



Троценко Л. Н. /к. т. н./, Пикашов В. С. /к. т. н./,
Виноградова Т. В.

Институт газа НАН Украины

Повышение эффективности нагрева и обжига сыпучих материалов во вращающихся печах

Приведены результаты работ по совершенствованию нагрева шихты во вращающихся печах различного производства. Показан опыт повышения эффективности работы вращающихся печей за счет улучшения условий теплоотдачи от факела на поверхности материала и кладки. На примерах промышленных печей с различным нагреваемым материалом показана зависимость технико-экономических показателей работы печей и качества готового продукта от положения и формы факела в рабочем пространстве. Подтверждено повышение интенсивности прогрева и качества обжига пересыпающегося материала во вращающемся барабане печи при уменьшении несимметричности подвода тепла к материалу за счет увеличения теплового потока на свободную поверхность кладки. Ил. 2. Табл. 2. Библиогр.: 7 назв.

Ключевые слова: вращающаяся печь, горелка, параметры факела, регулирование, температура

The article presents the operating results of improvement of batch heating in the rotary kilns of different manufacture. The experience of increasing of rotary kilns effectiveness by improving the conditions of heat emission from the flame on the heating surface is shown. The dependence of technical and economic factors of the kilns work and the quality of the final product on the position and flame pattern in the working area on the examples of industrial kilns with various heating material is shown. The increase of warming intensity and firing efficiency of empty material in the kiln rotating drum while reducing the dissymmetry of heat input to the open material and line surfaces is confirmed.

Keywords: rotary kiln, burner, flame length, control, temperature

Одним из наиболее распространенных видов огнетехнических агрегатов, применяемых во всех основных отраслях промышленности, являются вращающиеся печи. По ориентировочным оценкам в Украине такие печи потребляют от 500 000 до 1 000 000 тыс. м³ природного газа в год. Поэтому вопросы повышения эффективности их тепловой работы для экономии топлива и улучшения качества обработки материалов являются актуальными в настоящее время.

Вопросами усовершенствования конструкции и тепловой работы вращающихся печей на протяжении многих лет занимались многие научные, проектные организации и промышленные предприятия. Известно, что на уровень производительности печи и качества обжига материалов оказывает влияние температурное распределение вдоль барабана печи. Формирование зоны максимальных температур достигается управлением подачи топлива и окислителя, регламентированным их перемешиванием, изменением тяги печи и числа оборотов барабана [1]. Повышение энергоэффективности печей достигается также за счет установки новых или усовершенствования существующих запечных теплообменников, а для управления тепловым режимом используются различные конструкции горелок с регулируемой длиной факела [2, 3]. Однако вопросы теплообмена, в зависимости от формы и положения факела, относительно нагреваемых поверхностей в рабочем пространстве вращающейся печи, освещены в литературе недостаточно.

Многие вращающиеся печи в Украине работают по классической схеме, когда топливо подается в печь одной или двумя однопроводными горелками, установленными в торце откатной головки. При использовании двух горелок обе могут устанавливаться на равноудаленном расстоянии от оси печи, т. е. имеет место сводовый и настильный факелы в соответствии с классификацией в [4]. В другом случае одна горелка устанавливается по оси барабана печи, а факел боковой горелки направляется вдоль поверхности насыпного материала, т. е. имеет место стержневой и настильный факелы по той же классификации. Воздух на горение подается отдельными потоками, сконцентрированными в центральной части рабочего пространства.

Такая система отопления рабочего пространства печей создает условия неоднородности скоростных потоков газа и воздуха по сечению барабана и их перемешивания, а значит зона горения факела не рассредоточена равномерно по профилю рабочего пространства печи и максимум температур располагается в центральной части рабочего объема либо вблизи поверхности нагреваемого материала. При расположении зон горения таким образом, что факела от одной или двух горелок приближены к поверхности слоя шихты создаются условия для несимметричного нагрева насыпной массы материала с заметным преобладанием теплоотдачи от греющих газов на поверхность материала.

Принято считать, что основная часть теплоты (70-90 %) передается излучением от факела и греющих газов непосредственно на свободную поверхность нагреваемого материала, а затем теплопроводностью вглубь материала. И только 10-30 % теплоты от факела и греющих газов в барабане печи аккумулируется футеровкой со стороны открытой поверхности, не занятой шихтой, а затем передается нагреваемому материалу при контакте с ним [2]. Т. е. теплоотдача от кладки на материал минимальна. Поэтому часто наблюдаются такие явления, когда при полной прокалке кусков крупной фракции, скапливающихся у свободной поверхности шихты, остаются плохо обожженными кусочки мелкой фракции, просыпающиеся внутрь слоя и сосредоточенные у поверхности футеровки.

