

Список использованных источников

1. Аронсон К.Э., Блинков С.Н., Брезгин В.И. [и др.]. Теплообменники энергетических установок: учебник для вузов. – Екатеринбург: ООО «УИПЦ», 2014. – 830 с.
2. Современный уровень и тенденции проектирования и эксплуатации подогревателей системы регенерации паровых турбин ТЭС и АЭС (учебное пособие) / Ю.М. Бродов, К.Э. Аронсон, А.Ю. Рябчиков, М.А. Ниренштейн, И.Б. Мурманский, Н.В. Желонкин. – Екатеринбург, 2019. – 207 с.
3. Повышение эффективности и надежности теплообменных аппаратов паротурбинных установок / Под общ. ред. Ю.М. Бродова. – Екатеринбург, УрФУ, 2012. – 86 с.

УДК 683.945

Д. А. Иванова, Г. М. Дружинин

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

ОБСЛЕДОВАНИЕ ПРОХОДНОЙ ПЕЧИ ДЛЯ ОБЖИГА КИРПИЧА И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ

Аннотация. Рассмотрена проходная печь №2 на кирпичном заводе «Стройпластполимер» для обжига кирпича. Проведено теплотехническое обследование печи №2 для обжига кирпича, которые выявили конструктивные недостатки печи. При проведении теплотехнических обследования проходной печи показания термопар фиксировались с помощью приборов Center309, анализ продуктов сгорания (концентрации CO и O₂) проводились прибором Testo – 330-2 через гляделки, расположенные непосредственно рядом с горелками в одной горизонтальной плоскости. Определен тепловой баланс печи №2. Разработаны рекомендации по усовершенствованию работы проходной печи для обжига кирпича. Разработаны рекомендации для усовершенствования конструкции печи №2 при ее реконструкции. Определены параметров работы печи (коэффициентов расхода воздуха α , состава продуктов горения) с целью улучшения работы печи и качество выпускаемой продукции.

Ключевые слова: проходная печь, обжиг, кирпич, тепловой баланс, туннель, туннельная печь, горение топлива

Abstract. A pass-through furnace No. 2 at the Stroyplastpolimer brick factory for brick firing is considered. A heat engineering survey of the brick kiln No. 2 was carried out, which revealed the structural shortcomings of the kiln. During the thermal inspection of the pass-through furnace, the thermocouple readings were recorded using the Center309 devices, the analysis of the combustion products (CO and O₂ concentrations) was carried out by the Testo – 330-2 device through the peepers located directly next to the burners in the same horizontal plane. The heat balance of furnace No. 2 is determined. Recommendations for improving the operation of a pass-through brick kiln have been developed. Recommendations for improving the design of furnace No. 2 during its reconstruction have been developed. The Gorenje operation parameters (air flow coefficients α , composition of

combustion products) were determined in order to improve the operation of the kiln and the quality of the products.

Key words: *pass-through furnace, firing, brick, heat balance, tunnel, tunnel furnace.*

Кирпич как самый древний строительный материал встречается практически везде, он универсален, долговечен. Для улучшения качества выпускаемого кирпича во ВНИИМТ обратился кирпичный завод «Стройпластполимер».

Обжиг – конечная и важная стадия любого керамического производства. При обжиге керамических изделий происходят сложнейшие физико-химические процессы, в результате которых керамическая масса – механическая смесь минеральных частиц – становится камнеподобным материалом – прочным, твердым, химически стойким, с присущими только ему эстетическими свойствами.

Периоды обжига:

- подъем температуры, нагревание (наиболее ответственный);
- выдержка при постоянной температуре;
- снижение температуры, охлаждение.

Физико-химические процессы, происходящие при обжиге:

Удаление свободной (гигроскопической) влаги – 100-250 °С.

После сушки изделия имеют остаточную влажность около 2-4 %, и эта влага удаляется в начальный период обжига в интервале температур 100-250 °С. Подъем температуры в этом периоде обжига следует вести осторожно со скоростью 30-50 °С в час.

