

## ТРУБЧАТАЯ ВРАЩАЮЩАЯСЯ ПЕЧЬ ДЛЯ ОБЖИГА КАОЛИНОВ КАК ОБЪЕКТ УПРАВЛЕНИЯ

**Шкабура М.В., студ.; Хорхордин А.В., проф., к.т.н., доц.**

*(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)*

### **Введение.**

Обжиг высокоглиноземистого сырья в трубчатых вращающихся печах является одной из основных операций технологии производства муллитокорундовых огнеупорных изделий, в значительной степени определяющей ее технико-экономические показатели. Поэтому усовершенствование работы этих печей в направлении стабилизации качества продукта, снижения удельных потерь тепла, продления кампании печи имеет важное практическое значение. Наиболее эффективно эти вопросы могут решаться на базе расширения теоретических и экспериментальных исследований всего комплекса механических, аэродинамических и тепломассообменных процессов, имеющих место во вращающихся печах при обжиге высокоглиноземистого материала на шамот [1, 2].

### **Краткое описание технологического процесса.**

Трубчатая вращающаяся печь предназначена для обжига высокоглиноземистого сырья на муллитокорундовый шамот. Рассматриваемая печь типична для огнеупорного производства: производительность по шамоту марки ШМК составляет 160-240 т/сутки, длина 75 м, частота вращения 1,5-3,6 мин<sup>-1</sup> при расходе природного газа 2000-2800 кг/час. Наружный диаметр печи – 3,66 м, внутренний – 3,2 м, уклон – 3°.

Для обеспечения заданного режима горения печь оснащена веерной газовой горелкой ГВВ конструкции ВостИО, вентилятором вторичного воздуха производительностью 10-50 тыс. м<sup>3</sup>/час, дымососом производительностью 20-60 тыс. м<sup>3</sup>/час.

В качестве исходного материала для производства муллитокорундового шамота служат брикеты прессвальцев 1,2 и 3, а также шамот марки ШКМК, представляющие собой засыпку с размером кусков от 3-20 мм (с учетом поправки на неправильность формы). Массовая доля пылевидных частиц с размерами менее 0,5 мм до 15 %. Количество загружаемого брикета определяется производительностью прессвальцев и составляет 5-10 т/ч, подшихтовка ШКМК ведется при его наличии на складе в объеме до 15 т/ч.

Зона сушки. В этой зоне осуществляется процесс сушки материала. Ее длина определяется сечениями 0 – 21±2 м. Для улучшения процессов массо- и теплообмена эта зона оснащена лопатками шириной 300 мм, служащими для пересыпания материала. Зона сушки состоит из трех участков: загрузочного, разгрузочного и досушки.

Зона нагрева материала определяется сечениями 21±2 ÷ 30±2 м; здесь материал нагревается до температуры, которая соответствует началу процесса дегидратации каолинита (650 °С). Массообмена между фазами в этой зоне не происходит.

Зона дегидратации определяется сечениями 30±2 м ÷ 45±2 м. Температура материала в начале и середине этой зоны очень мало возрастает, т.к. почти все тепло поглощаемое материалом используется на химическую реакцию разложения. В конце зоны наблюдается рост температуры материала.

Зона перекристаллизации Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Глинозем ( $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) переходит в форму корунда (  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Определяется сечениями 45±2 ÷ 54±2 м. Перекристаллизация протекает с экзотермическим эффектом 92,11 кДж/кг Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Ввиду высокого содержания Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в шихте рост температуры материала ускоряется.

Зона обжига отличается резким изменением температуры материала по оси печи (в начале зоны в большую, а в конце – в меньшую сторону) и неравномерностью ее распределения в поперечном сечении. Максимальная температура доходит до 1750-1780 °С. Зона определяется сечениями 62±2 м ÷ 67±1 м [1, 3].

Расположение зон представлено на рис. 1.