Такое явление наблюдалось при обжиге известняка на одном из металлургических заводов Украины. В пробах готовой извести все крупные куски размером 30-50 мм имели однородные цвет и структуру по всему объему, т. е. были полностью обожжены. У большинства кусочков мелкой фракции размерами менее 10-15 мм сердцевина почти наполовину была серая, то есть недостаточно прокаленная. Поэтому с точки зрения улучшения прогрева слоя шихты за счет уменьшения несимметричности подвода теплоты к ней представляется перспективным увеличение доли теплоты, аккумулированного футеровкой и переданного внутренним слоям шихты.

Этого можно достигнуть за счет увеличения угла раскрытия, т. е. ширины факела и равномерного заполнения светящимися и излучающими газами всего свободного пространства по сечению барабана, т. е. создания условий равномерно-распределенной теплоотдачи [4], а в некоторых случаях поворотом горелки в сторону футеровки.

Так, на вращающейся печи для обжига каолина на шамот во время ее реконструкции была установлена горелка с регулируемой длиной факела ПГ-35М конструкции Института газа НАН Украины [5].

Эта горелка позволяла управлять смешением природного газа и воздуха за счет перемещения газового клапана с боковыми отверстиями, в результате которого природный газ истек сплошной струей по оси печи или отдельными струями под углом к потоку первичного воздуха. В отличие от некоторых известных подобных горелок [1-4] в ней был использован стабилизатор в виде плохо обтекаемого тела. Большое количество (56) струй газа, истекающих из конусного наконечника газового клапана под углом к потоку первичного воздуха в кольцевом зазоре горелки, обеспечивало хорошее перемешивание с воздухом. Но при этом энергия этих струй была невелика (в связи с малым диаметром отверстий), что обеспечивало регулировку длины факела без заметного изменения угла его раскрытия. Поэтому при осевой направленности горелки на выходе из печи получался шамотный порошок 2 и 3 сорта. Добиться улучшения качества шамотного порошка (1 сорта) без ухудшения таких показателей, как производительность печи и удельный расход топлива, смогли только после поворота горелки в сторону свободной поверхности футеровки примерно на 5°. Применение новой системы отопления позволило достигнуть следующих результатов по сравнению с показателями работы печи до реконструкции:

- снижен коэффициент расхода воздуха за счет улучшения сжигания топлива;
- уменьшена температура уходящих из рабочего пространства продуктов сгорания за счет интенсификации теплоотдачи со стороны греющих газов;
- улучшены экологические показатели;
- увеличен коэффициент использования топлива;
- получена экономия топлива около 30 % при работе печи без простоев.

Показатели работы печи до и после реконструкции представлены в табл. 1.

Таблица 1. Показатели работы вращающейся печи для обжига шамотной глины до и после реконструкции

№	Параметры	Размерность	До реконструкции	После реконструкции
1	Производительность печи	т/ч	19-23	18-23
2	Давление природного газа перед горелками	кПа (кгс/см ²)	80 (0,8)	80 (0,8)
3	Расход природного газа	м ³ /ч	3100	2200
4	Давление первичного воздуха	кгс/м ²	200-220	200-220
5	Расход первичного воздуха	м ³ /ч	9000-11000	6000-8000
6	Температура в горячей головке печи	°С	660-750	760-860
7	Температура в пылевой камере	°С	420-550	330-360
8	Температура перед электрофильтрами	°С	250-280	180-190
9	Температура перед дымососом	°С	100-150	80-90
10	Разрежение в горячей головке печи	кгс/м ²	1,0-2,0	1,0-2,0
11	Разрежение в пылевой камере	кгс/м ²	5,0-7,0	3,0-4,0
12	Разрежение перед дымососом	кгс/м ²	120-150	80-100

При модернизации системы отопления известеобжиговых вращающихся печей в дополнение к имеющемуся опыту необходимо было учитывать не только неоднородность прогрева слоя шихты, но и низкую теплопроводность и теплоемкость известняка и извести [6]. Поэтому важно было обеспечить не только максимально возможную длину высокотемпературной зоны, но и равномерное распределение греющих газовых потоков в поперечном сечении барабана для достаточного прогрева свободной части футеровки без ухудшения условий подвода тепла к свободной поверхности шихты. Эта задача усложняется в том случае, когда весь воздух на горение поступает из холодильника печи. В этом случае организация подачи воздуха снизу через горловину холодильника или через рукава в торце откатной головки формирует отдельные неравномерно сконцентрированные вокруг горелки потоки, в результате чего процесс перемещения топлива с окислителем затягивается.