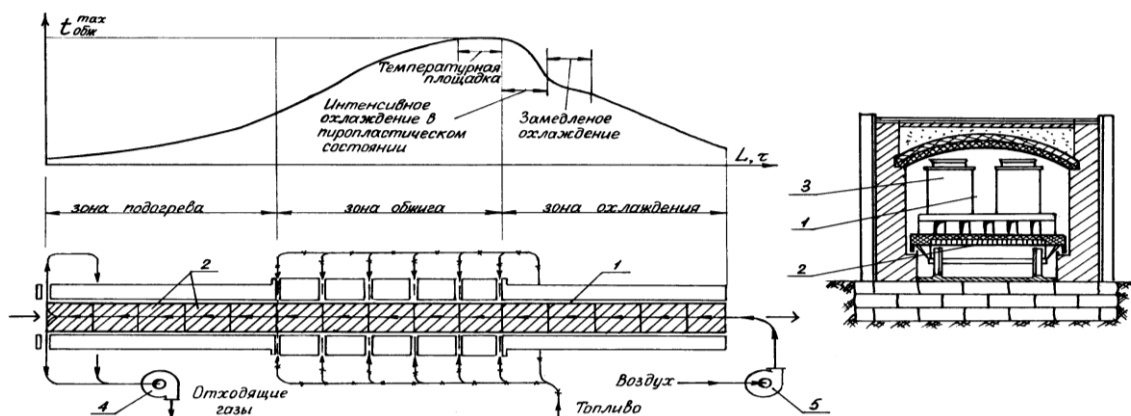
Проходные печи применяют для обжига строительных керамических изделий (кирпича, плитки, канализационных труб, сантехнических изделий и др.). Они являются наиболее совершенными по сравнению с другими видами печей, используемых для обжига данных видов изделий, т.к. значительно улучшают условия труда обслуживающего персонала и имеют более высокую производительность.

Рабочей камерой проходной печи (рис. 1) служит сквозной канал (1), заполненный вагонетками (2), на которых установлены изделия (3). В средней части печи размещена зона обжига. В ней сжигается топливо и продукты горения, проходя через зону подогрева, омывают и подогревают изделия. Отработанные дымовые газы выбрасываются в атмосферу дымососом (4). Воздух в зону охлаждения подается вентилятором (5). Охлаждая изделия, он нагревается и поступает в зону обжига, где используется для процесса горения топлива.

Параметры изучаемой проходной печи. Общая длина печи 118 м, в активной части печи помещается 37 вагонов. Ширина рабочего канала 2,9 м, высота от пода вагонетки до замка арочного свода 1,95 м.

Кирпич укладывается на вагонетки шириной 3,02 м и длиной 3 м. Емкость печной вагонетки 2850 шт. кирпича. Максимальная температура обжига кирпича 980 °С. По проекту расчетный срок обжига кирпича 32 часа при расходе условного топлива 204 кг у.т./1000 шт. Для обжига кирпича используется природный газ с теплотой сгорания $7900 \div 8000$ ккал/м³. Сжигание природного

газа в печи № 2 осуществляется с помощью горелок ГНП-3; ГНС-200 и ШДР (с широким диапазоном регулирования).



1 – сквозной канал; 2 – вагонетки; 3 – изделия; 4 – дымосос; 5 – вентилятор.

Рис. 1. Проходная печь для обжига кирпича

Обжиг кирпича производится согласно утвержденной кривой обжига. Вагонетки с кирпичом перемещаются по рельсовому пути навстречу теплоносителю. Для изоляции подвагонеточного канала печи от рабочего пространства по всей длине канала установлены песочные затворы. Цикл толкания вагонеток в печи 50 мин. Садка кирпича на обжиговые вагонетки производится двумя пакетами; расстояние между пакетами должно быть 460 мм. Расстояние от пакета до края вагонетки по ходу движения 230 мм. Горение газа осуществляется между пакетами (штабелями) садки. Печной канал изолируется от цеха тремя шторными дверями.

При рассмотрении процессов горения топлива целесообразно тепловой баланс этого процесса составлять на единицу сжигаемого топлива. Поэтому размерность слагаемых в уравнении теплового баланса будет при сжигании газообразного топлива – кДж/м³, а при сжигании жидких и твердых видов топлива – кДж/кг. Для выбранной размерности тепловой баланс процесса горения топлива обычно представляется в следующей форме:

$$B \cdot Q_H^P + Q_{\text{возд}} + Q_{\text{топ}} + Q_M = Q_2 + Q_3 + Q_5 + Q_6 \pm \Delta Q. \quad (1)$$

Приходная часть теплового баланса:

Q_H^P – тепловая энергия химического горения топлива, оцениваемую по теплоте его сгорания;

$Q_{\text{возд}}$ – тепловая энергия подогретого воздуха, обеспечивающего горение топлива. В данном расчете $Q_{\text{возд}}$ отсутствует, так как воздух не подогревается перед подачей. Естественно, чем выше температура подогрева, тем ощутимее проявляются преимущества использования подогретого воздуха;

$Q_{\text{топ}}$ – тепловая энергия подогретого топлива. В данном расчете $Q_{\text{топ}}$ отсутствует, так как топливо не подогревается перед подачей.

Приведенные слагаемые теплового баланса составляют его приходную часть.

