

Приборы и оборудование

УДК 666.3.041.55

Торчинский А.И., канд. техн. наук, **Ляшко А.Ю.**
Институт газа НАН Украины, Киев
ул. Дегтяревская, 39, 03113 Киев, Украина, e-mail: tor_ingaz@mail.ru

Оптимизация теплового и аэродинамического режимов работы туннельной печи для обжига керамического кирпича

Тепловые и аэродинамические режимы обуславливают энергетически эффективный и качественный обжиг керамического кирпича в туннельных печах, работающих на природном газе. Рассмотрены основные принципы работы туннельной печи, распределение аэродинамических потоков по длине печи и влияние аэродинамического режима на качество обжига. Выполнен анализ кривой статического давления туннельной печи. Обоснованы оптимальные аэродинамические и тепловые параметры обжига керамического кирпича. Приведена схема движения газоздушных потоков и соответствующий ей график распределения статического давления по длине рабочего канала туннельной печи. Рассмотрен способ управления объемами теплоносителя. *Библ. 6, рис. 1.*

Ключевые слова: туннельная печь, оптимальный режим обжига, аэродинамические потоки.

Туннельная печь обжига керамического кирпича, в которой в качестве топлива используется природный газ, представляет собой непрерывно действующую тепловую установку, которую можно условно разделить на две независимые в аэродинамическом плане части: 1) нагрева и обжига; 2) охлаждения. В такой печи изделия на вагонетках продвигаются внутри канала в первой части навстречу горячим газам, во второй части — навстречу холодному воздуху.

Конструктивные критерии туннельной печи обжига керамического кирпича, подбор параметров и концепция систем для реализации температурной кривой обжига, а также многообразие регулирующих устройств придают печи максимальную универсальность и широкие возможности регулировки для оптимизации результата обжига.

Оптимальный тепловой режим туннельной печи

Оптимальный режим обжига предопределяет два основных требования к зоне предварительного подогрева: удовлетворение высокой потребности в теплоте в период досушки-прогрева материала и обеспечение равномерного распределения температуры по сечению обжигового канала [1]. Для обеспечения этого осуществляют сосредоточенный отбор дымовых газов в начале печи, а форкамерой, установленной в начале канала печи, создается уравновешенный аэродинамический режим. Сосредоточенный отбор дымовых газов повышает температуру и скорость газового потока в зоне предварительного подогрева, что значительно увеличивает теплопередачу между печной средой и загружаемым материалом.

Увеличение скорости потока печных газов содействует уменьшению перепада температур по сечению печи. Наличие в канале печи форкамеры с двумя затворами позволяет отключать обжиговой канал от окружающей атмосферы при заталкивании вагонеток в печь и при проталкивании состава вагонеток в печи.

Создание уравновешенного режима между обжиговым и подвагонеточным каналами, а также надежность уплотнения стыков вагонеток позволяют полностью ликвидировать подсосы холодного воздуха в обжиговой канал печи, что исключает снижение температуры на поду вагонетки и в нижних рядах садки. Воздух в подвагонеточный канал нагнетают и отбирают из него соответственно в местах максимальных давлений, температур и разрежений в обжиговом канале печи. Вентиляция подвагонеточного канала печи значительно снижает температуру в нем.

Установка оборудования для рециркуляции в зоне предварительного подогрева обеспечивает надежное перемешивание и турбулизацию печных газов по сечению печи, что содействует выравниванию температуры по высоте печи и увеличивает конвективный теплообмен между теплоносителем и материалом.

Обязательное наличие таких установок обусловлено существенным негативным влиянием на качество обжига большого температурного перепада в зоне предварительного подогрева.

Уменьшение температурного перепада создается воздушными струями, которые препятствуют продвижению параллельных потоков теплоносителя по каналу между садкой и сводом туннельной печи. Такие струи, которые подаются со свода печи в места разрыва между пакетами изделий по ширине печи, создают циркуляцию печной атмосферы, интенсифицируют конвективный теплообмен между печными газами и нагреваемыми изделиями, а также способствуют более полному использованию теплоты рециркуляционных горячих газов внутри канала печи [2].

Для создания оптимального теплового и аэродинамического режимов в зоне обжига необходимо обеспечить следующие требования: окислительную среду в начале зоны, где избыток воздуха необходим для выгорания в сырце органических включений, а также запрессованного топлива, и нейтральную или восстановительную среду в конце зоны; выдержку изделий при высокой температуре для выравнивания ее по всей садке — сверху до низу и с периферии до центра.

