

УДК 666.64.492

*Д-р техн. наук В.С. Софронов,
асп. Р.М. Салогуб*

СПОСОБ ОБЖИГА КЕРАМЗИТА ВО ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПЕЧИ С КОМБИНИРОВАННЫМ ОТОПЛЕНИЕМ

Введение. При обжиге гранул из глинистого сырья на керамзит во вращающейся противоточной печи 40x2,5 м выделяют зоны сушки, подогрева

или подготовки, становления качества продукта (вспучивания) и охлаждения.

Зоны сушки и подготовки занимают примерно по 40% длины печи, остальное

приходиться на зони вспучивания и охлаждения.

Установлено [1], что подготовку материала к обжигу предпочтительно проводить при высокой скорости нагрева в восстановительной среде, что способствует сохранению вспучивающих ресурсов в материале до зоны вспучивания, в которой необходима окислительная газовая среда, предотвращающая слипание гранул в свары и спеки.

Оказалось, что быстрый нагрев материала в восстановительной среде проще получить при прямоточной схеме обжига, а окислительную среду в зоне вспучивания – при противоточной схеме обжига.

Как известно [2], нагревание при максимальной разности температур теплоносителей в начале процесса проще всего достигается при прямоточной схеме, однако в процессе теплообмена при прямотоке градиент температур теплоносителей резко уменьшается, что и определяет пониженный средний температурный градиент, по сравнению с противотоком, примерно на 7-10 %.

Анализ исследований. Результаты сравнительных испытаний эффективности обжига керамзита при прямоточной и противоточной схемах движения теплоносителей [3] на печи 1,2x11 м при таких исходных данных: частота вращения печи 1,51 мин⁻¹; топливо – соляровое масло; диаметр гранул 15 мм, влажность гранул – 11,3%, время прохождения материала через печь – 16 мин. Сырье – Курганская глина с таким химическим составом: SiO₂-69%; Al₂O₃+TiO₂ – 16%; Fe₂O₃+FeO – 4,9%; CaO – 0,75%; MgO – 1,28%; R₂O – 2,83%; SO₃ – 1,1%; п.п.п. – 4,0%.

Совмещенные результаты обжига представлены на рис. 1.

Сравнение изменения температуры материала при прямотоке и противотоке по длине печи показывает примерно одинаковую скорость нагревания материала при сушке (до 250 °С), затем

наступает резкое различие скоростей нагревания. Как видно из рис. 1, при прямотоке скорость нагревания от 300 до 1100°С составила примерно 530°С/мин, в то время как при противотоке всего 127°С/мин, что в $530/127 = 4,2$ раза меньше. Насыпная плотность керамзита при прямотоке оказалась выше примерно на 100 кг/м³. Однако коэффициент конструктивного качества не понизился за счет более высокой прочности гранул, полученных при прямотоке.

Цель публикации. Сравнение характера протекания окислительно-восстановительных процессов показывает, что при прямотоке содержание закиси железа больше, чем окиси, в то время как при противотоке наблюдается обратная зависимость во всем интервале температур. Таким образом, обжиг при прямотоке протекал в более восстановительных, а при противотоке в более окислительных условиях, поэтому температура вспучивания на пределе спекания гранул была в первом случае 1090°С, а во втором –1170°С, что и определило существенное различие в насыпной плотности керамзита. Удельный расход топлива при прямотоке оказался выше, чем при противотоке, на 14%.

Таким образом, предполагаемое преимущество прямотока при обжиге керамзита оказалось несостоятельным. Однако начальная скорость нагревания материала при прямотоке оказалась в 4,2 раза выше чем при противотоке, а газовая среда более восстановительная, что согласно работе [1] должно положительно сказываться на снижении плотности керамзита и определять преимущество прямотока при нагреве материала до 400-600 °С.

Существенное влияние скорости нагревания материала на плотность керамзита отмечалось в работе [4] при использовании для сушки и предварительного подогрева слоевых подогревателей. Оказалось, что повышение температуры материала, поступающего в

печь, свыше 120-140 °С приводило к возрастанию насыпной плотности керамзита от 250 до 400 кг/м³ при коэффициенте неоднородности по

плотности $K_n > 3$, что было объяснено снижением скорости нагревания материала в зоне подогрева вращающейся печи, по сравнению с подогревателем (рис. 2).

