

References

1. Pugovkin A.U. Recirculation fiery furnaces. Leningrad : Mashinostroyeniye Publ., 1975, 199 p.
2. Pylypenko R.A. Chamber heat thermal furnaces for precision metal heating. *Collection of Reports of the Second International Symposium «Equipment and technology for thermal processing of metals and alloys in machine building»*. Kharkov : National Science Center «Kharkov Institute of Physics and Technology», 2001, pp. 20–24.
3. Pylypenko R.A. The intensification of the heat chamber furnaces heated with natural gas. *The collection of scientific papers «Metallurgical Heat Engineering»*, 2002, Iss. 3, pp. 99–107.
4. Yerinov A.E., Pylypenko R.A. Calculation of the specifications of heating device with recirculation of combustion products. *Proceedings of the Scientific and Technical Conference «The use of natural gas in the industry»*. Kiev : Naukova Dumka Publ., 1969, pp. 47–53.
5. Pylypenko R.A., Yerinov A.E. Development, research and application of high-speed burners of GN type. *The Theory and Practice of Gas Flaring*, 1981, Iss. 7, 344 p.
6. Pat. 22209A Ukr., МПК⁶ F 23 D 14/12; F 23 D 14/26. Gas burner. R.A.Pylypenko, A.E.Yerinov, V.O. Soroka, B.D.Sezonenko, S.O.Pyetyshkin. — Publ. 30.06.98, Bul. № 3.
7. Pat. 81322 Ukr., МПК⁸ F 23 D 14/12. Gas Burner. R.A.Pylypenko, O.V.Pylypenko, D.M.Logvinenko. — Publ. 25.12.07, Bul. № 21.
8. Pylypenko R.A., Pylypenko O.V., Logvinenko D.M. Improving the efficiency of tunnel kilns for firing bricks. *Energotekhnologii i Resursosberezhennia [Energy Technologies and Resource Saving]*, 2010, (2), pp. 23–26.
9. Torchinskiy A.I., Lyashko A.Yu., Kryachok Yu.N., Torchinskiy D.A. The Experience of Development of Speed Gas-Burning Devices of GS Series on Tunnel Kiln for Ceramic Brick Roasting of JSC «Ceramics» (Vitebsk city). *Energotekhnologii i Resursosberezhennia [Energy Technologies and Resource Saving]*, 2012, (1), pp. 67–71.

Received July 22, 2013

УДК 662.99:621.78

Олабин В.М., канд. техн. наук, Максимук А.Б.

Институт газу НАН України, Київ

вул. Дегтярівська, 39, 03113 Київ, Україна, e-mail: olabin@ukr.net

Определение области устойчивой работы многосопловых погружных горелок

Многосопловые погружные горелки предназначены для сжигания газа внутри расплава. Для защиты от воздействия высоких температур камера горения имеет водяное охлаждение. Чтобы снизить теплотери с водой, нужно минимизировать геометрические размеры горелки. Минимизация размеров горелки, в первую очередь щелевой камеры горения, осуществляется исходя из критерия максимально допустимой тепловой нагрузки. В результате анализа экспериментальных данных, полученных при исследовании огневых и гидравлических моделей многосопловых погружных горелок, разработана методика определения области устойчивой работы горелок в расплаве. Основным критерием, определяющим максимальную тепловую нагрузку многосопловых погружных горелок, является предельно допустимая удельная нагрузка стабилизационной зоны камеры горения. Описана методика определения количества горючей смеси, поступающей в стабилизационную зону. Получены зависимости, позволяющие рассчитывать максимальную нагрузку на горелку. Приведена зависимость глубины вытеснения расплава из камеры горения от расхода горючей смеси, поступающей на горелку. Приведены практические рекомендации для выбора геометрических размеров камеры стабилизации горелок многосопловых погружных горелок. *Библ. 6, рис. 5.*

Ключові слова: погружная горелка, расплав, стабилизация горения, область устойчивой работы.

Многосопловые погружные горелки (МПГ) предназначены для сжигания газообразного топлива внутри расплава и барботирования его высокотемпературными газами, образовавшимися в процессе горения. Такими горелками оборудованы плавильные печи, которые применяются для производства строительных материалов из промышленных отходов и горных пород, а также для обезвреживания вредных отходов. Горелки МПГ представляют отдельный относительно новый класс горелок, в задачи которых входит обеспечение рассредоточенного ввода газозоудной горючей смеси в расплав и своевременное устойчивое ее зажигание.

