

К. т. н. Р. А. Пилипенко¹(✉), к. т. н. А. В. Пилипенко¹, Д. М. Логвиненко¹,
Ф. Г. Таукчи², А. И. Новиков³, В. М. Зубашенко³, Д. А. Тимошенко³

¹ Институт газа НАН Украины, г. Киев, Украина

² ЧП «Таск», г. Киев, Украина

³ ЗАО «ПКФ «НК», г. Старый Оскол Белгородской обл., Россия

УДК 66.041.4-50.004.69:666.76.046.4

РЕКОНСТРУКЦИЯ МАЛОГАБАРИТНОЙ ТУННЕЛЬНОЙ ПЕЧИ ДЛЯ ОБЖИГА ОГНЕУПОРНЫХ ИЗДЕЛИЙ

В туннельной печи для обжига огнеупорных и теплоизоляционных изделий организована внутренняя рециркуляция газов между пакетами изделий. Движение газов происходит за счет кинетической энергии скоростных струй продуктов сгорания. Источником таких струй являются скоростные горелки ГНБ-80, которые разработаны в Институте газа НАН Украины. Благодаря интенсификации и равномерности нагрева демонтированы защитные муфелы вокруг пакетов, повышена производительность печи на 25–67 %, снижен удельный расход топлива на 15–25 %.

Ключевые слова: огнеупоры, обжиг, равномерность нагрева, скоростные горелки, рециркуляция газов.

Туннельная печь ЗАО «Теплохиммонтаж» (г. Старый Оскол) введена в эксплуатацию в 2002 г. и предназначена для обжига теплоизоляционных огнеупорных и высокоогнеупорных изделий общего назначения кажущейся плотностью 0,5–1,3 г/см³ и сложных фасонных огнеупорных изделий кажущейся плотностью 2,0–2,5 г/см³ для различных тепловых агрегатов. Длина рабочего пространства печи 24,2 м, ширина 928 мм, высота по боковой стене до замка свода 928 мм. Свод — арочный. Изделия размещаются в виде единого пакета на вагонетках длиной 1100 и шириной 850 мм. Печь отапливается природным газом. Температурный режим работы печи переменный, так как определяется типом обжигаемой партии продукции.

До реконструкции в боковых стенах зоны обжига было установлено 20 двухпроводных горелок 1ГТП-25-15-0,5 по 10 горелок с каждой стороны печи с шагом 550 мм. В конструкции горелки предусмотрено изменение положения газового сопла вдоль оси горелки, что предполагает регулирование длины и диаметра факела. При выдвинутом из горелки газовом сопле смесь газа и воздуха выходит через центральное отверстие наконечника, образуя при этом длинный факел; при вдвинутом газовом сопле образуется короткий факел. Укорочение

факела происходит за счет завихрения смеси в наконечнике и ее раздаче перпендикулярно оси горелки, но при этом факел увеличивается в диаметре, а скорость его течения падает. Регулирование положения сопла ручное. В условиях стесненного свободного пространства между садкой и боковыми стенами и в разрывах между пакетами избежать прямого попадания пламени на поверхность изделий не представлялось возможным. Поэтому для защиты изделий от прямого контакта с факелом по периметру садки устанавливался муфель, толщина стенки которого составляла 200 мм (рис. 1). Однако даже при наличии муфеля организовать равномерный нагрев не удавалось:

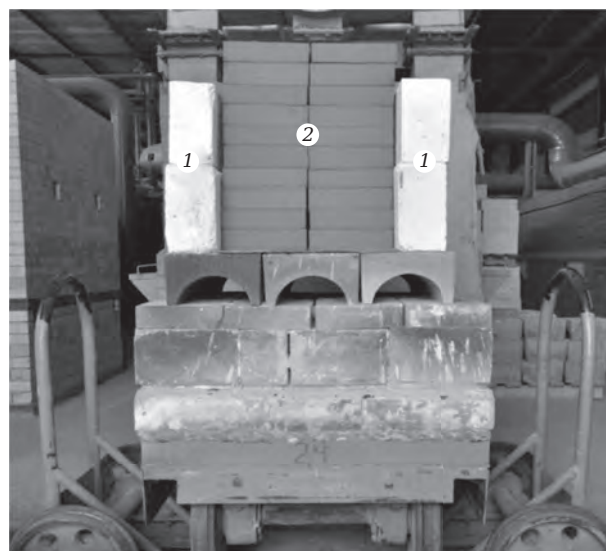


Рис. 1. Вариант садки огнеупорных изделий с муфелем: 1 — муфель; 2 — пакет изделий

✉
Р. А. Пилипенко
E-mail: ig.hil-ko@ukr.net

разность температур по боковым сторонам садки составляла от 5 до 20 °С, а нижние ряды садки не обжигались.

