

ПРИНЦИПЫ РАЦИОНАЛЬНОГО СЖИГАНИЯ ТОПЛИВА В ЦЕМЕНТНЫХ ВРАЩАЮЩИХСЯ ПЕЧАХ

alexxy@mail.ru

Коновалов В.М., канд. тех. наук, доц.,
Новоселов А.Г., канд. тех. наук, ст. преподаватель,
Литовченко А.В., мл. науч. сотрудник,
Гончаров А.А., мл. науч. сотрудник
*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Аннотация. В статье рассмотрено влияние КПД клинкерного холодильника на режим горения топлива и формирование различной формы и структуры факела. Показано влияние на физико-химические процессы, протекающие во вращающейся печи, при изменении режима горения топлива. Хорошая работа клинкерного холодильника способствует обеспечению оптимального режима обжига клинкера без нарушений технологического процесса и экономии удельного расхода топлива за счет снижения потерь тепла. Разработанная на кафедре ТЦКМ газовая инжекционно-диффузионная горелка позволяет в широком диапазоне изменять параметры факела и режим обжига клинкера. Горелки данного типа установлены и опробованы на различных цементных предприятиях.

Ключевые слова: КПД холодильника, форма факела, режим горения топлива, инжекционно-диффузионная горелка, экономия топлива.

Значительное внимание в вопросе экономии топлива уделяется интенсификации теплообмена в печи между материалом и газовым потоком. Многолетний опыт работы кафедры ТЦКМ подтвердил на практике важность экономии тепла в горячей части печи [1-3].

Рассматривая эксергию теплового потока продуктов сгорания ($E_{п.с.}$), полученных при сжигании 1кг топлива можно записать:

$$E_{п.с.} = H_t \cdot \left(1 - \frac{T_0}{T_t}\right),$$

где: $H_t = Q_n^p \cdot \eta_t + Q_v + Q_r$ – теоретическая энтальпия, кДж/кг;

$T_t = \left(\frac{H_t}{\sum V_i \cdot c_{п.с.i}}\right) + 273$ – теоретическая температура горения, К; T_0 – температура окружающей среды или температура продуктов сгорания в

выбранном сечении вращающейся печи; η_T – КПД топки; Q_B и Q_T – теплоты вносимые в топку воздухом и топливом соответственно, кДж/кг.

Из приведенных формул видно, что с увеличением подогрева воздуха и топлива и уменьшения объема продуктов сгорания при снижении коэффициента избытка воздуха α , работоспособность теплового потока увеличивается, так как при этом увеличиваются H_T и T_T . Мероприятия увеличивающие $E_{п.с.}$ будут способствовать (при прочих равных условиях) уменьшению эксергетической потери при передаче теплоты от продуктов сгорания к нагреваемому телу. Таким образом, следует значительное внимание уделять не только снижению теплопотерь при рекуперации тепла от клинкера, но и стремиться к получению максимально возможной температуры в зоне горения топлива, что может быть достигнуто совершенствованием горелочных устройств и эффективными параметрами работы обжигового агрегата.

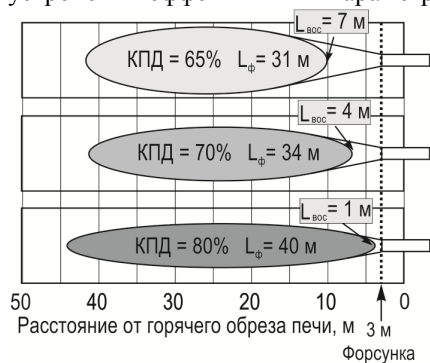


Рисунок 1 – Влияние КПД холодильника на изменение формы факела

Уменьшение потерь тепла с клинкером и увеличение энтальпии вторичного воздуха определяется работой клинкерного холодильника. Важнейшим показателем эффективности работы холодильника является его тепловой КПД. Только при достижении КПД клинкерного холодильника не менее 0,8 обеспечивается экономичная работа печей мокрого способа производства. Хотя потери