В работе [1] обоснована необходимость стабилизации пламени у места ввода горючей смеси в расплав для устойчивого сжигания газа. Был выбран способ стабилизации пламени с помощью рециркуляционных зон, создаваемых встречными струями.

Конструктивные особенности этих горелок определены теми условиями работы, в которых должна выполняться поставленная задача. Все модификации МПГ имеют щелевую камеру горения, разделенную на рабочие и холостые участки. На боковых стенках рабочих участков камеры горения расположены сопловые отверстия, соединяющие ее с распределительными каналами газа и воздуха или их смеси [2]. Аэродинамика газовых потоков в щелевой камере горения представляет пример истечения встречных струй в полуограниченное пространство. При встрече струй часть общего потока газов поворачивает в тупиковый участок, где образует рециркуляционную зону, которая и служит стабилизатором пламени. Горелки монтируются в днище плавильной камеры печи выходом горящих газов из камеры горения вертикально вверх (рис.1). Камера горения и верхняя часть корпуса имеют водяное охлаждение. Чтобы снизить теплотери через стенки камеры горения и исключить заливание ее расплавом, необходимо минимизировать геометрические размеры водоохлаждаемых элементов горелки. Для минимизации размеров горелки, в первую очередь щелевой камеры горения, нужно знать ее максимально допустимую тепловую нагрузку.

В работе [3] на специально оборудованном стенде испытывались огневые модели горелки с различными размерами и конфигурацией камеры горения, а также различными диаметрами и количеством сопловых отверстий. Определялась область устойчивого горения в зависимости от состава горючей смеси и величины нагрузки на объем камеры. Было установлено, что максимальная удельная нагрузка в основ-

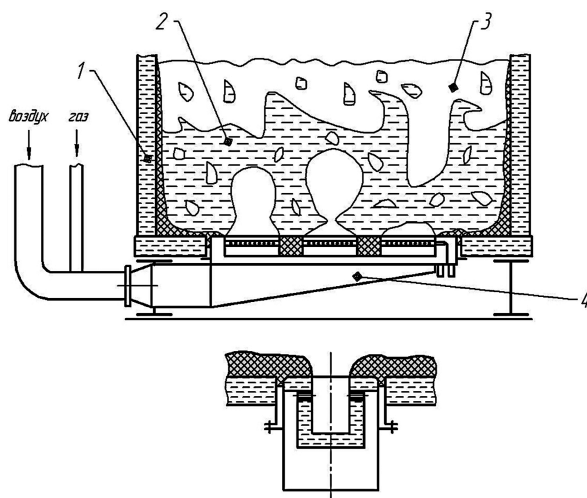


Рис.1. Схема монтажа погружной горелки в подине плавильной печи: 1 — корпус печи водоохлаждаемый; 2 — расплав; 3 — газовое пространство печи; 4 — многосопловая горелка.

ном определяется величиной объема и соотношением размеров тупиковой части камеры, названной стабилизационной зоной. Для футерованной камеры горения при использовании предварительно подготовленной холодной газозоудной смеси с $\alpha = 1$ максимально допустимая тепловая нагрузка стабилизационной зоны описывается следующим выражением:

$$\begin{aligned} (V_{\text{см.з.ст}}/V_{\text{з.ст}})_{\text{max}} &= \\ &= 2930 (170 + 0,11 w_{\text{см}}), \end{aligned} \quad (1)$$

где $V_{\text{см.з.ст}}$ — расход горючей смеси через зону стабилизации, $\text{м}^3/\text{ч}$; $V_{\text{з.ст}}$ — объем зоны стабилизации, м^3 ; $w_{\text{см}}$ — скорость истечения смеси через сопла при рабочих условиях, $\text{м}/\text{с}$.