Для управления процессами горения и формирования заданных характеристик факела в Институте газа НАН Украины были разработаны и установлены на двух известеобжиговых печах одного из металлургических комбинатов Украины горелки модели ГУРФ-30 двух модификаций (с отдельным и встроенным запальником) и сменными газовыми соплами для подбора оптимальных длины и угла раскрытия факела. В конструкцию горелки также был заложен известный принцип распределения топлива между центральным отверстием и боковыми отверстиями без использования подвижных частей, что значительно упростило конструкцию горелки и снизило ее вес [7]. Максимальный угол раскрытия факела в этих горелках составляет 60-80°. Уровень установки и наклон горелки относительно оси барабана изменялся с помощью специального механизма продольного перемещения и поворота.

Распределение температур по наружной поверхности брони барабана до и после переоснащения системы отопления двух печей, измеренные с помощью бесконтактного пирометра, приведены на рис. 1 и 2.

Из графика на рис. 1 видно, что пик температуры, 380-390 °С, а значит, максимум тепловыделения, до реконструкции одной из печей находился на расстоянии примерно 14 м от среза барабана (в районе второй опоры), а в загруженном конце барабана температура составляла 170-180 °С.

После установки новой горелки максимум температуры и теплоотдачи в рабочем пространстве барабана начинался на расстоянии примерно 15-20 м от его среза при общей длине высокотемпературной зоны около 40 м. Затем температура резко снижалась, составляя на выходе из барабана 90-140 °С. Контрольные взвешивания готовой извести из печи соответство-

вали производительности 14,5, 15,6 и 16,5 т/ч (до реконструкции 14,5 т/ч). При этом качество извести отвечало стандартам комбината. Удельный расход топлива в это время снизился с 257,4 кг у.т./т. до 242,0, 224,8 и 212,6 кг у.т./т. в период проведения замеров.

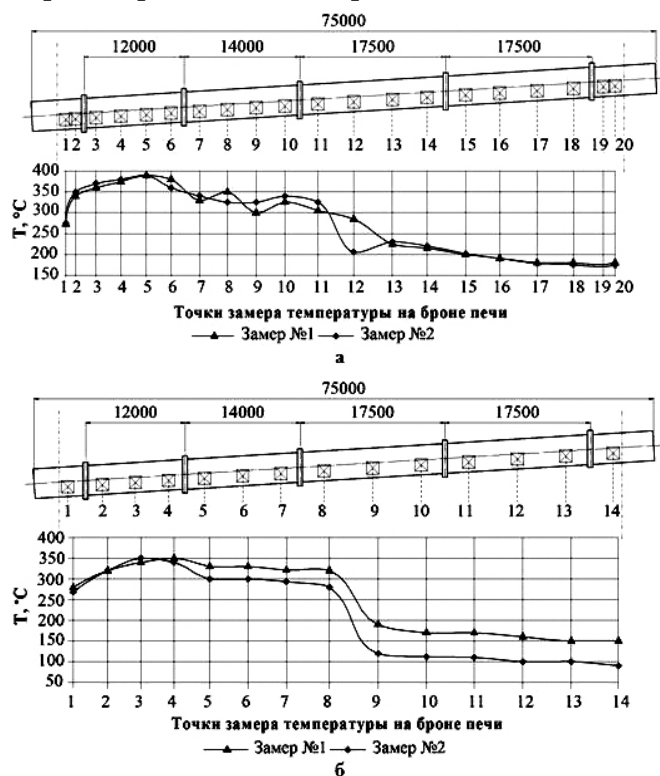


Рис. 1. Температура брони барабана печи до (а) и после (б) реконструкции. Серия испытаний № 1

После установки новой горелки экономия топлива на этой печи составила в среднем 5 %, а средний достигнутый уровень качества извести из печи соответствовал: $CaO + MgO = 95,78$, потери при прокаливании равны 1,74.

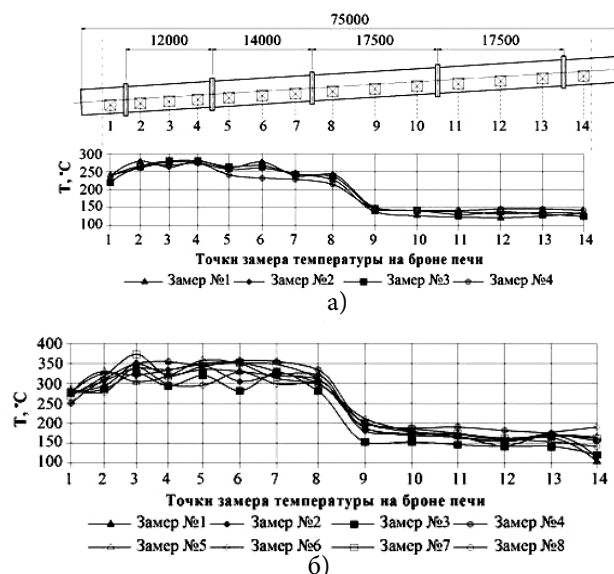


Рис. 2. Температура брони барабана печи до (а) и после (б) реконструкции. Серия испытаний № 2