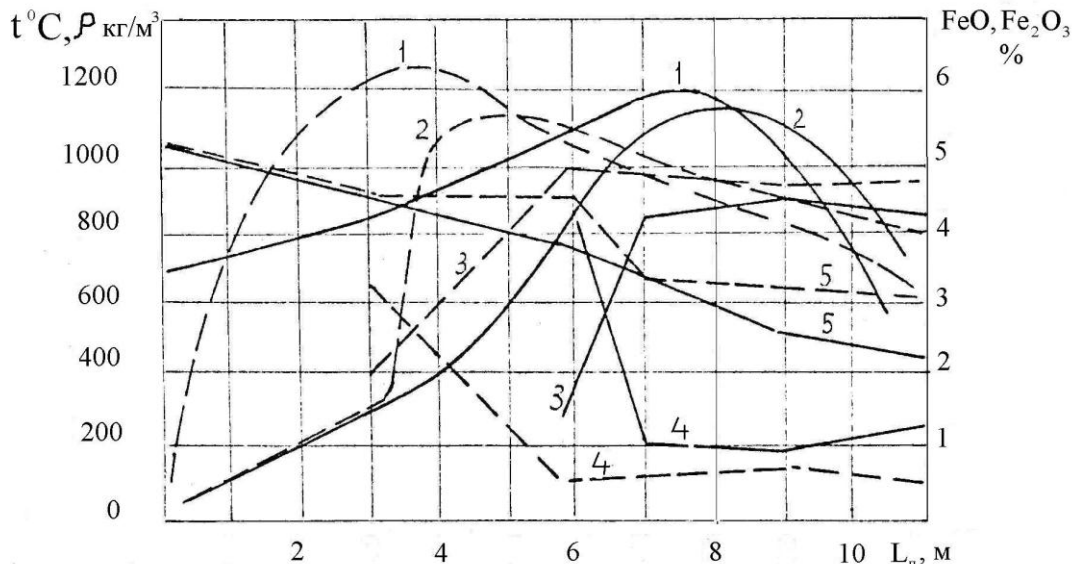


Рис. 1. Изменение параметров теплоносителей при прямоточной (- - -) и противоточной (- · - · -) схемах обжига материала во вращающейся печи:
1, 2 – температура газов и материала; 3, 4 – содержание FeO и Fe₂O₃;
5 – насыпная плотность керамзита - ρ

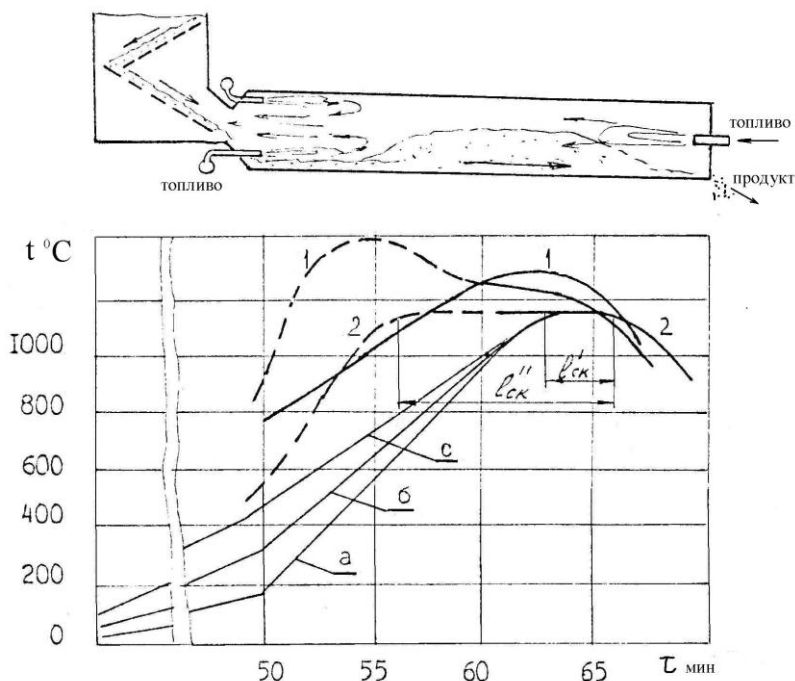


Рис. 2. Изменение температуры теплоносителей при комбинированной схеме обжига:
1 – газ; 2 – материала; а – $\rho = 250$; б – $\rho = 300$; в – $\rho = 370$ кг/м³; l_{ck}^1, l_{ck}^{11} – длина зоны становления качества керамзита при противоточной и комбинированной схемах;
- - - - прямоток; - · - · - противоток

