

УДК 621.783.2:621.762.3+741.123.59

ТРУБЕЦКОЙ Е.А.

Институт газа НАН Украины

РАЗРАБОТКА НИЗКОЭМИССИОННОЙ ПЛОСКОПЛАМЕННОЙ ГОРЕЛКИ УНИВЕРСАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ*

Запропоновано спосіб введення газів рециркуляції в процес спалювання палива в плоскопламеневому пальнику. Запропоновано та випробувано конструкцію газорозподільного сопла, що забезпечує розширення робочого діапазону та зниження викидів токсичних речовин в оточуюче середовище.

Предложен способ ввода газов рециркуляции в процесс сжигания топлива в плоскопламенной горелке. Предложена и испытана конструкция газораздающего сопла обеспечивающая расширение рабочего диапазона и снижение выброса токсических веществ в окружающую среду.

Proposed here is a method of recycling gas inlet in a process of fuel combustion in the plain-plasmic burner. A construction of gas-delivery nozzle providing expansion of working range and decrease of toxic substance atmospheric emission is suggested and tested.

B_T – расход горючего через горелку, м³/ч;
CO – оксиды углерода, ppm;
NO_x – оксиды азота, ppm;
 T_a – температура воздушного дутья, °C;

T_k – температура топчного пространства, °C;
 α – коэффициент избытка воздуха;
ГПП – горелка плоскопламенная.

Введение

В металлургическом производстве используются разнообразные топливные агрегаты энергетического и технологического назначения – от котлов и газотурбинных установок до разнообразных технологических печей. В качестве топлива в металлургии применяются все существующие виды: минеральное (твердое, жидкое и газообразное) и искусственное (технологическое). В виду этого металлургическое производство является существенным загрязнителем окружающей среды.

Основными источниками образования NO_x являются высокотемпературные процессы, особенно в печах, где окислитель-воздух или воздух, обогащенный кислородом, подогревают до высоких температур (до 500 °C и более). Именно повышение температуры воздуха горения, обеспечивая высокую энергетическую эффективность нагревательных печей, одновременно вызывает превышение [NO_x] по сравнению с нормативами.

Горелочные устройства металлургических печей не обеспечивают пониженные концентрации [NO_x] даже в условиях холодного окислителя, а в реальных условиях эксплуатации при высоком

подогреве воздуха горения вызывают существенное превышение выбросов оксидов азота по сравнению с допустимыми нормами.

Существует несколько способов снижения вредных выбросов в продуктах сгорания:

а) способы прямого действия влияют на концентрацию вредных выбросов в продуктах сгорания при заданном составе и параметрах топлива и окислителя. Реализуются действием на процесс горения через конструкцию горелочного устройства;

б) способы эксплуатационного действия, влияющие на общий выброс вредных веществ или их удельный выход на единицу тепловой мощности (для энергоустановок) или единицу продукции (для технологических печей);

в) способы итогового действия влияют на концентрацию, общий выброс и удельный выход загрязняющих веществ путем использования специальных очистительных устройств.

В рамках настоящей работы нас интересовал первый из перечисленных способов – создание и использование низкоэмиссионных горелочных устройств.

В силу особенностей аэродинамики факела и организации рабочего процесса в топочном пространстве печей плоскопламенные горелки являются универсальными устройствами для топливных печей различного назначения – от низкотемпературных термических (уровень рабочих температур – от 500 °С) до высокотемпературных нагревательных (1250...1300 °С – печи прокатного производства) и плавильных (1500...1600 °С – стекловаренные печи).

Плоскопламенная горелка – горелочное устройство, позволяющее организовать разомкнутый факел и безотрывное обтекание поверхности горелочного камня и сопряженной с ней поверхности кладки. Особенностью горелок серии ГПП является использование в качестве завихрителя воздушного потока винта специальной геометрии с убывающим шагом, обеспечивающим высокую степень крутки для организации разомкнутого течения, что обеспечивает малые коэффициенты аэродинамического сопротивления тракта [1]. Горелка (рис. 1) обеспечивает устойчивую работу в режиме разомкнутого факела при сжигании газов различного номинального давления, калорийности и состава с изменением одного конструктивного элемента – газораздающего сопла.

Цели исследований

Задачей исследования является разработка и испытание конструкции сопла для плоскопламенной горелки, которая позволит расширить диапазон устойчивой работы по нагрузке и избытку окислителя с одновременным снижением выбросов токсичных веществ в окружающую среду. При этом поставлена задача минимального изменения проточной части горелочного устройства.

