

ОСНОВЫ СЖИГАНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ТЕХНОГЕННОГО ТОПЛИВА ВО ВРАЩАЮЩИХСЯ ПЕЧАХ ЦЕМЕНТНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

o.s.mandrikova@mail.ru

Борисов И.Н., д-р техн. наук, проф.,

Мандрикова О.С., канд. техн. наук,

Мишин Д.А., канд. техн. наук, доц.

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Аннотация. Разработаны принципы утилизации горючих отходов в цементных вращающихся печах при их введении в сырьевую смесь с целью снижения части основного технологического топлива и утилизации техногенных материалов. Представлены рекомендации по управлению вращающейся печью в условиях сжигания горючих отходов. Показано, что на бесперебойную работу печи при использовании горючих отходов, главным образом, оказывает влияние их содержание в сырьевой смеси и количество кислорода, необходимое для выгорания горючей составляющей. Определена возможность использования серосодержащих отходов без нарушения режима работы печного агрегата.

Ключевые слова: альтернативное топливо, горючие отходы, утилизация, управление печью, серосодержащие отходы.

Цементная промышленность является одним из энергоемких видов отраслей. Доля основного технологического топлива, необходимого для получения цемента, в себестоимости продукции составляет более 30%. Подавляющее количество цементных заводов России в качестве основного технологического топлива для получения портландцементного клинкера используют газообразное топливо, цена которого постоянно возрастает как на внешнем, так и на внутреннем рынке. В таких условиях заводам все проблематичнее становится оставаться конкурентоспособными на рынке, и их целью является снижение издержек на топливо [1-3].

С другой стороны, в РФ накоплено значительное количество бытовых и промышленных отходов, включающих горючую составляющую (твердые бытовые отходы, отходы угольной

промышленности, деревообрабатывающей, целлюлозно-бумажной, масла, покрышки, высокосернистый нефтяной кокс и др.). Отходы занимают значительные земельные площади, некоторые из которых опасны с экологической точки зрения. Только угледобывающие и углеиспользующие предприятия выбрасывают в отвалы до 2 млрд. куб. м различных вскрышных пород, хвостов углеобогащения, шахтных пород, зол и шлаков тепловых электростанций[4].

Известно немалое количество горючих отходов, обладающих достаточной теплотворной способностью для замены ими части природного технологического топлива (табл. 1).

Отходы, содержащие горючие составляющие, могут применяться как в качестве части основного топлива, так и в качестве выгорающей добавки, вводимой в сырьевую смесь. Химический состав отходов угледобычи и углеобогащения позволяет считать, что эти материалы могут использоваться как один из компонентов сырьевой шихты и в ряде случаев заменить частично или полностью алюмосиликатные, кремнеземистые и железистые составляющие. Однако, вопрос об использовании горючих отходов, как добавки в сырьевую смесь, связан с некоторыми трудностями и требует учитывать ряд параметров, причем применительно к используемому способу производства.

Таблица 1 – Теплотворная способность некоторых видов топлива и компонентов ТБО

Наименование	Q_n^p, ккал/кг
Метан	8500
Нефтяной кокс	7900
Покрышки, резина	7645
Текстиль	6500
Древесина (10% влажн)	6000
Бумага	3900
Угольный шлам	3300
ТБО (усреднен)	2200

В ходе работы устанавливались принципы утилизации горючих отходов, принципы управления печью при их использовании с целью получения качественного клинкера при одновременном снижении расхода основного технологического топлива.

Горючие отходы могут успешно применяться как в качестве части основного топлива, так и в качестве выгорающей добавки, вводимой в сырьевую смесь. Однако, если при их использовании в качестве

альтернативного топлива особых проблем не возникает, то при рассмотрении возможности использования горючих отходов в качестве выгорающей добавки необходимо обеспечивать полное сгорание горючей составляющей, для чего необходима определенная температура и теплообмен в факельном пространстве при вынужденном значительном избытке воздуха. Кроме того, следует учитывать предельно возможную концентрацию выгорающей добавки в зависимости от технологических параметров работы вращающейся печи.