тепла, связанные с охлаждением клинкера, составляют около 5 % от общего расхода тепла, экономия по данной статье теплового баланса имеет первостепенное значение. Сущность такой высокой эффективности экономии тепла при охлаждении клинкера заключается в том, что часть теплоты топлива заменяется теплотой горячего вторичного воздуха. При этом снижаются объем и скорость топочных газов, и значительно повышается теплообмен в печи. На практике это приводит к уменьшению температуры отходящих газов, улучшению условий образования обмазки в зоне спекания и снижению температуры корпуса печи, а, следовательно, снижению теплопотерь в окружающую среду.

Низкий КПД холодильника приводит к формированию короткого теплонапряженного факела повышенной температуры. Точка воспламенения такого факела $L_{\text{вос}}$ значительно удаляется от форсунки вращающейся печи. Повышение КПД холодильника и, следовательно, температуры и энтальпии вторичного воздуха способствует более раннему воспламенению топлива и увеличению длины факела $L_{\text{ф}}$ (рис. 1).

Чем ниже КПД, тем понадобится больше времени на нагрев холодного вторичного воздуха для воспламенения, поэтому факел отдалится от форсунки. При этом происходит интенсивное перемешивание топлива с воздухом до его воспламенения. Интенсивность горения топлива в этом случае возрастает, что приводит к сокращению зоны горения топлива и снижению длины факела.

Изменение режима горения топлива с формированием факела различной структуры под влиянием работы клинкерного холодильника влияет на физико-химические процессы, протекающие во вращающейся печи.

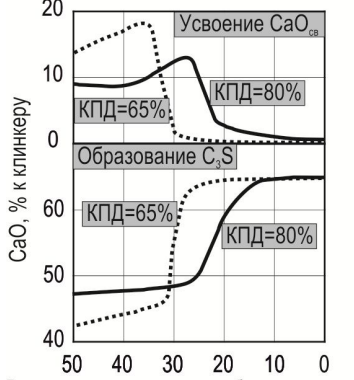


Рисунок 2 – Влияние КПД холодильника на образование C_3S и усвоение $CaO_{\text{св}}$

С учетом того, что при низком КПД холодильника происходит удаление факела от форсунки, то смещается и положение зоны спекания к холодному обрезу печи. Смещение может доходить до 15% длины печи, т.е. для печи 5×185 м эта величина составляет около 25...30 м. В результате этого на эту же величину сокращается длина подготовительных зон, в первую очередь, зоны декарбонизации. Об этом свидетельствует наличие повышенного содержания свободного оксида кальция непосредственно перед зоной спекания (рис. 2). Это связано с тем, что

при неудовлетворительной работе клинкерного холодильника и формировании короткого факела не полностью происходит усвоение оксида кальция в клинкерные минералы перед появлением жидкой фазы и образованием алита, из-за позднего разложения $CaCO_3$. В итоге количество $CaO_{\text{св}}$ увеличивается до 18...19%. Отсутствие смещения зоны спекания обусловлено хорошей работой клинкерного холодильника и высокой энтальпией вторичного воздуха. В результате происходит своевре-

менная декарбонизация CaCO_3 и количество $\text{CaO}_{\text{св}}$ не превышает 12...14% перед появлением жидкой фазы и началом образования алита.

Неудовлетворительная работа колосникового холодильника приводит к тому, что C_3S почти полностью образуется на коротком участке печи, ~ 10 м, от 32 до 22 м от горячего обреза (см. рис. 2). Это связано с высокой температурой в данной части вращающейся печи, которая обусловлена коротким факелом. Рациональная работа колосникового холодильника обеспечивает более продолжительное образование алита на участке печи длиной ~ 17 м, от 28 до 11 м от горячего обреза. При низком КПД холодильника после полного формирования алитовой фазы, клинкер продолжает находиться в зоне высоких температур, до зоны охлаждения, на протяжении 12 м, от 22 до 10 м. В свою очередь, при высоком КПД холодильника участок печи, на котором готовый клинкер находится под действием высоких температур, сокращается вдвое. Длительная выдержка клинкера в высокотемпературной зоне вращающейся печи приводит к перекристаллизации клинкерных минералов, разрушению ранее сформированных гранул и образованию клинкерной пыли, а также образованию материальных колец в начале конце зоны спекания.