В связи с необходимостью повышения производительности печи было решено демонтировать муфель, за счет чего увеличить вместимость вагонетки и заменить морально устаревшее газовое оборудование печи с тем, чтобы обеспечить равномерный интенсивный нагрев садки и снизить удельный расход топлива. Для достижения высокой равномерности нагрева ($\pm 5^\circ\text{C}$) было решено применить известный способ выравнивания температур в объеме греющих газов за счет их интенсивной внутренней рециркуляции в пространстве между пакетами садки [1, 2]. В этом случае не только происходит интенсивное перемешивание и усреднение греющей среды, но и возрастает конвективная составляющая в теплопередаче от газов к поверхности нагрева, за счет чего интенсифицируется и ускоряется нагрев. Известно, что для этой цели наиболее предпочтительно использование кинетической энергии скоростных струй продуктов сгорания [2]. Такие струи создаются скоростными горелками, в которых скорость истечения струи достигает 100 м/с и выше. Интенсивность рециркуляции газов определяется величиной кратности рециркуляции K , которая представляет собой отношение количества циркулирующих в рабочем пространстве газов $V_{\text{см}} = V_1 + V_2$ ко вновь поступающему V_1 , т. е. $K = V_{\text{см}} / V_1$. Очевидно, чем больше количество присоединенных (инжектируемых) газов V_2 , тем больше кратность рециркуляции. В свою очередь, чем выше скорость инжектирующей струи, тем больше количество присоединенной массы, а следовательно, и кратность рециркуляции. Однако в работе [2] показано, что повышение скорости струи выше 100 м/с приводит к нерациональным затратам энергии, поскольку рост кратности рециркуляции ($K > 4,0$) практически не влияет на дальнейшее выравнивание температур в объеме греющих газов.

Согласно разработанной в Институте газа НАН Украины технологии точного нагрева в пламенных печах с внутренней рециркуляцией греющих газов, их движение осуществляется по циркуляционному контуру, геометрические и режимные параметры которого рассчитываются исходя из тепловой мощности печи, режимных и геометрических параметров скоростной горелки, температуры и геометрии печи, требуемой равномерности нагрева [3, 4]. В зависимости от геометрии печи и садки скоростные горелки устанавливаются в боковых стенах в промежутках между пакетами садки



Рис. 2. Скоростная горелка ГНБ в установочной обойме

по двум вариантам: 1 — на одном уровне по высоте, а именно на уровне пода, так, что горелки с одной стороны установлены в шахматном порядке по отношению к горелкам другой; 2 — в два уровня по высоте рабочего канала таким образом, что в каждой промежутке между пакетами устанавливается по две горелки: с одной стороны горелка на уровне пода, а с другой, напротив, на некоторой высоте над уровнем пода. Для равномерного нагрева и реализации необходимого для этого циркуляционного контура движения газов в промежутке между пакетами садки была выбрана скоростная горелка серии ГНБ конструкции Института газа НАН Украины (рис. 2) [5].

Основные критерии выбора типа скоростной горелки: качество сжигания и габариты факела (диаметр, длина), скорость истечения смеси и устойчивость горения при смене нагрузки, надежность конструкции и простота управления, стоимость. Кроме того, учитывается простота перевода горелки в автоматическое регулирование. Горелки серии ГНБ полностью соответствуют указанным требованиям. Горелки серии ГНБ относятся к горелочным устройствам так называемого «кинетического горения», принцип действия которых основан на предварительной подготовке горючей смеси и обязательной стабилизации основания факела. Эти горелки отличаются от туннельных напорных горелок ГН отсутствием огнеупорного туннеля, в котором происходит сгорание смеси газа и воздуха. Разработана серия горелок ГНБ мощностью 80, 100, 125, 160, 300, 500, 600, 1000 кВт. В производстве строительных и огнеупорных материалов широко используют горелки ГНБ-80, ГНБ-100, ГНБ-25 и ГНБ-160. Для решения конкретной задачи была выбрана горелка ГНБ-80.