Из рисунка 2 видно, что после установки новой горелки на другой печи повысились и уровень температуры в зоне обжига на 50-80 °С,

что свидетельствует о повышении температуры внутренней поверхности футеровки барабана в зоне обжига, а значит, увеличении теплового потока со стороны кладки. Поэтому, учитывая то, что температура в загрузочном конце барабана до и после реконструкции была одинакова, можно сделать вывод об увеличении доли теплоты, подведенной со стороны кладки, и в целом повышении интенсивности теплоотдачи на шихту от греющих газов и поверхности футеровки.

В табл. 2 представлены показатели работы печи во время испытаний на этой печи до и после реконструкции.

Таблица 2. Показатели работы вращающейся барабанной печи для обжига извести до и после реконструкции. Серия испытаний № 2

Показатели	При работе на старых горелках	После установки горелки ГУРФ-30М
Расход природного газа, м ³ /час (по прибору), с долей дебаланса.	3242	3238
Расход воздуха, м ³ /час	37883	30899*
Температура в загрузочной головке, град С	960	945
Температура подогрева известняка, град С	621	693
Производительность, т/час, средняя по цеху	15,82	16,83
Качество извести, ппп, %	3,06	2,02
Экономия природного газа, м ³ /т (расчет)		12,4

Экономия природного газа составила 6,1 %.

Таким образом, за счет регулирования длины и формы факела удалось обеспечить оптимальное распределение температур по длине и сечению барабана в соответствии с потребностями технологии обжига известняка и увеличить теплоотдачу на материал по всей протяженности печи. При регулировании угла раскрытия факела и равномерного заполнения греющими газами всего свободного пространства зоны обжига в поперечном сечении барабана создаются условия для интенсификации теплоотдачи не только на поверхность материала, но и на кладку, которая играет большую роль в нагреве внутренних слоев насыпного материала. Это позволило уменьшить несимметричность подвода тепла к материалу, улучшить условия прокалики мелкой фракции и повысить качество готовой извести.

Выводы

Управление параметрами факела во вращающихся печах позволяет получить следующие результаты:

1. Установление равномерного распределения температуры в высокотемпературной зоне печи более, чем на половине длины барабана (длина зоны обжига может составлять 40-45м).

2. Снижение температуры на внешней поверхности брони барабана у загрузочного его

конца, что говорит об интенсификации теплоотдачи непосредственно от факела на материал и косвенно через кладку на материал, а, значит, и повышении КПД печи.

3. Стабильную работу печей с минимальным коэффициентом расхода воздуха.

4. Интенсификацию нагрева свободной части футеровки барабана печи, что обеспечивает двухсторонний нагрев материала и улучшает прогрев мелкой фракции.

5. На вращающихся печах различного назначения, оснащенных горелками с регулируемыми параметрами факела, показана возможность экономии топлива от 5 до 30 %, повышения производительности печи при сохранении или улучшении качества готовой продукции.

Библиографический список

1. Монастырев А. В. Производство извести. – М.: «Высшая школа», 1971 г. – 138 с.

2. Детков С. П., Еринов А. Е.. Тепловые процессы в печных агрегатах алюминиевой промышленности. – Киев: Наукова думка, 1987 г. – 270 с.

3. Монастырев А. В., Александров А. В.. Печи для производства извести. Справочник. – М.: Металлургия, 1979 г. – 230 с.

4. Лисиенко В. Г., Щелоков Я. М., Ладыгичев М. Г. Вращающиеся печи: теплотехника, управление и экология // Справочное издание в 2-х книгах. – М.: Теплотехник, 2004 г.

5. Пикашов В. С., Троценко Л. Н., Виноградова Т. В. Совершенствование системы отопления вращающейся печи для обжига огнеупорной глины // Труды XVI Международной конференции «Теплотехника и энергетика в металлургии» – НМетАУ, г. Днепропетровск, Украина – 4-6 октября 2011 г. – С. 168-169.

6. Казанцев Е. И. Промышленные печи. Справочное руководство для расчетов и проектирования. – М.: Металлургия, 1975 г. – 367 с.

7. Регулирование параметров факела как средство экономии топлива при обжиге извести / Э. О. Цкитишвили, Л. Н. Троценко, В. С. Пикашов и др. // Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2013. – № 1. – С. 57- 64.

Поступила 01.08.2014

