



## Инновационные горелки с широкими пределами регулирования для нагревательных и термических печей

*Представлены результаты разработки и исследования горелок частичного предварительного смешения, описана их конструкция и принцип работы, приведены результаты испытаний тепловой работы термических и нагревательных камерных печей, оборудованных горелками данного типа. Библиогр.: 7 назв.*

**Ключевые слова:** горелка, пределы регулирования, печь, система отопления, импульсный способ отопления, равномерность нагрева, экономия топлива

*The development and research results of preliminary part-mixing burners have been presented. The burner design and burner operation principle have been described. Testing results of heat-treatment and heating chamber furnaces equipped with burners have been demonstrated.*

**Keywords:** burner, control limits, furnace, heat system, impulse method of heating, heat uniformity, fuel saving

### Введение

В металлургии основу горелочного парка составляют горелки устаревших конструкций, имеющие ограниченный диапазон изменения рабочих характеристик. Наиболее распространенными типами горелочных устройств являются прямоточные горелки, из которых примерно по 20 % составляют горелки ГНП (горелка для природного газа низкого давления) и горелки типа «труба в трубе».

Горелки ГНП рассчитаны на сжигание природного газа низкого давления в пределах изменения тепловой мощности 1:8 при незначительном изменении коэффициента расхода воздуха. При этом, регулирование расхода воздуха должно осуществляться в плавном режиме. В противном случае наблюдается нарушение режима сжигания топлива. При малых тепловых нагрузках для стабилизации процесса горения необходимо применять специальные запальники. Горелки типа «труба в трубе», создающие диффузионный факел, характеризуются узкими диапазонами изменения тепловой мощности и коэффициента расхода воздуха. Увеличение коэффициента расхода воздуха до 1,35-1,5 приводит к отрыву факела. Узкие пределы регулирования горелок ГНП и «труба в трубе» исключают ступенчатое изменение расходов газа и воздуха, что делает невозможным их применение при реализации импульсного способа отопления печей, широко используемого для отопления камерных печей.

Таким образом, существующий парк горелочных устройств не позволяет реализовать современные технологии управления температурным полем печей и обеспечить требуемое качество тепловой обработки изделий и повысить эффективность использования топлива

### Постановка задачи

Целью работы является разработка и исследова-

ние горелочных устройств с широкими пределами регулирования тепловой мощности и коэффициента расхода воздуха, способных обеспечить надежную работу нагревательных и термических печей, при импульсном отоплении, использовании управления длиной факела.

### Результаты исследований

Для решения поставленных задач разработана конструкция горелки частичного предварительного смешения с широкими пределами регулирования [1]. Основой конструкции является горелка ГНП, новым элементом - наконечник газового сопла, который имеет форму цилиндрического стакана, отверстие для подачи топлива расположено на его входной донной части. Через боковые отверстия в наконечник сопла поступает первичный воздух, количество которого зависит от соотношения расходов топлива и воздуха через горелку. Подсос части воздуха внутрь сопла происходит под действием разрежения, создаваемого газовыми струями. Это повышает надежность горелки и расширяет пределы ее регулирования.

При исследовании горелки на огневом стенде и действующих печах установлено, что горелочное устройство работает устойчиво на доменном, коксовом и природном газе, а также их смесях независимо от исходного температурного состояния печи. Диапазон регулирования тепловой мощности достигает 1:25, а коэффициента расхода воздуха 1:5 [2].

Два типоразмера горелок прошли приемочные испытания в Государственном центре по испытанию и внедрению топливоиспользующего оборудования и разрешены к использованию. Особо следует отметить низкий уровень оксидов азота в продуктах сгорания, что является необходимым условием эксплуатации топливосжигающих устройств в печах современных конструкций.

В настоящее время горелки частичного предварительного смешения, разработанные, успешно эксплу-

атируются на нескольких машиностроительных и металлургических предприятиях Украины и России.

В качестве примера можно рассмотреть опыт реконструкции системы отопления термической рециркуляционной печи с выкатным подом, предназначенной для отжига крупногабаритных слитков высоколегированных сталей. Площадь пода печи  $47 \text{ м}^2$ , топливо - природный газ. Печи работают по вихревому принципу с односторонним вращательным движением продуктов сгорания, который обеспечивается расположением горелок в боковых стенах рабочей камеры. С одной стороны горелки установлены в нижней части камеры, с противоположной - в верхней. Система отопления включает 16 двухпроводных горелок ГНП-3, установленных в боковых стенах. Для стабилизации их работы конструкцией печи предусмотрены дополнительные горелки ГНП-1, расположенные в закрытых топках под основными горелками ГНП-3. Основные горелки объединены с закрытыми топками в рециркуляционные узлы, которые через систему каналов связаны с рабочей камерой печи. Регулирование тепловой нагрузки печи осуществляется путем изменения расхода природного газа на основные горелки в диапазоне  $(80-380) \text{ м}^3/\text{ч}$ . Подача топлива на дополнительные горелки ГНП-1 производится независимо от работы горелок ГНП-3, и его расход составляет  $80 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