Горелки ГНБ обеспечивают жесткий малогабаритный факел, полное сгорание смеси в пределах свободного пространства между пакетами: $\text{CO} \leq 10 \text{ ppm}$, $60 \leq \text{NO}_x \leq 124 \text{ мг/м}^3$ (зависит от температуры в рабочем пространстве и избытка воздуха). Скорость истечения смеси до 100 м/с. Горелки работают на газе низкого и среднего давления, работают устойчиво в ши-

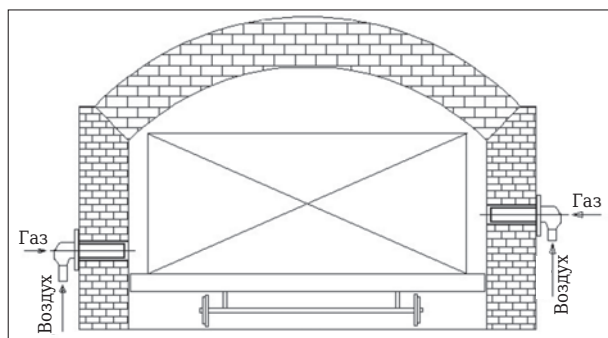


Рис. 3. Схема расположения горелок в промежутке между пакетами садки

роком интервале изменения тепловой нагрузки (не ниже 1 : 5), а также при резкой смене нагрузки. Они просты в управлении, надежны как при ручном управлении, так и при автоматическом. Для работы в автоматическом режиме и при низких температурах нагрева горелки комплектуются электродами розжига и контроля наличия пламени. Длина горелок определяется толщиной футеровки, они устанавливаются в обойме, легко демонтируются. На печах с рабочей температурой выше 1200 °С горелки устанавливаются со специальным защитным огнеупорным стаканом. Для ЗАО «Теплохиммонтаж» горелки ГНБ-80 были изготовлены научно-производственной фирмой Института газа НАН Украины — НПФ «Ингаз». Огнеупорные защитные стаканы ЗАО «Теплохиммонтаж» изготовило самостоятельно из



Рис. 4. Расположение горелок ГНБ-80 и блоков управления ТК1301.03 на боковой стене печи

муллитокремнеземистых материалов. Форма и проходные сечения туннеля разработаны и рассчитаны в Институте газа НАН Украины.

Горелки на печи установлены в два уровня в промежутках между пакетами садки соседних вагонеток (рис. 3). Ширина промежутка составляет 300 мм. Шаг между парами горелок 1100 мм вместо прежнего шага 550 мм. Шаг между осями верхних и нижних горелок 390 мм. Всего на печи установлено 10 горелок (5 пар) на пяти позициях зоны обжига в промежутках между пакетами садки. Часть горелок укомплектована электродами розжига и контроля пламени («два в одном») фирмы «Kromschroder», Гер-

Сравнительные показатели работы печи до (А) и после реконструкции (Б)

Параметр	Значение параметра работы печи	
	А	Б
Длина, м:		
печи	24,2	24,2
зоны обжига	4,95	4,40
Вместимость вагонетки (вариант: размеры кирпича 230 × 114 × 65 мм), шт. на 1 вагонетку	120	150
Производительность печи, шт./сут:		
при 8 проталкиваниях вагонетки в сутки	960	1200
при 12 проталкиваниях вагонетки в сутки	—	1800
Число горелок	20	10
Тип горелки	1ГТП-25-15-0,5	ГНБ-80
Мощность горелки, кВт	100	80
Давление, кПа:		
газа (номинальное)	12,0	22,5
воздуха	6,0	4,0
Коэффициент рабочего регулирования	4,0	4,5
Содержание СО, %, не более	0,0500	0,0001
Содержание NO _x , мг/м ³ , не более	124	124
Температура обжига (макс.), °С	1550	1550
Неравномерность нагрева по боковым поверхностям садки, °С	5–20	Отсутствует
Количество необожженных изделий по низу пакета садки, %	До 10	0