На рис. 1 приведены результаты дифференциально-термического анализа кокса, которые свидетельствуют о том, что выход легколетучих практически начинается со 100-150°C и наиболее интенсивно протекает в интервале температур 250–600°C. Возможность воспламенения и выгорания легколетучей составляющей при 150°C подтверждается исследованиями [5, 6].

При рассмотрении возможности полного выгорания летучих, выделяющихся в интервале 100-350°C, следует отметить, что высокая скорость горения топлива обычно наступает выше 700°C. Ниже этой температуры в промышленных топках, как правило, наблюдается недожог топлива [4].

В цементных агрегатах сухого способа, где теплообмен осуществляется в пылегазовой среде и, следовательно, температуры газа и материала практически совпадают, есть большая вероятность, что попавшие в низкотемпературную среду летучие топлива не успеют сгореть за несколько секунд в верхнем циклонном теплообменнике. В печах же мокрого способа производства совершенно другие условия – газовая фаза отделена от материала, и теплообмен происходит через поверхность слоя. При этом температура газового потока намного выше температуры материала. Экспериментально-расчетные значения этих величин свидетельствуют, что температура газа в низкотемпературной области по крайней мере на 750°C выше температуры материала (рис. 2), поэтому возгоняемые из материала летучие при 100-400°C попадают в газовую среду с температурой 850-1150°C, где произойдет их быстрое

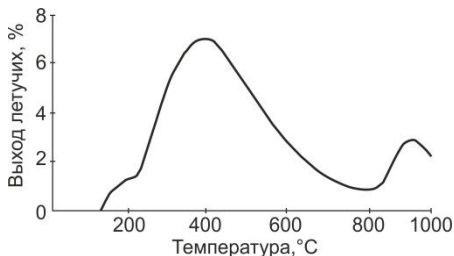


Рисунок 1 – Интенсивность выхода летучих из вторичного топлива в зависимости от температуры

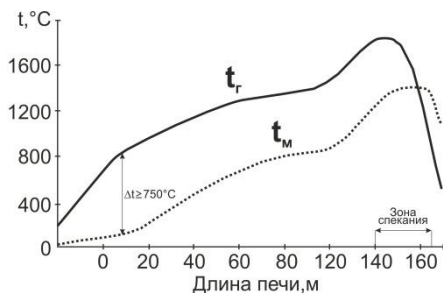


Рисунок 2 – Экспериментально-расчетные значения температуры газового потока t_g и материала t_m по длине печи $4,5/5 \times 170$ м

достаточного количества кислорода в холодной части печи для окисления введенного в шлам топлива. Выгорающие добавки, введенные в шлам, попадая в печь, начинают окисляться при определенных температурах. Причем температуры окисления будут зависеть от концентрации кислорода. Уменьшение концентрации кислорода в отходящих газах приводит к смещению температуры, при которой начинается интенсивное окисление добавки, в сторону пониженных температур. Так, например, согласно ДТА сырьевой смеси содержащей горючие отходы, с уменьшением концентрации кислорода в атмосфере печи от 20 до 4% приводит к увеличению температуры интенсивного окисления добавки на $\approx 47^\circ\text{C}$. Таким образом, можно говорить о том, что выгорания добавки в печи будет начинаться, когда материал достигнет температуры более 565°C . Как правило, нагрев материала в печи мокрого способа производства до такой температуры, происходит уже за цепной завесой. Выгорания летучих не происходит при отсутствии кислорода в печи (рис. 3).

Так как при вводе горючих отходов в сырьевую смесь часть топлива сжигается с холодного конца печи в результате перераспределения топлива, с горячего обреза подается топлива меньше на эквивалентную величину замещения. Поэтому топливо в горячей части печи

полное сгорание.

Таким образом, температурные условия во вращающейся печи мокрого способа позволяют обеспечить выгорание горючей добавки материала даже, если выход летучих из материала происходит при 100°C .