В последующем выражение (1) было скорректировано с учетом того, что в применяемой в настоящее время конструкции горелки водоохлаждаемая камера горения не имеет футеровки и используется частично подготовленная горючая смесь (окончательное смешение осуществляется в камере горения). Также было учтено влияние подогрева воздуха на допустимую нагрузку. Скорректированное выражение имеет такой вид:

$$\begin{aligned} (V_{\text{см.з.ст}}/V_{\text{з.ст}})_{\text{max}} &= \\ &= 2930 (146 + 0,11 w_{\text{см}}) (T_{\text{см}}/T_0)^{0,33}, \end{aligned} \quad (2)$$

где $T_{\text{см}}$ — температура горючей смеси, K ; T_0 — стандартная температура, $T_0 = 293 \text{ K}$.

Для практического применения выражения (1) или (2) нужно знать количество горючей смеси, поступающей в стабилизационную зону из общего потока смеси, подаваемого в горелку:

$$V_{\text{см.з.ст}} = n V_{\text{см}}, \quad (3)$$

где $V_{\text{см}}$ — общий расход горючей смеси на горелку, м³/ч; n — доля смеси, поступающей в стабилизационную зону.

Распределение газовых потоков в камере горения изучалось на гидравлической модели горелки, описанной в работе [4]. Были определены зависимости расхода моделирующей жидкости, проходящей через зону рециркуляции (стабилизационную зону), от соотношения ее геометрических размеров, диаметра отверстий и шага между ними.

При известном объеме зоны ($V_{\text{з.ст}}$) расход моделирующей жидкости ($G_{\text{ж}}$) однозначно связан со средним временем пребывания жидкости в зоне ($\tau_{\text{зн}}$) и определяется такой зависимостью:

$$\tau_{\text{зн}} = (V_{\text{з.ст.}} / G_{\text{ж}}) c_{\text{ж}}. \quad (4)$$

Был использован способ экспериментального определения времени пребывания $\tau_{\text{зн}}$, основанный на измерении нестационарного уменьшения средней концентрации примеси в зоне рециркуляции. Концентрация в зоне изменяется в зависимости от времени пребывания по закону

$$C = C_0 e^{-(\tau/\tau_{\text{зн}})}, \quad (5)$$

где C_0 — начальная концентрация; C , τ — текущие концентрации и время.

Согласно зависимости (5), при $C_0/C = e$ измеренное время τ равно времени замещения объема зоны рециркуляции $\tau_{\text{зн}}$. Расход определяется согласно зависимости (4).

Исследование проводилось на гидравлических моделях при соблюдении равенства критериев Рейнольдса горелки и модели.

Установлено, что распределение потоков в камере горения зависит, главным образом, от конфигурации зоны рециркуляции и не зависит от общего расхода жидкости. Соотношение геометрических размеров (глубины и ширины) h/b оказывает значительное влияние на величину части общего потока, проходящего через зону. На рис.2 представлена схема рабочей ячейки камеры горения, а на рис.3 — зависимость $n = f(h/b)$ при постоянных остальных геометрических параметрах полости.

Из рис.3 видно, что изменение соотношения h/b от 0 до 0,5 вызывает примерно прямо пропорциональное изменение доли общего потока жидкости, заходящего в зону рециркуляции. При дальнейшем увеличении h/b рост n замедляется, достигает максимума, а при $h/b = 0,95-1$ происходит скачкообразное уменьше-

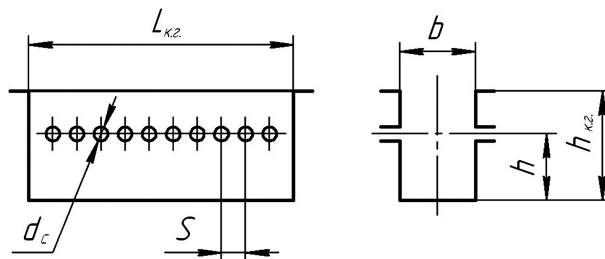


Рис.2. Схема рабочей ячейки камеры горения многосопловой горелки: $L_{\text{к.г}}$ — длина; b — ширина; $h_{\text{к.г}}$ — глубина камеры горения; h — глубина зоны стабилизации, d_c — диаметр сопла; S — шаг между соплами.

ние части общего потока модельной жидкости, проходящей через зону рециркуляции. Последующее увеличение соотношения h/b свыше 1 незначительно влияет на расход жидкости через зону рециркуляции. Характер зависимости не меняется с изменением абсолютных размеров h и b .