Испытания проводились на огневом стенде в Институте газа НАН Украины. Огневой стенд разделен на две камеры: основную с плоскопламенной горелкой и вспомогательную с дополнительной горелкой. Продукты сгорания основной горелки попадают во вспомогательную камеру, откуда с продуктами сгорания от дополнительной горелки попадают в радиационно-щелевой рекуператор, предназначенный для нагрева воздуха воздушного дутья. Такая конструкция позволяет изменять температуру подогрева воздуха, идущего на горение, независимо от нагрузки основной

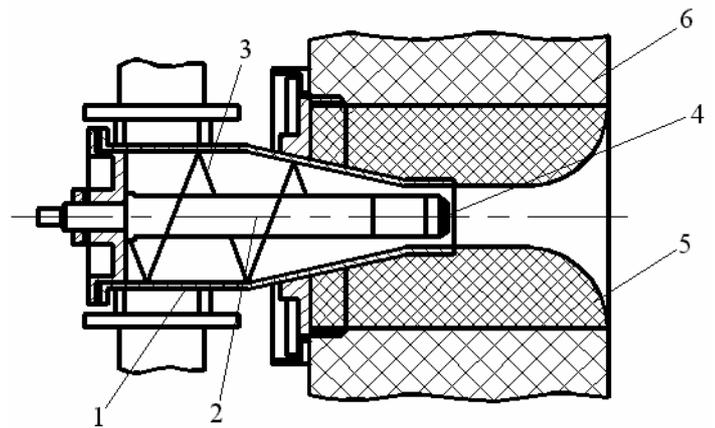


Рис. 1. Принципиальная схема плоскопламенной горелки серии ГПП. 1 – корпус горелки; 2 – центральная вставка, формирующая газоподводящий канал; 3 – винт-завихритель с цилиндрическим и коническим участками, имеющими постоянный по всей длине угол подъема винта по наружному контуру; 4 – газораздающее сопло; 5 – огнеупорный горелочный туннель; 6 – стена печи.

горелки и температуры топочного пространства основной камеры стенда.

Методика исследования

Серия испытаний проводилась с использованием горелки ГПП-4, которая оснащалась различными газораздающими устройствами (соплами).

Температура подогрева воздуха, идущего на горение, T_a измерялась с помощью хромель-алюмелевой термопары [2]. Температура внутри основной камеры стенда T_k измерялась пирометром “Смотрич-5ПМ” через предусмотренные гляделки в пяти точках. Полученные значения затем усреднялись. Расход газа измерялся при помощи штатного ротационного газового счетчика с последующим приведением полученных результатов к условиям при 0 °С и 760 мм рт. ст. [3]. Давление топлива и окислителя измерялись U-образным манометром. Замеры концентраций вредных веществ, в частности CO и NO_x, выполнялись с использованием компьютеризованного газоаналитического комплекса TESTO – 350 XL / TESTO – 350 M/XL. Пробы продуктов сгорания на анализ отбирались с использованием водоохлаждаемой

газозаборной трубки, размещаемой в основной камере стенда по оси к исследуемой горелке.

Обсуждение результатов

Результаты экспериментальных испытаний горелки с новым газораздающим соплом на устойчивость показали, что увеличение коэффициента избытка воздуха α выше определенного предела приводит к срыву горения, причем с ростом расхода газа предельные значения α уменьшаются. Как и для всех существующих типоразмеров плоскопламенных горелок для испытываемой горелки имеется область смыкания факела, которая зависит от того, каким образом меняется режим. Явление гистерезиса (размыкание - смыкание) факела наблюдалось при расходе газа 0,215 от номинального с повышением коэффициента избытка воздуха. Такое же явление наблюдалось при регулировании расхода газа в сторону уменьшения нагрузки.

Основным показателем экологической безопасности горелочного устройства является концентрация в продуктах сгорания оксидов углерода и азота. Образование оксидов азота в факеле в основном локализовано на участке максимальных температур, в случае использования плоскопламенной горелки – на границе пограничного слоя при сопряжении горелочного камня с кладкой, и определяется теоретическими температурами горения для данного состава и временем пребывания микрообъемов смеси в зонах с теоретическими температурами горения. Накопленные экспериментальные данные представляются математическим описанием в виде регрессионной зависимости выходного параметра от входных (функция отклика $[\text{NO}_x]$ от факторов). Входными факторами выбраны: коэффициент избытка воздуха α (x_1), расход горючего через горелку B_T (x_2), температура воздушного дутья T_B (x_3) и температура топочного пространства T_K (x_4). Результаты опытов представлены в виде уравнения (1):

$$[\text{NO}_x] = b_0 + \sum_{i=1}^4 b_i \cdot x_i +$$

$$+ \sum_{i=1}^4 b_j \cdot x_i^2 + \sum_{i=1, k \neq i}^4 b_{ik} \cdot x_i \cdot x_k. \quad (1)$$