Следующим необходимым условием использования кокса в качестве выгорающей добавки является наличие

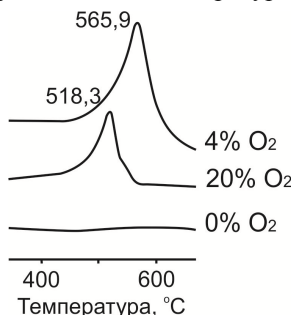


Рисунок 3 – Влияние концентрации O_2 на температуру выгорания горючих отходов в сухом шламе (концентрация кокса 1,5%). Нагрев в атмосфере Ar- O_2

сгорает в условиях повышенного коэффициента избытка воздуха (α), что приводит к снижению температуры факела и, следовательно, снижению теплообмена в зоне спекания. При запредельно высоком α температура продуктов горения может оказаться заниженной настолько, что не обеспечит разогрев материала до температуры спекания клинкера – 1450°C.

Однако, следует отметить, что температура горения топлива зависит не только от коэффициента избытка воздуха – α , но и от температуры вторичного воздуха, которая определяется эффективностью работы холодильника, то есть зависит от теплотерь с клинкером – $q_{кл}$.

Комплекс теплотехнических расчетов был сделан для условий, когда тепловой КПД холодильника изменялся от 0,5 до 1, то есть при изменении $q_{кл}$ от 0 до 800 кДж/кг клинкера. Результаты расчетов температуры факела и удельного теплообмена в зоне спекания свидетельствуют, что достаточно резко эти величины снижаются при вводе в сырьевую смесь более 3% выгорающей добавки и увеличения $q_{кл}$ > 400 кДж/кг клинкера.

Кроме того, как уже говорилось ранее, для использования горючих отходов в качестве выгорающей добавки следует также определять необходимую величину удельного теплообмена в зоне спекания, достаточную для получения клинкера.

Величина теплопередачи от газового потока к материалу должна быть не ниже $\approx 80 \text{ кВт/м}^2$, что можно обеспечить при вводе выгорающей добавки в количестве 3,15% (точка А, рис. 4). При этом $t_f = 1660^\circ\text{C}$ и $\alpha = 1,42$. Следовательно, максимальная концентрация горючей составляющей в шламе, при которой возможно получить клинкер, может достигать 3%.

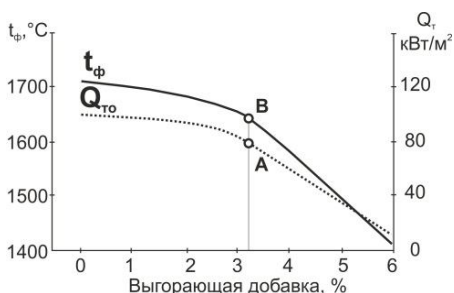


Рисунок 4 – Изменение температуры факела и теплообмена в зоне спекания в зависимости от концентрации выгорающей добавки

Проблематичным при использовании горючих отходов является возможное повышенное содержание в них SO_3 . Исходя из этого, наиболее эффективным является использование серосодержащих горючих отходов в качестве выгорающей добавки на заводах,

использующих высокощелочное сырье, что позволяет нейтрализовать негативное воздействие щелочей на процесс обжига клинкера и качество готового продукта. Так как щелочи в первую очередь реагирует с SO_3 с образованием устойчивых сульфатов калия и натрия или смешанных щелочно-сульфатных фаз, ввод серы с горючими отходами в сырьевую шихту может существенно уменьшить отрицательное влияние щелочей. Повышенное количество SO_4^{2-} одновременно катализирует процесс связывания CaO и ослабляет тормозящее действие на него ионов Na^+ и K^+ [7].