На рис.4 представлена зависимость $n = f(S-d_c)$, из рассмотрения которой следует, что заметное влияние промежутка $S-d_c$ между

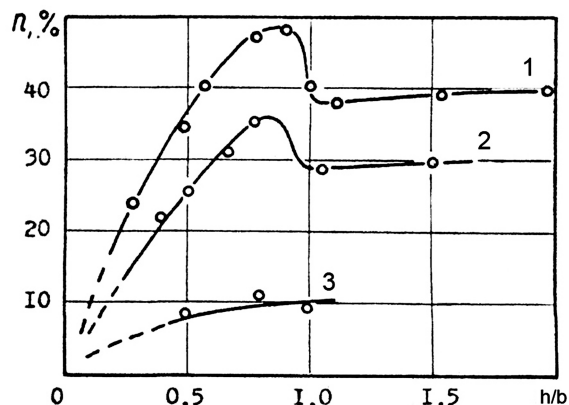


Рис.3. Зависимость доли общего потока жидкости, поступающего в зону стабилизации (n), от соотношения h/b : 1 — $S = 30$ мм; 2 — $S = 16$ мм; 3 — щель при $d_c = 8$ мм.

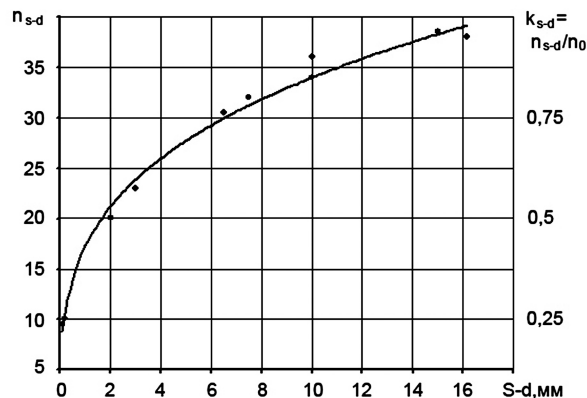


Рис.4. Зависимость (n) от величины зазора между отверстиями ($S-d$) при $d_c = 8$ мм, $b = 40$ мм, $h/b = 1,1$.

отверстиями начинает проявляться со значений менее 8 мм.

Предполагается, что изменения отдельных геометрических параметров зоны рециркуляции оказывают суммарное влияние на величину части общего расхода жидкости, проходящей через зону. Поэтому для использования графических зависимостей $n = f(h/b; S-d_c)$ при обработке результатов, полученных на огневых моделях, а также при расчете и проектировании многосопловых горелок предложена следующая методика.

В качестве базовой принята зависимость $n_0 = f(h/b)$, полученная для $S = 40$ мм и $d_c = 8$ мм, а для других значений S и d_c определяются поправка на отклонение n от базового n_0 в виде отношений:

$$k_{s-d} = n_{s-d}/n_0 = f(S-d_c). \quad (6)$$

Проверка применимости результатов, полученных на гидравлической модели, для определения расхода горючей смеси через зону рециркуляции проведена на огневой модели по методу Lefevre [5]. Получено хорошее совпадение. Так, для стабилизационной полости с параметрами $h/b = 1,45$; $S = 20$ мм; $d_c = 4$ мм доля потока, проходящего через зону рециркуляции, определенная на гидравлической модели, составляла 38 %, а определенная по методу Lefevre на огневой модели — 36–37 %.

Предложенная методика позволяет определять для многосопловых погружных горелок расход газов (жидкости), проходящих через зону рециркуляции по следующей формуле:

$$V_{см.з.ст} = n_0 k_{s-d} V_{см}. \quad (7)$$

Зная расход смеси через камеру стабилизации и пользуясь выражением (2), можно определять минимально допустимые размеры камеры горения, обеспечивающие заданную тепловую нагрузку погружной горелки.

Представим объем горючей смеси камеры стабилизации в таком виде:

$$V_{з.ст} = L_{к.г} b h, \quad (8)$$

где $L_{к.г}$ — длина рабочей части камеры горения, м; b — ширина щели, м; h — глубина зоны стабилизации, м.

Подставляя выражения (3)–(5) в выражение (2), получим:

$$V_{см} = 2930 [b h L_{к.г}/(n_0 k_{s-d})] \times \times (146 + 0,11 w_t) (T_{см}/T_0)^{0,33}, \quad (9)$$

где w_t — скорость истечения горючей смеси через сопла при рабочих условиях, м/с; $T_{см}$ — температура смеси при рабочих условиях.