С целью сокращения расхода топлива в печах данного типа разработана и испытана система отопления, предусматривающая замену существующих горелок ГНП-3 на горелки частичного предварительного смешения, которые обладают широкими пределами регулирования, как по тепловой мощности, так и коэффициенту расхода воздуха. Использование этих горелок позволило исключить из схемы отопления закрытые топки, оборудованные горелками ГНП-1, что обеспечило удельную экономию топлива в количестве  $20 \text{ кг у.т./т}$  отожженного металла [3].

Наряду с горелками ГНП на металлургических предприятиях широко используются горелки типа «труба в трубе». Узкий диапазон регулирования горелок усложняет их обслуживание, исключает ступенчатое изменение расходов газа и воздуха, что затрудняет автоматизацию печей и делает невозможным применение импульсного отопления без замены горелок. Для устранения этих недостатков предложена горелка частичного предварительного смешения базе горелок типа «труба в трубе» для коксо доменной смеси [3, 8], имеющая наконечник сопла в форме стакана с перфорированной донной и боковой поверхностью. Принцип работы ее описан выше. Горелки устойчиво работают на топливе с различной теплотой сгорания и обеспечивают большой диапазон регулирования тепловой мощности и коэффициента расхода воздуха. Это позволило использовать их для реализации автоматического управления зональным режимом отопления в термических печах. Однако при длительной эксплуатации в горелках, использующих коксо доменную смесь, постепенно зарастают отверстия за счет отложения парафинов. Поэтому периодически необ-

ходимо останавливать печь для чистки горелок.

Исключить этот недостаток удалось в новой горелке частичного предварительного смешения [4]. Отличительной особенностью конструкции является то, что наконечник в форме стакана имеет плавный обтекатель с воздушной стороны и участок внезапного расширения со стороны газового канала, при этом входные каналы первичного воздуха расположены на участке внезапного расширения. Расположение воздушных каналов в зоне устойчивого разрежения обеспечивает подсос необходимого первичного воздуха для качественного смешения с топливом. Это обеспечивает существенное расширение пределов регулирования.

Испытания горелок в условиях термического цеха завода «Днепропеталь» зафиксировали стабильную работу горелок при соотношении «газ-воздух» 1:25. Исследования стехиометрического сжигания топлива показали, что предел регулирования по тепловой мощности составил 1:40 (от 7,45 до 300 кВт) [5]. Известные конструкции горелок не могут обеспечить таких пределов регулирования. В дальнейшем была разработана горелка с тепловой мощностью 800 кВт на базе той же горелки. Аттестация разработанных горелок мощностью 300 и 800 кВт была проведена Государственным центром по испытанию и внедрению топливоиспользующего оборудования. Приемочные испытания подтвердили результаты проведенных исследований и разрешают использование горелок для сжигания низкокалорийных газов в термических и нагревательных печах.

Одним из наиболее эффективных путей повышения качества нагрева металла в камерных печах является управление длиной факела и следовательно возможность управления величиной теплового потока от продуктов сгорания на металл во всем объеме рабочего пространства печи.

С целью регулирования длины факела и повышения эксплуатационной надежности нами разработано горелочное устройство частичного предварительного смешения, где эффект достигается изменением доли первичного воздуха и степени его перемешивания с топливом. Конструкция горелки предусматривает формирование двух осесимметричных потоков топлива, отличающихся содержанием первичного воздуха. Горение осуществляется в рабочем пространстве печи, при этом регулирование длины факела достигается за счет изменения соотношения расходов газа во внешней и внутренней топливной струе [6]. Исследования горелки выполнили на огневом стенде и действующей камерной нагревательной печи. Установлено: стабильная работа горелки в случае использования природно доменной смеси возможна при увеличении коэффициента расхода воздуха в интервале 1-7, а в случае использования природного газа 1-4. При этом пределы регулирования тепловой мощности составляют 1:25. Горелки устойчиво работают при малых расходах топлива и ступенчатом изменении тепловой нагрузки, что позволяет им стабильно работать без запальных устройств в условиях автома-

тического регулирования и использования импульсных способов отопления.

Использование горелок разработанной конструкции в камерной нагревательной печи с односторонним боковым отоплением позволяет реализовать импульсный способ ее отопления.