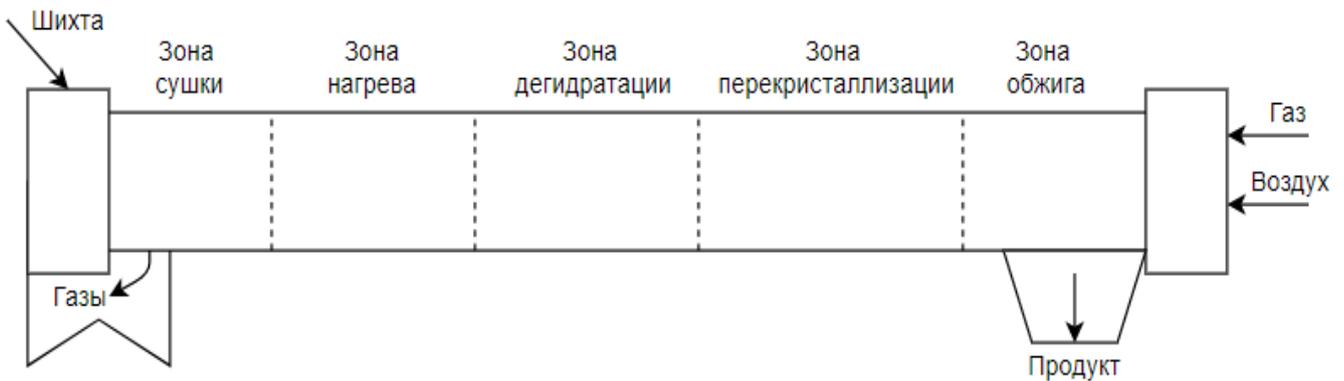


Рисунок 1 – Схема расположение зон в вращающейся печи

Из рассмотренного технологического процесса производства шамота можно сформулировать следующие:

а) входные величины:

- расход газа  $g_m$  (2000-2400 кг/час);
- расход воздуха  $g_v$  (10-50 тыс. м<sup>3</sup>/час);
- расход материала  $g_m$  (20-25 т/час);

б) регулируемые величины:

- готовая продукция  $G_m$ (т/сутки);
- температура отходящих газов (°C);
- Пыль  $R$ ;

в) возмущающие величины:

- температура окружающей среды (°C);
- влажность материала  $W_m$  (%).