Однако при использовании серосодержащих горючих отходов в качестве выгорающей добавки возникает опасность возгонки образующихся щелочных сульфатов, являющихся летучими компонентами, что существенно усложняет процесс обжига клинкера образованием наростов и кольцообразованием в зоне цепной завесы в печах мокрого способа и настывлей в печах сухого способа производства. Для печей как мокрого, так и сухого способов производства существует возможность решения данной проблемы поддержанием окислительной атмосферы в печи, при которой возгонка щелочных сульфатов минимальна (рис. 5). Так как в печах сухого способа невозможно полностью исключить возгонку, в них необходимо применение байпаса для вывода из системы части щелочесодержащих и сульфатсодержащих отходящих газов. Также обязателен контроль содержащегося в сырьевой смеси количества SO_3 , возгонка которого оказывает непосредственное влияние на возможность настывлеобразования (рис. 6) [8].

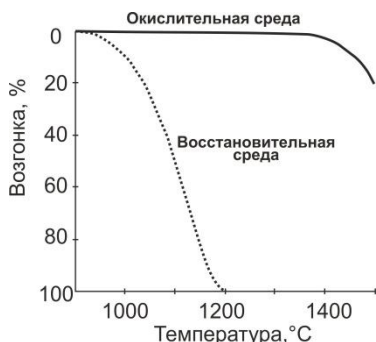


Рисунок 5 – Интенсивность возгонки глазерита – $\text{K}_3\text{Na}(\text{SO}_4)_2$ в различных газовых средах



Рисунок 6 – Зависимость возможности образования настывлей от содержания SO_3 в материале

Таким образом, количество возможно вносимой горючими отходами серы для заводов, работающих по мокрому способу производства, будет определяться содержанием щелочей в сырьевой шихте, а для заводов сухого способа – использованием системы байпасирования.

Таким образом, в ходе работы разработаны основы использования отходов, содержащих горючие составляющие, в цементных вращающихся печах. Показаны принципы управления печью при введении горючих отходов в сырьевую смесь в целях их утилизации и снижения расхода основного топлива: максимальное количество ввода горючих отходов в сырьевую смесь, что зависит от КПД холодильника и не должно превышать 3-3,5%; поддержание необходимой концентрации кислорода в печи для полного выгорания летучих из горючих отходов; обеспечение бесперебойной работы печи в условиях повышенного коэффициента избытка воздуха. Показана возможность использования серосодержащих горючих отходов путем связывания серы с щелочными оксидами и вывода щелочных сульфатов с клинкером, что уменьшает кольцеобразование в печи. Установлена возможность управления печью в условиях циркуляции солей щелочных металлов.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Белгородской области в рамках проекта №14-41-08025 «р_о_ф_и_м» и Программы стратегического развития БГТУ им. В.Г. Шухова, с использованием оборудования ЦВТ БГТУ им. В.Г. Шухова.

Список литературы:

1. Энерго- и ресурсосбережение при использовании техногенных материалов в технологии цемента / В.К. Классен, И.А.Шилова, Е.В. Текучева, Степанов В.В. // Строительные материалы. 2007. №8. С. 18-19.
2. Производство цемента на основе техногенных материалов Белгородской области / В.К. Классен, Е.П.Долгова, И.А. Морозова, В.М. Долгов / Научные технологии и инновации (XXI научные чтения): сб. докладов Юбилейной Междунар. науч.- практ. конф., Белгород: Изд-во БГТУ, 2014. Ч. 1. С. 112-117.
3. Борисов И.Н. Особенности процессов минералообразования при обжиге цементного клинкера с использованием медеплавильного шлака / Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2008. № 2. С. 11-13.
4. Классен В.К., Борисов И.Н., Мануйлов В.Е. Техногенные материалы в производстве цемента. Белгород, 2008. 125 с.

5. Кнорре Г.Ф. Топочные процессы. М.: Госэнергоиздат, 1959. 395 с.
6. VehP. O. Vom Wessender Kohlenstaubflamme / Radex-Rundschau. 1951. Vol. 4.
7. Осокин А.П., Кривобородов Ю.Р., Потапова Е.Н. Модифицированный поргландцемент. М: Стройиздат, 1993. 328 с.
8. Tokheim L.-A, Dr.-Ing. Kiln system modification for increased utilization of alternative fuels as Norcem Brevik / Cement international. 2006. №4. Vol. 4. С. 52-59.