Проведя обработку экспериментальных данных используя метод Ньютона в программе STATISTICA получена зависимость:

$$\begin{aligned} [\text{NO}_x] = & 29,333 - 6,752 \cdot x_1 - 1,64 \cdot x_2 + 0,371 \cdot x_3 + \\ & + 0,038 \cdot x_4 + 10,667 \cdot x_1^2 + 0,0216 \cdot x_2^2 + 0,000251 \cdot x_3^2 + \\ & + 0,000048 \cdot x_4^2 + 1,258 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,25 \cdot x_1 \cdot x_3 - \\ & - 0,057 \cdot x_1 \cdot x_4 - 0,00342 \cdot x_2 \cdot x_3 - 0,00129 \cdot x_2 \cdot x_4 + \\ & + 0,000012 \cdot x_3 \cdot x_4 \end{aligned} \quad (2)$$

Коэффициент корреляции между функцией отклика и параметрами получен по уравнению (2), $R = 0,92$.

Зависимость $[\text{NO}_x]$ от α носит экстремальный характер и при соответствующем значении коэффициента избытка воздуха $\alpha_{\text{кр1}}$ [4] достигает максимальных концентраций в уходящих газах. При $\alpha < \alpha_{\text{кр1}}$ уменьшение эмиссии NO_x объясняется снижением концентрации кислорода и температуры факела. Снижение эмиссии NO_x в области $\alpha > \alpha_{\text{кр1}}$ определяется в основном снижением температуры факела (от которой она зависит по экспоненте) несмотря на возрастание концентрации кислорода (влияние которой на эмиссию NO_x носит степенной характер). Смещение пика максимальных концентраций в плоскопламенной горелке по сравнению с традиционными горелочными устройствами объясняется наличием интенсивного теплоотвода от факела к стенкам топочной камеры.

Роль T_B , чрезвычайно ощутимая при образовании NO_x в традиционных горелочных устройствах, в случае плоскопламенной горелки несколько ослабела. Видимо, это связано со сносящим действием воздушного потока на горящие газовые струи и соответствующим повышением роли рециркулирующих продуктов сгорания, балластирующих зоны горения. Повышение T_K в меньшей степени влияет на рост NO_x . Это можно объяснить тем, что массовая кратность рециркуляции, как и ее относительное воздействие на фронт воспламенения при повышении температуры рециркулирующих продуктов сгорания понижается [5].

Выводы

Проведены экспериментальные исследования и теоретическое обобщение работы конструкции сопла, при использовании определенной организации сжигания топлива для плоскопламенной горелки среднего давления, широко используемой в печах.

Экспериментальные исследования показали, что использование данного сопла увеличивает область устойчивого горения природного газа в плоскопламенной горелке среднего давления по коэффициенту избытка воздуха на 38%, по мощности горелки на 10,4%. По сравнению со стандартной конструкцией сопла среднего давления получено уменьшение концентрации оксидов азота на 13 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Чепель В.М., Шур И.А.* Сжигание газов в топках котлов и печей и обслуживание газового хозяйства предприятий.- Л: Недра, 1980.- 590 с.
2. *Миронов К.А., Шинетин Л.И.* Теплотехнические измерительные приборы.- М: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной и судостроительной литературы, 1954.- 495 с.
3. *Друскин Л.И.* Сжигание газа в промышленных печах и котлах.- М: Гостоптехиздат, 1962.- 260 с.
4. *Любчик Г.Н., Варламов Г.Б., Сердюк С.Д., Микулин Г.А., Трубецкой Е.А.* Воздействие коэффициента избытка воздуха, производительности и нагрузки котла на показатели эмиссии оксидов азота // Энергетика: экономика, технологии, экология.- 2002.- № 1.- С. 48-54.
5. *Сорока Б.С.* Интенсификация тепловых процессов в топливных печах.- К: Наукова думка, 1993.- 412 с.

Получено 26.-9.2004 г.

* Работа выполнена под руководством д.т.н. проф. Сороки Б.С.