Для гарантированного завершения процесса образования черепка зона выдержки должна быть удлинена. Осуществляется это за счет удлинения зоны обжига, а именно: за счет установки дополнительных горелок в зоне предварительного подогрева. Это дает возможность выполнить необходимую выдержку изделий при высоких температурах, что в результате улучшает качество изделий.

Для создания оптимального теплового режима в зоне охлаждения необходимо обеспечить следующие требования [3]:

- медленное охлаждение изделий в интервале высоких температур, когда происходит созревание черепка (от максимальной температуры обжига до примерно 800 °С), и фазовых превращений кварца (ориентировочно от 650 до 500 °С);

- быстрое охлаждение на участках, допускающих интенсивное снижение температуры (ориентировочно от 800 до 650 °С);

- отбор в сушилки максимального количества горячего воздуха, полностью обеспечивающего сушку сырца;

- стабильность аэродинамического режима при открытии выгрузочных дверей печи;

- невысокая температура в подвагонеточном канале печи, обеспечивающая нормальную эксплуатацию ходовой части вагонеток.

Эти требования осуществляются за счет увеличения количества подаваемого в зону охлаждения холодного воздуха. Так как имеются два участка, где допускается быстрое охлаждение, то на участке с интервалом температур от 500 до 0 °С холодный воздух нагнетается в печь сосредоточенно на последних позициях печи через щели в своде и боковых стенах. Здесь воздух движется в направлении, противоположном движению вагонеток. На участке с интервалом температур от 800 до 650 °С холодный воздух нагнетается в печь рассредоточено через щели в своде и в стенах. Здесь воздух движется перекрестным потоком к движущимся вагонеткам.

Горячий воздух из печи отбирают рассредоточенно по длине зоны охлаждения; таким образом можно регулировать степень нагрева воздуха, подаваемого на сушку. Сечения отверстий и места отбора воздуха подобраны с расчетом обеспечения интенсивного охлаждения в конце зоны охлаждения (интервал температур от 0 до 500 °С), а также замедленного охлаждения в начале зоны охлаждения (от температуры обжига до 800 °С) и в местах фазовых превращений кварца (интервал температур 650–500 °С). Этим обеспечивается полный отбор теплоты от

охлаждающихся изделий с последующим транспортом и подачей горячего воздуха в сушилку. Это дает возможность вести сушку сырца чистым воздухом только из печи, не прибегая к использованию дополнительного теплоносителя в виде подогретого атмосферного воздуха или продуктов сгорания.

Оптимальный аэродинамический режим туннельной печи

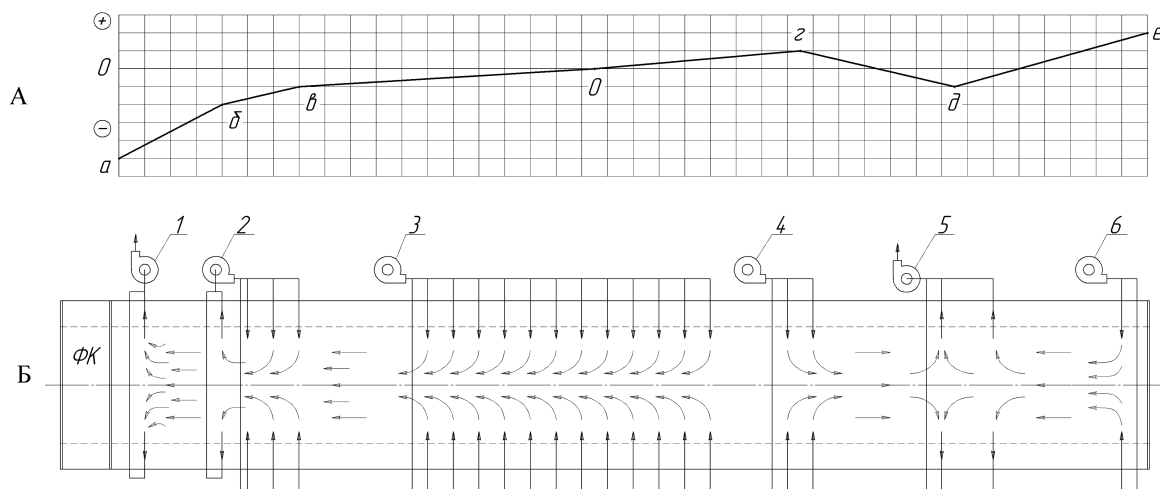
Одним из значимых параметров аэродинамики является статическое давление внутри печного канала туннельной печи. Традиционно датчики для измерения давления устанавливаются над подом печных вагонеток на расстоянии примерно 300 мм. Влияние давления на результат обжига сказывается прежде всего на позициях максимальных температур, где происходит выдержка изделий для исключения:

