное расположение камеры сгорания способствует ее перегреву, во избежание которого установлена водоохлаждаемая кольцевая труба, что усложняет горелку и ее эксплуатацию.

Известна рекуперативная горелка, содержащая корпус, размещенную в нем с кольцевым зазором трубу первичного воздуха, камеру сгорания, теплообменник, выполненный из пучка труб, предназначенных для продуктов сгорания, причем трубы теплообменника проходят сквозь смонтированную между корпусом и трубой первичного воздуха винтовую спираль для направления воздуха, омывающего трубы теплообменника [2].

Известная горелка имеет те же недостатки, что и вышеприведенный уровень техники. Выполнение теплообменника из пучка труб усложняет горелку, а протягивание по ним дымовых газов из рабочего пространства печи, где присутствуют продукты неполного сгорания топлива, может вызвать образование в трубах сажи при их догорании, что требует периодической очистки труб от сажи, технической пыли и окалины. При работе на малых расходах воздуха возможно сгорание сажи, повышение температуры и прогар труб.

Наиболее близкой по назначению и конструктивным элементам является рекуперативная газовая горелка, содержащая корпус, коаксиально расположенную в нем камеру сгорания, газовую камеру с многоструйным соплом и запальным устройством, а также расположенную в кольцевом пространстве между корпусом и камерой сгорания воздушную камеру, при этом камера сгорания выполнена с равномерно расположенными по периметру цилиндрическими и щелевыми отверстиями [3].

Известная горелка обеспечивает более эффективное сжигание топлива за счет полного его сжигания в камере сгорания, расположенной практически на всей длине корпуса горелки, а также в результате многоструйной подачи газа в камеру сгорания и равномерной подачи по всему периметру камеры сгорания подогретого от контакта с ней воздуха. Это позволяет при повышении расхода газа и увеличении скорости истечения газовых струй

# BY 21451 C1 2017.10.30

улучшить перемешивание смеси на всей длине камеры сгорания, а также осуществить внутреннюю рекуперацию тепла путем эжекции высокотемпературных газов из зоны высокого давления камеры сгорания через щелевидные отверстия в воздушную камеру, перемешивания их с воздухом и инъекции горячей смеси через цилиндрические отверстия обратно в зону пониженного давления камеры сгорания.

Холодный воздух в воздушной камере подогревается от камеры сгорания и идет в основном по пути наименьшего сопротивления, а именно напрямую в камеру сгорания и в меньшей степени направляется в кольцевой зазор между камерой сгорания и корпусом. Кроме того, внутренняя рекуперация тепла в известной горелке наиболее эффективна при смещении зоны фронтального горения в сторону выходного сопла, что возможно при работе горелки на больших мощностях.

Известные горелки не решают задачи оптимизации мощности и габаритов. Мощность известных рекуперативных горелок ограничена, так как ее увеличение приведет к необходимости значительного увеличения габаритов рекуператора и горелки в целом. Кроме того, развитая поверхность теплообмена рекуператора имеет значительное гидравлическое сопротивление, что увеличивает мощность воздухоудовки, т.е. затраты электроэнергии на подачу воздуха.

Техническим результатом изобретения является повышение мощности рекуперативных горелок за счет использования воздуха, обогащенного кислородом.

Указанный технический результат достигается тем, что в рекуперативной газовой горелке, содержащей корпус, коаксиально установленный в нем рекуператор, в котором выполнена газовая камера с газовым соплом, камеру подогрева воздуха и камеру дымоудаления, образованные стенкой корпуса и рекуператором, отделяющую газовую камеру от камеры подогрева воздуха перфорированную перегородку для частичного подсосывания подогретого воздуха в газовую камеру, патрубок для подачи газа, соединенный с корпусом, камеру для приготовления кислородовоздушной смеси, соединенную с корпусом, с патрубком для подачи воздуха и с патрубком для подачи кислорода, при этом на патрубке для подачи воздуха установлены средства контроля и управления расходом кислорода для получения кислородовоздушной смеси требуемой концентрации, а отношение диаметра патрубка для подачи воздуха к диаметру камеры для приготовления кислородовоздушной смеси составляет 1,167.

Существенные признаки изобретения, предопределяющие получение указанного технического результата, явным образом не следуют из уровня техники, что позволяет сделать вывод о соответствии изобретения условию патентоспособности "изобретательский уровень".

На фигуре изображена рекуперативная газовая горелка в разрезе.