Положение зоны спекания определяется по максимальной температуре корпуса печи (рис. 3). Низкий КПД холодильника приводит к тому, что максимальная температура корпуса печи составляет около 400°C и концентрируется на расстоянии 22 ± 2 м от горячего обреза печи.

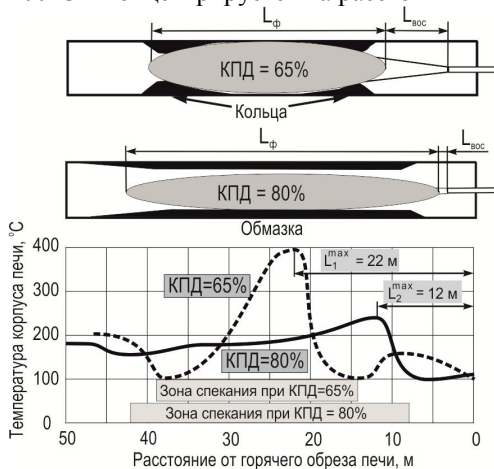


Рисунок 3 – Изменение положения зоны спекания и максимальной температуры корпуса печи в зависимости от КПД холодильника

Оптимальным режимом обжига является такой режим, при котором температурный максимум корпуса печи располагается на удалении $L_{\text{max}} = 12 \pm 1$ м от горячего обреза печи. При этом температура корпуса не превышает 250°C . В этих условиях создается устойчивая обмазка на огнеупоре по длине всей зоны спекания, в результате чего в несколько раз увеличивается срок службы футеровки и

снижаются теплопотери через корпус. При этом уменьшаются теплопотери в холодильнике вследствие формирования оптимальных размеров клинкерных гранул размером 15...20 мм, и в целом снижается удельный расход условного топлива на 15...20% (табл. 1).

Таблица 1 – Показатели работы печи при изменении КПД холодильника

Наименование параметров	Значения	
	КПД холодильника, %	65
Удаление t^{\max} от горячего обреза (L^{\max}), м	22±2	12±1
Максимальная температура корпуса печи, °С	400	220
Гранулометрия клинкера	пылевидная	оптимальная
Потери тепла, кДж/кг клинкера, в том числе:	1250	750
– холодильником	450	150
– в окружающую среду корпусом печи	800	600
Удельный расход условного топлива, кг/т кл	230	190

Таким образом, для обеспечения оптимального режима обжига клинкера без нарушений технологического процесса необходимо обеспечить эффективную работу клинкерного холодильника с высоким коэффициентом полезного действия, обеспечив, тем самым, рациональное положение зоны спекания, когда максимальная температура корпуса печи не превышает 250°С и расположена на 12±1 м от горячего обреза печи.

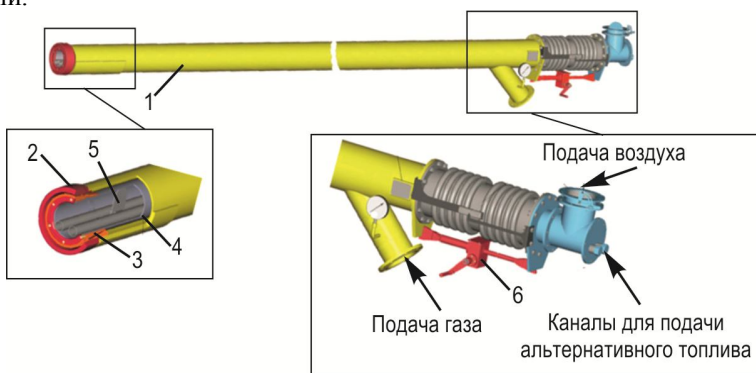


Рисунок 4 – Горелка инжекционно-диффузионная
 1-корпус; 2-сопло; 3-дроссель-завихритель; 4-центральная труба;
 5-завихряющая лопатка; 6-приводной механизм