Скорость истечения горючей смеси через сопла определяется из выражения:

$$w_t = [V_{см}/(3600 \Sigma f_c)] \times \times (T_{см}/T_0)(P_0/P_{з.ст}), \quad (10)$$

где Σf_c — суммарная площадь сечения сопловых отверстий, м²; $\Sigma f_c = 2(L_{к.г}/S) \cdot 0,785 d_c^2$; S — шаг между соплами, м; P_0 , $P_{з.ст}$ — давление смеси при нормальных и рабочих условиях соответственно, бар.

В результате исследования экспериментальных и промышленных образцов погружных горелок нами рекомендованы следующие значения геометрических размеров камеры горения: диаметр сопловых отверстий $d_c = 8$ –12 мм; шаг между отверстиями $S = 20$ –25 мм; ширина камеры $b = 40$ мм. Длина камеры горения и количество горелок определяются в зависимости от конструктивных и теплотехнологических характеристик плавильной печи, для которой они предназначаются, с учетом требования равномерности распределения рабочих ячеек горелок в подине ванны.

Многосопловые погружные горелки МПГ-ПЗ, разработанные для плавильных барботажных печей минераловатного производства, имеют следующие параметры камеры горения: $d_c = 0,01$ м; $S = 0,02$ м; $b = 0,04$ м; $L_{к.г} = 1,0$ м. Температура подогрева воздуха $t_b = 450$ °С, давление в камере горения, создаваемое слоем расплава, равно 15 кПа.

Подставив приведенные значения в выражение (7), получим зависимость между максимально допустимой нагрузкой горелки по горючей смеси и глубиной камеры стабилизации:

$$h_{min} = V_{см} n_0 k_{s-d}/(146 + + 0,0083 w_{см}) \cdot 0,00633, \quad (11)$$

где n_0 и k_{s-d} определяются из графиков на рис.3, 4).

Графически эта зависимость представлена кривой 1 на рис.5, по которой можно определить минимальную глубину камеры стабилизации для заданной максимальной тепловой нагрузки горелки.

Погружные горелки при работе в газовом пространстве печи имеет коэффициент регулирования по нагрузке более 10, но при работе под расплавом, глубина которого составляет около 1 м, этот коэффициент намного ниже.

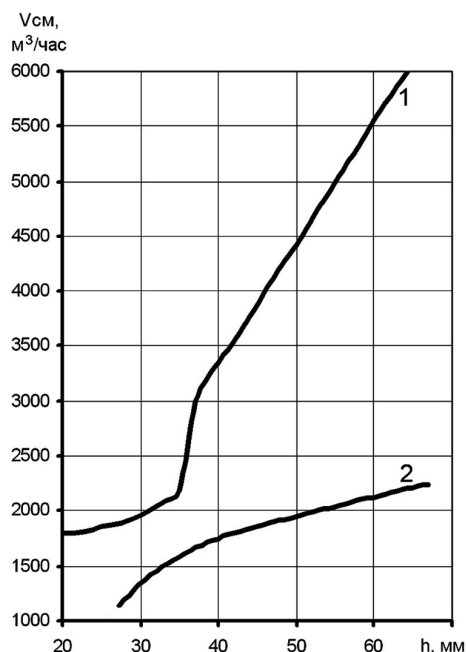


Рис.5. Зависимость диапазона устойчивой работы горелки МПГ-ПЗ от глубины стабилизационной зоны: 1 – граница максимальной нагрузки на горючей смеси; 2 – граница минимальной нагрузки ($L_{к.г} = 1$ м; $d_c = 10$ мм; $S = 20$ мм; $b = 40$ мм; $T_{см} = 450$ °С; $P_p = 0,15$ бар).

Снижение коэффициента происходит из-за того, что при уменьшении газовой нагрузки на горелку больше допустимой создаются условия для проникновения расплава в полость камеры горения.

В результате исследования гидравлической устойчивости погружной горелки в режиме барботажа [6], получена возможность определять глубину вытеснений расплава из стабилизационной камеры в зависимости от ее режимных и геометрических параметров.