- а) недожога изделий — за счет снижения температуры;
- б) неравномерности цвета изделий — за счет образования окислительной среды;
- в) появления трещин в зоне охлаждения на позициях перехода черепка из «псевдооживленного» состояния в твердое и в области кварцевых превращений — за счет резкого снижения температуры.

Все это обеспечивается созданием минимального давления, которое препятствует проникновению в печь холодного воздуха через даже минимальные отверстия в кладке печи и неплотности в стыковке печных вагонеток, а также воздуха, поступающего из лабиринтного уплотнения через неплотности песочного затвора.

Как правило, давление в туннельной печи находится в пределах 0–0,2 мм вод.ст. (0–2 Па), нейтральная точка («аэродинамический ноль») локализуется относительно начала максимальной температуры обжига. При необходимости давление может быть более высоким, однако более высокое давление является причиной излишних тепловых нагрузок на конструкцию, стыковочные уплотнения и металлическую обшивку туннельной печи. При более высоком давлении наружу передается большее количество теплоты через огнеупорную часть конструкции печи во всех направлениях, также в цех поступают компоненты продуктов сгорания, включая и компоненты неполного сгорания, что небезопасно для обслуживающего персонала.

Классический аэродинамический режим туннельной печи, работающей на природном газе, характеризуется кривой статического давления, представленной на рисунке, А. Максимальное разрежение в печи находится в месте отбора дымовых газов (точка а). Затем разрежение уменьшается сначала резко (участок а-б), а затем постепенно уменьшается (участок б-в, где действует рециркуляция) по длине печного канала, переходя в нулевую точку статического давления (точка 0), которая располагается перед концом зоны обжига — начало выравнивания температуры по сечению садки. Конец зоны обжига и зона ускоренного охлаждения находятся под положительным давлением (участок 0-г); потом разрежение появляется в месте отбора горячего воздуха из зоны охлаждения (точка д). В конце туннельной печи образуется давление (точка е) за счет нагнетания холодного воздуха в зону охлаждения вентилятором



Кривая давления печи (А) и схема газоздушных потоков (Б): 1 — дымосос печи; 2 — вентилятор рециркуляции; 3 — вентилятор подачи воздуха в газогорелочные устройства; 4 — вентилятор ускоренного охлаждения; 5 — дымосос подачи горячего воздуха на сушилку; 6 — вентилятор ускоренного охлаждения; 0 — нулевая точка статического давления; ФК — форкамера.

финишного охлаждения. Для визуального определения точки статического давления/разрежения в канале туннельной печи на всех ее контрольных точках устанавливается чувствительный прибор — тягонапоромер (датчик давления/разрежения).

Установление аэродинамики действующей туннельной печи осуществляется следующим образом:

- отключаются вентиляторы зоны охлаждения (ускоренного охлаждения, отбора горячего воздуха на сушила и финишного охлаждения), а также вентиляторы подачи и отбора воздуха подвагонеточного канала;

- регулятором частоты двигателя вентилятора отбора дымовых газов, а при его отсутствии заслонкой, установленной перед ним, регулируется вытяжка из печи таким образом, чтобы нейтральная точка статического давления в канале печи находилась в начале зоны обжига, что должен показать установленный там тягонапоромер;

- включаются в работу вентиляторы подачи и отбора воздуха подвагонеточного канала, регулировкой их заслонками (или регуляторами частоты) выставляется в нем нейтральная точка статического давления по показаниям тягонапоромера;

- включаются в работу все вентиляторы зоны охлаждения, регулировкой подачи и отбора выставляют нейтральную точку статического давления в канале печи.