При выборе режима сжигания топлива следует также учитывать особенности конструкции горелочных устройств. Несмотря на многообразие конструкций газовых горелок, в России нашли

распространение диффузионные с суживающимся соплом с различного типа завихрителями. Однако возможности интенсификации сжигания топлива в горелках с суживающимся соплом, в том числе за счет уменьшения их диаметра ограничены. Это объясняется тем, что горение протекает на поверхности факела, а внутри образуется инертный объем.

В настоящее время на кафедре ТЦКМ разработаны и опробованы на ОАО «Мордовцемент», ОАО «Щуровский цемент», «Карадах цемент» газовые горелки типа ГИД (инжекционно-диффузионная горелка), обеспечивающие эффективный теплообмен в пламенном пространстве с высоким тепловым напряжением объема факела (рис. 4) [4]. Отличительной особенностью модификаций этих горелок является наличие центрального канала, по которому инжектируется первичный воздух за счет разрежения создаваемого газовым потоком за плохо обтекаемым телом, роль которого выполняет дроссель, выполненный в форме обратного конуса. Горелка имеет широкий диапазон регулирования и обладает высокой устойчивостью зажигания, обеспечивая воспламенение топлива вблизи устья горелки при возможно большей скорости газа. Последнее обеспечивается за счет применения в конструкции сопла соотношения площадей по степени расширения характерных для сопел Лаваля. Наличие свободного центрального канала делает возможным сжигать в печи другие виды топлива. В настоящее время ведется работа по оптимизации конструкции дросселя для совместного сжигания газа и различных видов твердого и жидкого топлива в определенном их сочетании, что представляет весьма сложную задачу с учетом различных температур воспламенения, калорийности и скорости горения составляющих комбинированного топлива.

Выводы

1. Низкий КПД холодильника приводит к формированию короткого удаленного факела, смещению зоны спекания к холодному обрезу печи и изменению режима обжига клинкера. Происходит смещение физико-химических процессов, протекающих во вращающейся печи, к холодному обрезу.

2. Повышение КПД холодильника способствует предотвращению нарушений технологического процесса обжига клинкера, снижению удельного расхода топлива и теплотеря корпусом печи и холодильником. При этом максимальная температура корпуса печи, по которой определяется положение зоны спекания, располагается на удалении 12 ± 1 м от горячего обреза печи.

3. Разработанная на кафедре ТЦКМ газовая инжекционно-диффузионная горелка обеспечивает эффективный теплообмен в пла-

менном пространстве с высоким тепловым напряжением объема факела и позволяет в широком диапазоне изменять параметры факела, регулируя режим обжига клинкера. Горелки данного типа установлены и опробованы на цементных предприятиях: ОАО «Мордовцемент», ОАО «Щуровский цемент», «Карадах цемент» и др.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Белгородской области в рамках проекта №14-41-08031 «р_офи_м», с использованием оборудования ЦВТ БГТУ им. В.Г. Шухова.

Список литературы:

1. Классен В.К. Технология и оптимизация производства цемента. Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. 308 с.
2. Трубаев П.А., Перескок С.А., Хутяев Ю.К. Интенсификация теплообмена в колосниковом клинкерном холодильнике // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2005. №10. С. 294-299.
3. Новоселов А.Г., Классен В.К. Исследование процесса тепломассообмена в колосниковом холодильнике // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2008. №2. С. 60-63.
4. Коновалов В.М., Литовченко А.В. Интенсификация теплообмена в цементных вращающихся печах // ИнформЦемент. 2011. №2 (32). С. 75-77.