Рекуперативная газовая горелка содержит корпус 1, коаксиально расположенные в нем камеру дымоудаления 2, встроенный рекуператор 3, отделяющий камеру дымоудаления от камеры подогрева воздуха 4, и газовую камеру 5 с газовым струйным соплом 6, отделенную от воздушной камеры перфорированной перегородкой 7, через которую в газовую камеру частично подсосывается подогретый воздух, и патрубок 8 подачи воздуха и патрубок 9 подачи природного газа к горелке.

Патрубок 8 подачи воздуха снабжен камерой 10 смешения для приготовления кислородовоздушной смеси, расположенной перед корпусом 1 горелки и соединенный газопроводом, присоединенным к кислородной магистрали, на патрубке 11 подачи кислорода. На патрубке 8 подачи воздуха установлены средства 12 контроля и управления расходом воздуха. На патрубке 11 средства 13 контроля и управления расходом кислорода для получения смеси требуемой концентрации, при этом диаметр струйного газового сопла 6 увеличен пропорционально корню квадратному из отношения действительной концентрации кислорода в подаваемой смеси к концентрации кислорода в воздухе в соответствии с уравнением

$$d = d_{\text{нач}} \sqrt{\frac{[\text{O}_2]_{\text{см}}}{[\text{O}_2]_{\text{возд}}}},$$

где  $d$  - увеличенный диаметр струйного газового сопла 6;

$d_{\text{нач}}$  - начальный диаметр струйного газового сопла;

$[\text{O}_2]_{\text{см}}$  - действительная концентрации кислорода в подаваемой смеси;

$[\text{O}_2]_{\text{возд}}$  - концентрации кислорода в воздухе;

а отношение диаметра  $D_{\text{в}}$  воздухоподводящего патрубка 8 к первоначальному диаметру  $D_{\text{в.нач.}}$  воздухоподводящего патрубка 8 связано отношением

$$D_{\text{в}} / D_{\text{в.нач.}} = \left( \frac{V_{\text{O}_2}^{(\text{теор})}}{0,21} \right) / \left( 2 \cdot \frac{V_{\text{O}_2}^{(\text{теор})}}{[\text{O}_2]_{\text{см}}} \cdot (1 - [\text{O}_2]_{\text{см}}) / 0,79 \right)$$

где  $D_{\text{в}}$  - диаметр воздухоподводящего патрубка 8 до камеры 10 смешения с кислородом;

$D_{\text{в.нач.}}$  - диаметр воздухоподводящего патрубка у базовой горелки, где не используется кислород;

$V_{\text{O}_2}^{(\text{теор})}$  - теоретически необходимый объем кислорода для смешения  $1 \text{ м}^3$  газа;

$[\text{O}_2]_{\text{см}}$  - концентрация кислорода в готовой смеси.

Способ приготовления топливной смеси в рекуперативной газовой горелке, включает подогрев воздуха при прохождении через рекуператор 3 за счет теплоты дымовых газов, частичное смешение подогретого воздуха и газа, подаваемого через струйное газовое сопло 6 в газовой камере 5, и подачу подогретого воздуха и смеси в зону горения. Воздух предварительно смешивают в камере 10 с кислородом, а диаметр струйного газового сопла 6 увеличивают пропорционально корню квадратному из отношения действительной концентрации кислорода в подаваемой смеси  $[\text{O}_2]_{\text{см}}$  концентрации кислорода в воздухе  $[\text{O}_2]_{\text{возд}}$  (около 0,21) в соответствии с уравнением

$$d = d_{\text{нач}} \sqrt{\frac{[\text{O}_2]_{\text{см}}}{[\text{O}_2]_{\text{возд}}}},$$

а диаметр воздухоподводящего патрубка 8 до камеры 10 смешивания с кислородом в  $\sqrt{1,362} = 1,167$  раз, а отношение диаметра  $D_{\text{вп}}$  воздухоподводящего патрубка 8 к диаметру  $D_{\text{квк}}$  камеры 10 смешивания воздуха с кислородом связано отношением

$$D_{\text{вп}} / D_{\text{квк}} = \sqrt{1,362} = 1,167 \text{ раз.}$$

В воздухоподводящий патрубок 8 перед входом в горелку осуществляется врезка кислородной магистрали с устройством 13 контроля расхода кислорода.