Для модели горелки глубину вытеснения можно определить из формулы:

$$h = 0,4436 V_{см}^{2,08} d_c^{-1,27} b^{-0,83} N^{-0,83},$$

где N – число сопел, шт.

Пересчет на реальные условия проводится из условия равенства для модели и для промышленной горелки значения модифицированного критерия Ньютона, отражающего соотно-

шение инерционной силы газа и силы тяжести жидкости:

$$Ne = (\rho_g / \rho_{ж}) (V_g^2 d_{c2} / (g F_{к.г} h)) \equiv idem.$$

Для горелки МПГ-ПЗ эта зависимость представлена кривой 2 НА 5. Между кривой 1, ограничивающей максимально допустимую нагрузку, и кривой 2, ограничивающей минимально допустимую нагрузку, расположена область устойчивой работы погружных горелок.

Благодаря минимализации геометрических размеров теплотери через водоохлаждаемые элементы горелки МПГ-ПЗ снижены до менее 1 % ее тепловой мощности.

Описанная методика определения диапазона устойчивой работы многосопловых погружных горелок использована при расчете горелок для промышленных плавильных печей, внедренных в минераловатном производстве ОАО «Комбинат будиндустрии» (Киев) и ПАТ «Березастрой-материалы» (г. Береза, Беларусь).

Список литературы

1. Пиоро Л.С., Олабин В.М. О воспламенении горючей смеси, вдуваемой в расплав // Теория и практика сжигания газа. – 1975. – № 4. – С. 187–192.
2. Пат. 1148 Укр., МПК⁵ С 03 В 5/16. Спосіб опалення барботажних печей для одержання мінеральних розплавів та занурений пальник для його здійснення / В.М.Олабін, О.Б.Максимук, Л.С.Пиоро. – Опубл. 1993, Бюл. №3.
3. Олабин В.М. Исследование, разработка и применение горелок для сжигания газообразного топлива в расплаве : Автореф. дис. ... канд. техн. наук – Киев, 1973. – 24 с.
4. Олабин В.М. Исследование аэродинамики целевой камеры горения с двумя рядами встречно расположенных струй // Использование природного газа в промышленности. – Киев : Наук. думка, 1976. – С. 9–15.
5. Lefebvre A.H. Factors affecting mixture entrainment in bluffbody atabilized flame // Combustion and Flame. – 1966. – № 10. – S. 231–239.
6. Максимук А.Б., Олабин В.М. Экспериментальные исследования гидравлической устойчивости работы многосопловой погружной горелки в режиме барботажа // Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2012. – № 1. – С. 59–63.

Поступила в редакцию 01.07.13

Олабін В.М., канд. техн. наук, Максимук О.Б.

Інститут газу НАН України, Київ

вул. Дегтярівська, 39, 03113 Київ, Україна, e-mail: olabin@ukr.net

Визначення області стійкої роботи багатосоплових занурених пальників

Багатосоплові занурені пальники призначені для спалювання газу безпосередньо в розплаві. Для захисту від дії високих температур камера горіння має водяне охолодження. Щоб знизити втрати тепла з водою, необхідно мінімізувати геометричні розміри пальника. Мінімізація геометричних розмірів пальника, в першу чергу щільної камери горіння, здійснюється виходячи з критерію максимально допустимого теплового навантаження пальника. В результаті аналізу експериментальних даних, одержаних при дослідженні вогневих та гідравлічних моделей багатосоплових занурених пальників, розроблено методику визначення області надійної роботи пальників у розплаві. Основним критерієм, що визначає максимальне теплове навантаження багатосоплових занурених пальників, є допустиме питоме навантаження стабілізаційної зони камери горіння. Описано методику визначення кількості горючої суміші, яка поступає у стабілізаційну зону. Отримано залежності для розрахунку максимального навантаження на пальник. Наведено залежність глибини витіснення розплаву з камери горіння від кількості горючої суміші, яка поступає в пальник. Наведено практичні рекомендації щодо вибору геометричних розмірів камери стабілізації пальників багатосоплових занурених пальників. *Бібл. 6, рис. 5.*

Ключові слова: занурений пальник, розплав, стабілізація горіння, область стійкої роботи.

Olabin V.M., Candidate of Technical Science, Maksymuk O.B.