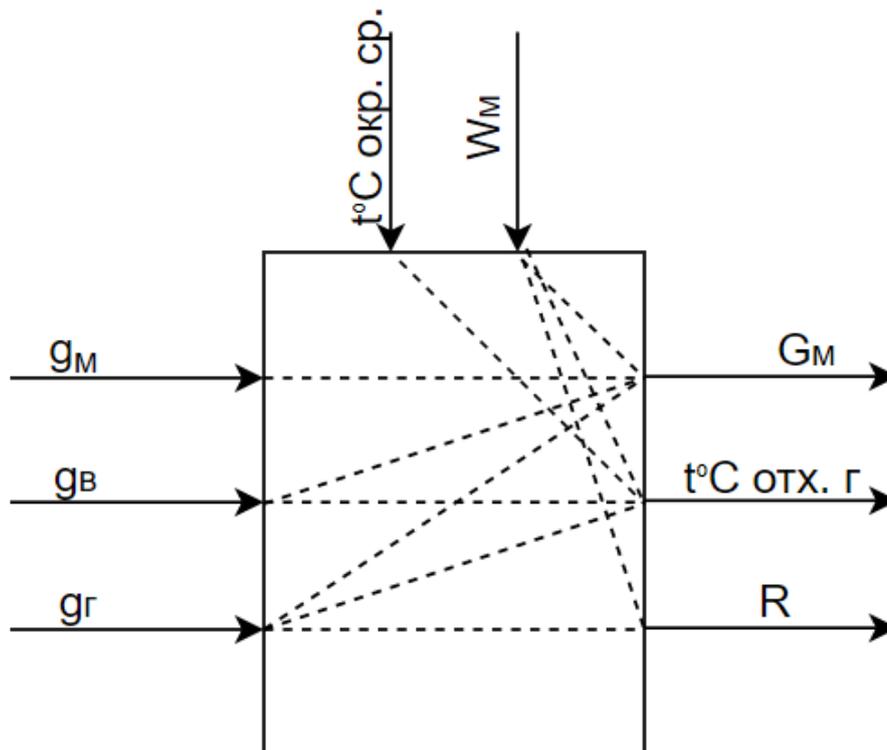


Рисунок 2 – Представление трубчатой вращающейся печи как объекта управления

Большой расход газа для производства шамота является поводом для совершенствования системы управления с целью сокращения расхода газа и улучшения технико-экономических показателей производства.

**Обзор существующих решений.**

В литературных источниках приводятся дифференциальные уравнения процесса обжига высокоглиноземистого сырья на муллитокорундовый шамот во вращающейся печи. [1] Они служат детальному описанию процесса, но для решения оптимизации процесса и оптимизации управления процессом требует постоянный контроль очень многих параметров. Поэтому будем исходить с более упрощенного представления вращающейся печи. Выделим в ней зону сушки, нагрева, дегидратации, обжига и охлаждения. Для каждого из этих участков выдвинем гипотезу постоянного коэффициента  $\gamma$  (интенсивность массообмена).

Известно, что изменение массы  $g_m$  по длине печи описывается следующим дифференциальным уравнением:

$$\frac{dg_m}{dx} = -\gamma$$

Из уравнения следует что потери составляет интеграл от массообменна.

Все зоны взаимосвязаны. Структура массообменна может быть представлена следующей схемой.

|                             |                               |                                    |  |                                 |
|-----------------------------|-------------------------------|------------------------------------|--|---------------------------------|
| Зона<br>Сушки( $\gamma_c$ ) | Зона<br>нагрева( $\gamma_n$ ) | Зона<br>дегидратации( $\gamma_d$ ) | Зона<br>Перекристаллизации( $\gamma_{пкр}$ ) | Зона<br>обжига( $\gamma_{об}$ ) |
|-----------------------------|-------------------------------|------------------------------------|--|---------------------------------|

*Рисунок 3 – Структурная схема массообмена*

На основании представленной схемы может быть сформулирован некий функционал для синтеза оптимального управления процессами обжига каолинов, который в словесном выражении может звучать следующем образом:

С целью получения максимальной прибыли от производства каолинов, необходимо минимизировать расходы газа и топлива и минимизировать преобразования каолинов в пыль (что будет способствовать сохранению окружающей среды)

**Выводы.**

1. В рассмотренной статье вращающаяся трубчатая печь представлена в виде 5 зон – сушки, нагрева, дегидратации, перекристаллизации, обжига.
2. Сложные математические зависимости коэффициента интенсивности массообмена  $\gamma$  в первом приближении примем постоянными.
3. Принятые допущения позволяют сформулировать критерий качества системы в виде функционала: минимизировать расходы газа и преобразования каолинов в пыль при обеспечении заданной производительности печи и качества каолинов.

**Перечень ссылок**

1. Голубев, В. О. Исследование тепловой работы вращающейся печи для производства муллитокорундового шамота / В. О. Голубев, Т. Е. Литвинова // Math Desinger. - 2012. – 120с.
2. Лисиенко, В. Г. Вращающиеся печи: теплотехника, управление и экология Кн. 1 : Справ. изд.: В 2 кн. / В. Г. Лисиенко, Я. М. Щелоков, М. Г. Ладыгичев ; под ред. В. Г. Лисиенко. – Москва : Теплотехник , 2004. – 690 с.
3. Бельский, В. И. Промышленные печи и трубы : Учеб. Пособие для техникумов / В. И. Бельский, Б. В. Сергеев. - Изд.2-е, испр. и доп. – Москва : Стройиздат, 1974. 301с.