Расход воздуха, подаваемого на горение в новой горелке, определяется следующим образом:

$$V_{\text{возд}} = N \frac{V_{\text{O}_2}^{(\text{теор})}}{0,79 \cdot [\text{O}_2]_{\text{см}}} \cdot (1 - [\text{O}_2]_{\text{см}}),$$

где  $N$  - кратность увеличения мощности горелки (максимально может достигать  $99,9/21 = 4,75$  раз при использовании технически чистого кислорода);  $V_{\text{O}_2}^{(\text{теор})}$  - теоретический расход кислорода для сжигания  $1 \text{ м}^3$  газа при заданном коэффициенте избытка воздуха  $\alpha$ ; 0,79 - доля балластных составляющих в воздухе (азот и пр.)

Расход дополнительно подаваемого в воздух кислорода будет равен:

$$V_{\text{O}_2} = N V_{\text{O}_2}^{(\text{теор})} - V_{\text{возд}} [\text{O}_2]_{\text{возд}},$$

где  $[\text{O}_2]_{\text{возд}} \approx 0,21$ .

Например, для изготовления рекуперативной горелки, имеющей мощность в два раза больше базовой, необходимо:

## BY 21451 C1 2017.10.30

1) увеличить диаметр газового сопла и диаметр газоподводящего патрубка в  $\sqrt{2} = 1,41$  раз;

2) уменьшить расход воздуха (и мощность воздуходувки) в 1,362 раза

$$\left( \frac{V_{O_2}^{(теор)}}{0,21} \right) / \left( 2 \cdot \frac{V_{O_2}^{(теор)}}{[O_2]_{см}} \cdot (1 - [O_2]_{см}) / 0,79 \right) = \frac{[O_2]_{см}}{2(1 - [O_2]_{см})} = \frac{0,42 \cdot 0,79}{2(1 - 0,42) \cdot 0,21} = 1,362 .$$

Это позволит уменьшить диаметр воздухоподводящего патрубка (до камеры смешивания с кислородом) в  $\sqrt{1,362} = 1,167$  раз.

3) Дополнительный расход кислорода при  $V_{O_2}^{(теор)} = 2,05 \text{ м}^3$  на  $1 \text{ м}^3$  природного газа составит

$$V_{O_2} = 2 \cdot 2,05 \left( 1 - \frac{0,21(1 - 0,42)}{0,42 \cdot 0,79} \right) = 2,6 \text{ м}^3 .$$

В известных рекуперативных горелках мощность ограничена, так как ее увеличение приведет к необходимости значительного увеличения габаритов рекуператора и горелки в целом. Кроме того, развитая поверхность теплообмена рекуператора имеет значительное гидравлическое сопротивление. Вследствие чего увеличивается мощность воздуходувки, соответственно, затраты электроэнергии на подачу воздуха.

Подача в рекуперативную горелку воздуха, обогащенного кислородом при одновременном увеличении подачи природного газа не требует увеличения поверхности теплообмена встроенного рекуператора - рекуперативной насадки, следует только увеличить подачу топлива. Следствием чего возрастет мощность горелочного устройства.

Например, при обогащении воздуха горения до 40 % содержания  $O_2$  при сохранении количества подаваемой смеси-окислителя можно увеличить количество подаваемого природного газа в 1,9 раза (при  $\alpha = 1,05$ ), т.е. во столько же раз увеличится и мощность горелочного устройства.

При этом решается не только проблема ограничения мощности в рекуперативных горелках, но и проблема выбросов  $NO_x$ . Как известно с ростом температуры факела возрастает и концентрация оксидов азота в продуктах горения. Но в рекуперативных горелках за счет реализации режима беспламенного горения (FLOX) фронт горения практически отсутствует, т.е. нет локальных зон с высокой температурой, которая способствует образованию "термических"  $NO_x$ .

С целью экономии целесообразно для эжекции дымовых газов использовать воздух, не обогащенный кислородом.

Изобретение по сравнению с базовой технологией и конструкцией позволяет путем увеличения количества подаваемого природного газа в зону горения во столько же раз увеличивать и мощность рекуперативного горелочного устройства, что предопределяет получение заявленного технического результата.

Промышленное освоение изобретения предполагается на территории Беларуси и СНГ.

Источники информации:

1. SU 1400519, МПК F 23D 14/00, 1988.
2. RU 2378573, МПК F 23D 14/00, 2010.
3. RU 2172895, МПК<sup>7</sup> F 23D 14/20, 2001.