мания, и блоком управления ТК1301.03 — контроллером автоматического розжига и контроля пламени горелок ГНБ-80 (фирмы «Таск», Украина), обеспечивающим надежное переключение электрода из состояния «Розжиг» в состояние «Контроль пламени» (рис. 4). Задача этих горелок состоит в выводе печи на температуру выше 800 °С при каждом новом пуске. Контроллер работает как при ручном управлении печью, так и в системе АСУ. Программа его работы отображена в циклограмме. Период задержки подачи газа после включения кнопки «Пуск» на блоке управления 15 с, время ожидания сигнала о наличии пламени 3 с. С помощью контроллеров АСУ можно регулировать текущую температуру нагрева по позициям печи с точностью до ± 3 °С. Все горелки имеют защитные огнеупорные стаканы, предохраняющие «носки» горелок от излучения из печи.

Библиографический список

1. **Пуговкин, А. У.** Рециркуляционные пламенные печи / А. У. Пуговкин. — Л. : Машиностроение, 1975. — 199 с.
2. **Пилипенко, Р. А.** Камерные термические печи прецизионного нагрева металла / Р. А. Пилипенко // Сборник докладов второго Международного симпозиума «Оборудование и технологии термической обработки металлов и сплавов в машиностроении». — Харьков : Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт», 2001. — С. 20–24.
3. **Еринов, А. Е.** Расчет параметров нагревательного устройства с рециркуляцией продуктов горения / А. Е. Еринов, Р. А. Пилипенко // Сборник материалов научно-технической конференции «Использование природного» газа в промышленности». — Киев : Наукова думка, 1969. — С. 47–53.
4. **Пилипенко, Р. А.** Разработка, исследование и применение скоростных горелок типа ГН / Р. А. Пилипенко, А. Е. Еринов // Теория и практика сжигания газа, выпуск VII. — Л. : Недра, 1981. — С. 226–231.
5. **Пат. 22209А Украина, МКИ⁶ F 23 D 14/12; F 23 D 14/26.** Газовый пальник / Пилипенко Р. А., Еринов А. Е., Сорока В. О., Сезоненко Б. Д., Петишкин С. О. ; опубл. 1998, Бюл. № 3. ■

Получено 07.10.13

© Р. А. Пилипенко, А. В. Пилипенко,
Д. М. Логвиненко, Ф. Г. Таукчи, А. И. Новиков,
В. М. Зубашенко, Д. А. Тимошенко, 2014 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

МЕЖДУНАРОДНАЯ XXII НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

«ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ПРОЦЕССОВ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ, РАЗДЕЛЕНИЯ, СМЕШЕНИЯ И УПЛОТНЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ»

18–23 августа 2014 г.

п. Затока (г. Одесса), Украина

ТЕМАТИКА КОНФЕРЕНЦИИ:

- Теория и практика процессов грубого, среднего и тонкого измельчения руд, порошков и других материалов, смешения и разделения дисперсных систем, паст и суспензий, уплотнения материалов различного назначения, их математическое моделирование.
- Механохимия, золь-гель процесс, синтез наночастиц и наноматериалов, результаты теоретических и экспериментальных исследований.
- Новые конструкции машин и технологии процессов измельчения, разделения, смешения и уплотнения материалов, новые методы их исследования.
- Физико-механические и физико-химические аспекты вышеперечисленных процессов в разных производствах, в том числе в технологии тугоплавких неметаллических и силикатных материалов, вяжущих и строительных материалов, биокерамики и биостекла.
- Прикладные аспекты решения экономических и экологических задач при реализации процессов измельчения и разделения горных пород и техногенного сырья, уплотнения силикатных и тугоплавких неметаллических материалов, история керамики.

E-mail: sgd@kpi.kharkov.ua, korogodskaya@yandex.ru, sgd.ceram@mail.ru
<http://users.kpi.kharkov.ua/keramika/conference.html>