При периодических загрузках в печь партий изделий различной пустотности или различного формата необходимо изменять количество отбора дымовых газов так, чтобы не изменилось в канале место нейтральной точки статического давления. В современных туннельных печах последнее выполняется автоматически преимущественно при помощи изменения частоты вращения дымососа [4].

Распределение статического давления по длине туннельной печи зависит от направления и скорости потоков печных газов. Управление движением объемов печных газов и воздуха в рабочем канале печи можно осуществлять разными способами в зависимости от конкретных целей и ситуаций.

В данной статье рассматриваются туннельные печи, оснащенные двухпроводными газогорелочными устройствами [5, 6], работающими на природном газе в смеси с воздухом в качестве окислителя. Вышеупомянутые печи существенным образом отличаются от туннельных печей, в которых в качестве топлива используется уголь, так как нет необходимости подавать горячий воздух из зоны охлаждения в зону обжига

для сжигания. Более того, если в зону обжига попадает воздух из зоны охлаждения, то это ведет только к перерасходу природного газа из-за необходимости нагрева его до температуры обжига.

Аэродинамическая схема движения потоков в туннельной печи с газогорелочными устройствами, работающими на природном газе, может быть представлена на рисунке, Б.

Данная схема является для таких печей классической и сбалансированной:

- все объемы, подаваемые через горелки, и избыточный воздух (если он есть) установки рециркуляции выводится дымососом печи;

- количество воздуха, подаваемого в зону ускоренного охлаждения, а его количество незначительное по сравнению с количеством воздуха, подаваемого на финишное охлаждение, выводится отбором на сушилку совместно со значительным количеством воздуха, подаваемого сосредоточенно в зону финишного охлаждения;

- входной канал и большая часть зоны обжига находятся под разрежением, конец зоны обжига и зона охлаждения находятся под давлением.

В случае большого содержания свободного кварца в глинистом сырье длину зоны кварцевых превращений (где скорости охлаждения ограничены) делают достаточно большой в ущерб длине зоны финишного охлаждения, где скорости охлаждения не ограничены. При этом стремятся свести движение воздуха здесь к минимуму. Для этого выполняют отбор всего горячего воздуха, который подавался для ускоренного охлаждения, сразу же за зоной ускоренного охлаждения.

Отбор горячего воздуха на сушку необходимо осуществлять преимущественно сосредоточенно на максимально возможном расстоянии для того, чтобы максимально увеличить площадь теплообмена нагреваемого воздуха с охлаждаемым кирпичом. Осуществление этого процесса означает, что нагрев воздуха и охлаждение кирпича выполнены с максимальной эффективностью для данной конструкции туннельной печи.

Выводы

Соблюдая основные принципы наладки оптимальных тепловых и аэродинамических параметров, изложенных в данной статье, можно существенно снизить потребление природного газа, улучшить качество обжига выпускаемой продукции и увеличить производи-

тельность туннельной печей обжига керамического кирпича.

Список литературы

1. Торчинский А.И., Ляшко А.Ю., Сергиенко А.А. Модернизация парка туннельных печей производства керамического кирпича. 2. Совершенствование системы отопления печей // Энерготехнологии и ресурсосбережение. — 2010. — № 2. — С. 57–60.
2. Роговой М.И. Теплотехническое оборудование керамических заводов. — М. : Стройиздат, 1983. — 367 с.
3. Нохратян К.А. Сушка и обжиг в промышленности строительной керамики. — М. : Госстройиздат, 1962, — 603 с.
4. Торчинский А.И., Ляшко А.Ю., Крячок Ю.Н. Модернизация парка туннельных печей производства керамического кирпича. 3. Разработка автоматизированной системы управления и контроля // Энерготехнологии и ресурсосбережение. — 2011. — № 1. — С. 69–73.
5. Пат. 28025 Укр., МПК⁶ С 2 F 23 D 14/00. Газовая горелка / А.И.Торчинский, Г.Н.Павловский. — Оpubл. 16.10.2000, Бюл. № 5.
6. Пат. 27849 Укр., МПК⁶ С 2 F 23 D 14/00. Газовая горелка / А.И.Торчинский, Г.Н.Павловский, Ю.М.Величко. — Оpubл. 16.10.2000, Бюл. № 5.

Поступила в редакцию 14.04.16

Торчинський А.І., канд. техн. наук, Ляшко О.Ю.