Расходная часть теплового баланса:

Q_M – тепловая энергия, затраченная на нагрев материала;

Q_2 – тепловая энергия, сосредоточенная в продуктах горения. Величина этой энергии равна

$$Q_2 = V\alpha * c_2 * t_2,$$

где $V\alpha$ – объем продуктов горения, образующихся при сжигании единицы топлива, c_2 и t_2 – их теплоемкость и температура;

Q_3 – потери тепловой энергии от химической неполноты горения;

Q_5 – потери тепловой энергии в окружающую среду;

ΔQ – невязка баланса, которая может возникнуть при экспериментальном исследовании работающей печи или теплового агрегата.

Расход воздуха для обеспечения полного горения в теоретических ($\alpha=1,0$) и практических ($\alpha=1,2$) условиях сжигания топлива. Для этого первоначально рассчитывается

$$V^{\text{ТОП}} O_2 = 0,01(2CH_4 + 3,5C_2H_6); \quad (2)$$

$$V^{\text{ТОП}} O_2 = 0,01*(2*98,0 + 3,5*0,1) = 1,964 \text{ м}^3/\text{м}^3;$$

$$L_0 = (1+K) V^{\text{ТОП}} O_2; \quad (3)$$

$$L_0 = (1+K) V^{\text{ТОП}} O_2 = 9,353 \text{ м}^3/\text{м}^3;$$

$$L\alpha = \alpha L_0; \quad (4)$$

$$L\alpha = 1,2*9,353 = 11,224 \text{ м}^3/\text{м}^3;$$

$$B*Q_H^P = Q_M + Q_2 + Q_3 + Q_{\text{подсос}} + Q_5, \quad (5)$$

где B – расход топлива.

Определение теплоты сгорания природного газа:

$$Q_H^P = 358CH_4 + 636C_2H_6; \quad (6)$$

$$Q_H^P = 358*98 + 636*0,1 = 35148 \text{ кДж/м}^3.$$

Определение тепловой энергии на нагрев материала:

$$Q_M = P * C_k * t_k, \quad (7),$$

где P – производительность печи, C_k и t_k – теплоемкость и температура кирпича, $P=7866 \text{ кг/ч}$

$$Q_M = 7866*0,84*980 = 6475291,2 \text{ кДж/м}^3.$$

Определение тепловую энергию продуктов сгорания:

$$Q_2 = B * V\alpha * c_2 * t_2; \quad (8)$$

$$Q_2 = B * 12,22 * 1,12 * 900 = B * 12297,6 \text{ кДж/м}^3;$$

$$V\alpha = L\alpha + \Delta V; \quad (9)$$

$$V\alpha = 9,353 * 1,2 + 1 = 12,22 \text{ м}^3.$$

Определение потерь в окружающую среду:

$$Q_5 = Q_{5\text{ТТЛ}} + Q_{5\text{Т}}; \quad (10)$$

$$Q_5 = 2154,12 + 914736 = 916890,12 \text{ кДж/м}^3;$$

$$Q_{5\text{Т}} = q_{5\text{Т}} * F; \quad (11)$$

$$Q_{5\text{Т}} = 1020 * 896,8 = 914736 \text{ кДж/м}^3;$$

$$q_{5\text{Т}} = \frac{\lambda}{s} * (t_2 - t_1); \quad (12)$$

$$q_{5\text{Т}} = \frac{0,4}{0,4} * (1100 - 80) = 1020;$$

$$Q_{5\text{ТТЛ}} = (m_k * n / T) * C_k * t_k, \quad (13)$$

где n – число вагонеток в печи, T – время вагонеток в печи

$$Q_{5\text{ТТЛ}} = \frac{6,52*37}{32} * 0,84 * 340 = 2154,12 \text{ кДж/м}^3.$$

Определение потерь при подсосе воздуха:

$$Q_{\text{подсос}} = 2 * L_0 * C_{\text{пг}} * t_{\text{пг}} * B. \quad (14)$$

Определение химического недожога:

$$Q_3 = B * 0,01 * Q_{\text{H}}^{\text{P}}. \quad (15)$$

Подставим полученные уравнения в уравнение теплового баланса:

$$B * Q_{\text{H}}^{\text{P}} = Q_{\text{M}} + Q_5 + B * V \alpha * c_2 * t_2 + c * B + B * 0,01 * Q_{\text{H}}^{\text{P}}. \quad (16)$$