The Gas Institute of National Academy of Science of Ukraine, Kiev

39, Degtjarivska St., 03113 Kiev, Ukraine, e-mail: olabin@ukr.net

The Definition of Stable Operation Region for Multi-Nozzle Submerged Combustion Burners

Multi-nozzles submerged burners (MSB) are developed to burn off gas in melt. Water cooling is used to protect the combustion camera from action of high temperature. Heat losses should be minimized. Burner's size, slit combustion camera sizes at first, should be minimized for it. The method of determination of the stable operation in the melt of multi-nozzles submerged burners is developed according to analysis of experimental data obtained on fire and hydraulic models. The dependencies allow to calculate the maximum load which provides a displacement of the melt from the combustion chamber are received. Some practical recommendations for selecting geometric sizes of the camera stabilization of burners are represented. *Bibl. 6, Fig. 5.*

Key words: submerged combustion burner, melt, combustion stabilization, stable operation region.

References

1. Piore L.S., Olabin V.M. About ignition of combustible mixture with is blowing into melt. *Teorija i praktika szhiganiya gaza*, 1975, (4), pp. 187–192. (Rus.)
2. Pat.1148 Ukr., МПК⁵ S 03 V 5/16. The method of heating of bubbling furnaces for producing of mineral meet and submerged combustion burner. Olabin V.M., Maksymuk O.B., Piore L.S. Publ. 1993, Bul. № 3. (Ukr.)
3. Olabin V.M. Investigation, design and industrial use of burners for burn off gas fuel into melt : Avtoreferat dissertacii, Kiev, 1973, 166 p. (Rus.)
4. Olabin V.M. Investigation of gas dynamics slit burning camera with two opposite accommodate jets. *Ispol'zovanie prirodnogo gaza v promyshlennosti*. Kiev : Naukova Dumka Publ., 1976, pp. 9–15. (Rus.)
5. Lefebvre A.H. Factors affecting mixture entrainment in bluffbody atabilized flame. *Combustion and Flame*, 1966, (10), pp. 231–239.
6. Maksymuk A.B., Olabin V.M. The investigation hydraulic operation stability of multi-nozzle submerged combustion burner in bubbling regime. *Energotekhnologii i Resursosberezhenie [Energy Technologies and Resource Saving]*, 2012, (1) pp. 59–63. (Rus.)

Received July 1, 2013

УДК 666.09.4

Торчинский А.И., канд. техн. наук, Ляшко А.Ю.**Институт газа НАН Украины, Киев**

вул. Дегтярівська, 39, 03113 Київ, Україна, e-mail: tor_ingaz@mail.ru

Перевод туннельной печи для термоиспытаний стеклянных изделий с электрического обогрева на обогрев природным газом

Рассмотрены основные особенности конструкции печей для термических испытаний стеклянных изделий. Приведено технико-экономическое обоснование перевода печи с электрического нагрева изделий на нагрев природным газом. Рассмотрены две схемы установки газогорелочных устройств на печи, а также основные отличия предложенных схем работы агрегата на природном газе. Выполнены технические мероприятия для улучшения технико-экономических показателей работы рассматриваемого агрегата. Установленный комплекс оборудования предусматривает безопасную эксплуатацию и полностью автоматическое регулирование теплового процесса. Предлагаемые технические решения дают возможность улучшить равномерность термической обработки продукции. *Библ. 6, рис. 2, табл. 1.*

Ключові слова: печь, термические испытания стеклянных изделий, скоростное газогорелочное устройство серии ГС, равномерность нагрева.

Печь термических испытаний является ключевым агрегатом в технологической линии производства стеклянных изделий. В печи создаются условия, в которых тепловой удар приводит к разрушению бракованных деталей.

В современных печах этого типа используются следующие типы нагрева изделий.

1. Электрическое нагревание.

Печь термоиспытаний состоит из секций нагрева и охлаждения. В секциях нагрева устанавливаются панели с электрическими трехфа-

зовыми реостатами высокой эффективности. Нагревательные элементы обдуваются воздухом для гарантии максимального теплообмена.

2. Непрямое нагревание.

Средством нагревания являются радиационные трубы, расположенные в зонах печи, которые используются в качестве теплообменников. Они состоят из трубы, согнутой в виде буквы U, из жаропрочной стали и имеют на одном конце горелку, которая их питает, а на другом — трубу выброса дымовых газов. С по-