Інститут газу НАН України, Київ

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

Оптимізація аеродинамічного та теплового режиму роботи тунельної печі для випалу керамічної цегли

Теплові та аеродинамічні режими зумовлюють енергетично ефективний та якісний випал керамічної цегли у тунельних печах, що працюють на природному газі. Розглянуто основні принципи роботи тунельної печі, розподіл аеродинамічних потоків по довжині печі та вплив аеродинамічного режиму на якість випалу. Виконано аналіз кривої статичного тиску тунельної печі. Обґрунтовано оптимальні аеродинамічні та теплові параметри випалу керамічної цегли. Наведено схему руху газоповітряних потоків та відповідний їй графік розподілу статичного тиску за довжиною робочого каналу тунельної печі. Розглянуто спосіб управління об'ємами теплоносія. *Бібл. 6, рис. 1.*

Ключові слова: тунельна піч, оптимальний режим випалу, аеродинамічні потоки.

Torchinskij A.I., Candidate of Technical Sciences, Ljashko A.Yu.

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

39, Degtjarivska Str., 03113 Kiev, Ukraine, e-mail: tor_ingaz@mail.ru

Optimization of Thermal and Aerodynamic Operating Mode of Tunnel Kiln for Ceramic Bricks Calcination

Based on the research of operating tunnel furnaces and their analysis there were identified bottlenecks in the calcination process of ceramic bricks in tunnel kilns and proposed optimal thermal and aerodynamic modes, which determine energy-efficient and high-quality calcination of a ceramic brick in tunnel kilns, operating on natural gas. The basic principles of operation of a tunnel kiln, the distribution of the aerodynamic flow along the length of the furnace and the influence of the aerodynamic regime on the quality of calcination have been studied. The detailed analysis of the static pressure curve of the tunnel kiln was carried out. The optimal aerodynamic and thermal characteristics of ceramic bricks calcination. The concept of an availability of the necessary equipment and its optimum location is considered. The scheme of gas-air flows motion and the corresponding graph of the distribution of static pressure along the length of the working channel of a tunnel kiln are presented. The method of controlling the volume of heat carrier is considered. *Bibl. 6, Fig.1.*

Key words: tunnel kiln, calcination optimal mode, aerodynamic streams.

References

1. Torchinskij A.I., Ljashko A.Yu., Sergienko A.A. [Tunnel furnaces stock for ceramic brick manufacture modernization. 2. The furnaces heating system development], *Energotechnologii i resursosberezhenie [Energy Technologies and Resource Saving]*, 2010, (2), pp. 57–60. (Rus.)
2. Rogovoj M.I. [Heating engineering equipment of ceramic plants], Moscow : Strojizdat, 1983, 367 p. (Rus.).
3. Nohratjan K.A. [Drying and burning in industry of building ceramics], Moscow : Gosstrojizdat, 1962, 603 p. (Rus.).
4. Torchinskij A.I., Ljashko A.Yu., Krjachok Yu.N. [Tunnel furnaces stock for ceramic brick manufacture modernization. 3. The automatic control system development], *Energotechnologii i resursosberezhenie [Energy Technologies and Resource Saving]*, 2011, (1), pp. 69–73. (Rus.)
5. Pat. 28025 UA, MPK⁶ C 2 F 23 D 14/00. Gas burner, A.I. Torchinskij, G.N. Pavlovskij. – Publ. 16.10.2000, Bul. 5. (Rus.)
6. Pat. 27849 UA, MPK⁶ C 2 F 23 D 14/00. Gas burner, A.I. Torchinskij, G.N. Pavlovskij, Yu.M. Velichko. – Publ. 16.10.2000, Bul. 5. (Rus.)

Received April 14, 2016

Передплачуйте журнал
«Енерготехнології и ресурсосбереження» (індекс 74546)
на II півріччя 2016 р. за «Каталогом видань України»

у відділеннях поштового зв'язку;

- в операційних залах поштамтів;
- в пунктах приймання передплати;
- на сайті ДП «Преса»: www.presa.ua

Нагадуємо, що в будь-який час можна здійснити передплату, скориставшись послугою «Передплата ON-LINE» за допомогою електронних версій «Каталогу видань України» та «Каталогу видань зарубіжних країн» на сайті ДП «Преса» www.presa.ua.

Оплату можна здійснити у будь-який зручний для Вас спосіб: в банку або на пошті за сформованим на сайті рахунком та за допомогою платіжних карток Visa чи MasterCard.