Выражаем расход из полученного уравнения:

$$B = \frac{Q_{\text{M}} + Q_5}{Q_{\text{H}}^{\text{P}} - V \alpha * c_2 * t_2 - V \alpha * c_2 * t_2 - 0,01 Q_{\text{H}}^{\text{P}}} = \frac{6475291,2 + 916890,12}{35148 - 12,22 * 1,12 * 900 - 2 * 9,353 * 1,1 * 980 - 0,01 * 35148} = 3194,97 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Проведенное теплотехническое обследование печи № 2 показало:

– в зоне обжига имеет место существенная неравномерность температур в поперечных сечениях, где установлены горелочные устройства и происходит сгорание топлива. Максимальная разница температур на внешней стороне садки(штабеля) составляет к концу обжига (поз. 23) до 200 °С, внутри садки – более 400 °С. Уровень температур внутри штабеля на 23 позиции (в конце зоны обжига) не превышает 800 °С. Температура обжига кирпича согласно режимной карте, должна быть не менее 950÷960 °С. При этом на внешней стороне штабеля, примерно в середине, наблюдается темное пятно, что свидетельствует о пережоге кирпича, с высокой локальной температурой в данном месте. Кроме того, температура греющих газов с внешней стороны штабеля по внешние стороне печи ниже, чем температура в аналогичных пачках с правой стороны.

– топливо (природный газ) сжигается в горелках с недостатком воздуха, средний по печи коэффициент расхода воздуха $\alpha \approx 0,75$. При этом наблюдаются случаи, когда в одном сечении с правой и левой стороны установлены горелки различных конструкций.

– в нижнем сечении печи, на уровне осей горелок греющие газы содержат значительное количество кислорода. Это объясняется подсосами воздуха из подвагонетного пространства, причем по правой стороне печи концентрация кислорода составляет от 4 до 10 % при разрежении от 15Па до 0 Па, а по левой стороне концентрация кислорода от 6 до 8 % при нулевом давлении на уровне осей горелок. Различное содержание кислорода в продуктах сгорания с левой и правой стороны печи может ещё объясняться и неравномерностью отбора горячего воздуха из зоны охлаждения на сушку кирпича – сырца.

С целью выравнивания температурного поля в объеме зоны обжига печи и достижения оптимального температурного режима рекомендуется:

– увеличить коэффициент расхода воздуха на горелки с целью повышения температуры греющих газов в нижней части зоны обжига и ликвидации локальной зоны пережога садки на уровне средней линии;

– соблюдать температурный режим обжига садки в соответствии с теоретической кривой нагрева и обжига.

В дальнейшем при реконструкции печи:

– обеспечить установку однотипных горелок в одной позиции с обеих сторон печи;

– повысить до 150÷200 мм.вод.ст. (1,5÷2 кПа) давление газа и воздуха перед горелками с целью улучшения работы системы автоматического управления тепловой мощностью и соотношением топливо-воздух.

Список использованных источников

1. Кашкаев И.С. Производство глиняного кирпича / Е.Ш. Шейкман. 3 изд. – М.: Высшая школа, 1978. – 248 с.
2. Киптенко А.К. Производство кирпича / П.Т. Мартынов, В.С. Никифоров. – М.: Государственное издательство литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1959. – 121 с.
3. Гуцин С.Н. Топливо и расчеты его горения / Л.А. Зайнуллин, М.Д. Казяев, Б.П. Юрьев, Ю.Г. Ярошенко. – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2007. – 105 с.

УДК 621.783.232:519.876.5

А. В. Ишимбаев, В. И. Матюхин

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ КАМЕРНОЙ НАГРЕВАТЕЛЬНОЙ ПЕЧИ С ИЗМЕНЯЮЩЕЙСЯ РАБОЧЕЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ

Аннотация. Задачей на построение новых и реконструкции действующих нагревательных печей является достижение высокой равномерности нагрева изделий. В настоящее время это является одним из ключевых элементов, которые требует определить заказчик в техническом задании. В работе рассматриваются методы достижения необходимых результатов и будущее исследования в данном направлении.

Ключевые слова: камерная печь, термообработка, расчет нагрева заготовок, теплопередача, моделирование процессов, автоматизация процессов.

Abstract. The task of building new and reconstructing existing heating furnaces is to achieve a high uniform heating of products. Currently, this is one of the key elements that requires identifying the customer in a technical task. The paper examines how to achieve the necessary results and the future of research in this area.

Key words: chamber furnace, heat treatment, heating calculation of blanks, heat transfer, process modeling, process automation.

При нагреве исходных заготовок нестандартной формы перед их последующей механической обработкой наиболее часто используют камерные печи с изменяющейся рабочей температурой. Несмотря на наличие обоснованной методики их теплового расчета конструирование таких агрегатов связано с присутствием некоторых неопределенностей (изменяющиеся условия теплопередачи), обусловленные специфическими свойствами нагреваемых