Существующая система отопления печи содержит восемь горелок, расположенных в два ряда по высоте на боковой стене рабочей камеры. В верхнем ряду установлены четыре горелки ГНП-5, в нижнем – четыре горелки ГНП-3. Наличие верхней и нижней зон отопления обеспечивает двухсторонний нагрев заготовок, расположенных на подовых брусках. В тоже время, схема отопления с односторонним боковым расположением горелок не способствует равномерному нагреву металла в направлении движения горящих газов. Оценку качества нагрева металла при существующем способе отопления выполнили по результатам замера температуры в садке поковок. Результаты проведенных исследований показали, что конечный перепад температуры в объеме нагреваемой садки составил 35 °С. Температура поверхности заготовки, расположенной возле горелок, была на 10 °С выше, а температура поверхности заготовки, расположенной у противоположной от горелок стены, на 25 °С ниже относительно заданной температуры выдержки печи.

Результаты численного моделирования и исследования работы камерной нагревательной печи с односторонним боковым отоплением [6, 7] позволили предложить импульсную систему отопления, направленную на повышение равномерности температурного поля в рабочем пространстве печи. Более равномерное распределение температур в садке металла по сравнению с обычным способом регулирования достигается за счет периодической интенсификации теплообменных процессов по всему объему рабочего пространства. Наличие пульсирующего факела с постоянной максимально возможной длиной способствует снижению неравномерности распределения температуры газовой среды и, соответственно, увеличению равномерности распределения тепловых потоков по поверхности нагреваемого металла. При этом устраняется возможность образования локальных зон перегрева. Увеличиваются теплосодержание и уровень температуры поверхности металла, расположенного во второй по ходу движения горящих газов половине печи.

Применительно к рассматриваемой печи импульсный способ отопления предусматривал ступенчатое изменение тепловой мощности в период выдержки печи от максимального значения до мощности холостого хода. Оценку качества нагрева металла при импульсном отоплении выполнили по результатам замера температуры в опытной садке. В период подъема температуры изменение расхода топлива производилось в соответствии с требуемой скоростью увеличения температуры печи. На стадии выдержки подача топлива осуществлялась автоматически: длительность подачи топлива во время импульса в начальный период выдержки составила около 3 мин, в конце выдержки – 1 мин. При этом допустимое

отклонение температуры печи относительно заданной температуры составило  $\pm 10$  °С. В конце периода выдержки температурное состояние опытной садки характеризовалось следующими величинами: температурный перепад по объему садки составил 15 °С,

Более равномерное распределение температур в садке металла по сравнению с обычным способом регулирования достигается за счет периодической интенсификации теплообменных процессов по всему объему рабочего пространства. Наличие пульсирующего факела с постоянной максимально возможной длиной способствует снижению неравномерности распределения температуры газовой среды и, соответственно, увеличению равномерности распределения тепловых потоков по поверхности нагреваемого металла. При этом устраняется возможность образования локальных зон перегрева. Увеличиваются теплосодержание и уровень температуры поверхности металла, расположенного во второй по ходу движения горящих газов половине печи.

#### Выводы

Разработаны новые типы горелочных устройств частичного предварительного смешения с широкими пределами регулирования на основе горелок ГНП и «труба в трубе» для природного газа и природно-косо-доменных смесей. Горелки обеспечивают возможность реализации импульсных систем отопления камерных нагревательных и термических печей путем модернизации существующих горелок. Эффективность и надежность эксплуатации горелок новых типов подтверждена в промышленных условиях.

#### Библиографический список

1. Пат. України № 16287. Газовий пальник / М.П. Ревун, А.М. Байбуз, О.М. Андрієнко та ін. // Оpubл. 29.08.97; Бюл. № 4.
2. Ревун М.П., Байбуз А.Н., Андриенко А.Н. и др. Опыт внедрения горелок частичного предварительного смешения // Сталь. – 1985. - № 12. – С. 71-73.
3. Чепрасов А.И., Ревун М.П., Каюков Ю.Н. Применение горелок частичного предварительного смешения на рециркуляционных термических печах // Теплотехнология металлургического производства. Сб. научн. тр. – К.: Техніка, 1988. – С. 4-7. М.П. Ревун, А.И. Чепрасов, С.В. Башлий и др. // Оpubл. 15.10.94; Бюл. № 19.
5. Горелка частичного предварительного смешения / М.П. Ревун, А.И. Чепрасов, С.В. Башлий // Сталь. – 1993. - № 9. – С. 87-89.
6. Пат. України на корисну модель № 30517. Пальниковий пристрій / М.П. Ревун, Ю.М. Каюков, О.І. Чепрасов, О.М. Андрієнко // Оpubл. 25.02.2008. – Бюл. № 4.
7. Математическое моделирование нагрева металла в пламенной печи камерного типа (сообщ. 2) / М.П. Ревун, Ю.Н. Каюков, А.И. Чепрасов, В.И. Иванов // Металургія: наукові праці ЗДІА. – Запоріжжя: ЗДІА, 2011. – Вип. 23. – С. 163-171.
4. Пат. РФ № 2021558. Горелочное устройство /

Поступила 06.12.2012