Высокая скорость нагревания материала при прямотоке [3] рис. 1, отрицательное влияние низкой скорости нагревания на насыпную плотность керамзита при обжиге во вращающихся печах, в том числе, со слоевыми подготовителями, необходимость повышения производительности печи и однородности керамзита позволили нам обосновать и предложить оригинальный способ обжига сыпучих материалов в коротких вращающихся печах с отношением $L/D < 10$ с предварительной тепловой обработкой в барабанном, слоевом или ином подготовителе [5].

Высокая скорость нагревания материала при прямотоке [3] (рис. 1), отрицательное влияние низкой скорости нагревания на насыпную плотность керамзита при обжиге во вращающихся печах, в том числе со слоевыми подготовителями, необходимость повышения производительности печи и однородности керамзита позволили нам обосновать и предложить оригинальный способ обжига сыпучих материалов в коротких вращающихся печах с отношением $L/D < 10$ с предварительной тепловой обработкой в барабанном, слоевом или ином подготовителе [5].

В связи с определенными недостатками вращающихся печей (высокая материалоемкость, низкие КПД и теплотехническая управляемость) имеется потребность в разработке более совершенных, возможно, комбинированных печных агрегатов, что сдерживается отсутствием необходимой теоретической базы, различием подхода к этой проблеме теплотехников и технологов, а также сложностью исследований на стыке нескольких дисциплин.

Поэтому представляется целесообразным дальнейшее развитие и приложение комплексной теории печей к технологии керамзита проводить с учетом методологических основ, указывающих последовательность поиска оптимального,

для технологии обжига керамзита, печного агрегата [6].

Основной материал. Создание оптимального теплотехнологического агрегата должно базироваться на обеспечении получения высококачественного продукта при одновременном повышении агрегатной мощности, удельной производительности печей и тепловой эффективности.

Этим условиям отвечает предложенный нами способ [5], согласно которому материал предварительно подогревают при прямотоке и окончательно обжигают при противотоке в печи, отапливаемой с двух сторон, при этом топливо со стороны загрузки материала подают равномерно по окружности печи (рис. 3), что позволяет увеличить длину зоны впусивания, а следовательно, и производительность печи.

Иначе говоря, материал окончательно обжигают в комбинированно отапливаемой вращающейся печи. Для сохранения аэродинамических условий эвакуации дымовых газов и интенсификации теплообмена, горелочные устройства со стороны загрузки материала смещены в сторону материала и футеровки печи с целью максимальной теплоотдачи и минимальных потерь теплоты со встречным потоком дымовых газов. Теплота эвакуируемых из печи газов утилизируется в барабане подготовки или подогревателе.

Предложенный способ сочетает такие преимущества:

- высокая скорость нагревания материала в прямотоке, обеспечивающая максимальное приближение к идеальной схеме ступенчатого режима [1];

- нагревание материала в условиях преимущественно восстановительной или нейтральной среды, обеспечиваемой сжиганием топлива в прямотоке с минимальным коэффициентом расхода воздуха;

- увеличение протяженности зоны впусивания в 2-3 раза с равномерной температурой примерно, что снимает главные ограничения увеличения производи-

тельности печи и существенно уменьшает неоднородность керамзита по качеству;

- возможность перераспределения тепловых потоков с переносом части тепловой нагрузки из зоны противоточного нагревания в зону с прямоточным нагреванием, что существенно уменьшает градиент температур между теплоносителями и возможность формирования спеков;

- увеличение тепловой мощности агрегата в целом, обеспечивающей повышение загрузки печи и ее производительности примерно в 1,5-2 раза;

- низкие затраты на внедрение способа, связанные с подводом топлива к

холодному концу печи и оборудованием горелок-труб с сопловыми насадками.

К недостаткам следует отнести возможное увеличение температуры дымовых газов на стыке вращающейся печи и слоевого подготовителя, что может потребовать дополнительных мер по охлаждению конца печи и применению жаропрочных материалов, что не сможет существенно отразиться на снижении себестоимости керамзита от внедрения способа.

На рис. 3 показаны варианты использования комбинированной прямоточно-противоточной схемы обжига материалов во вращающихся печах с подогревателями материала различного типа.

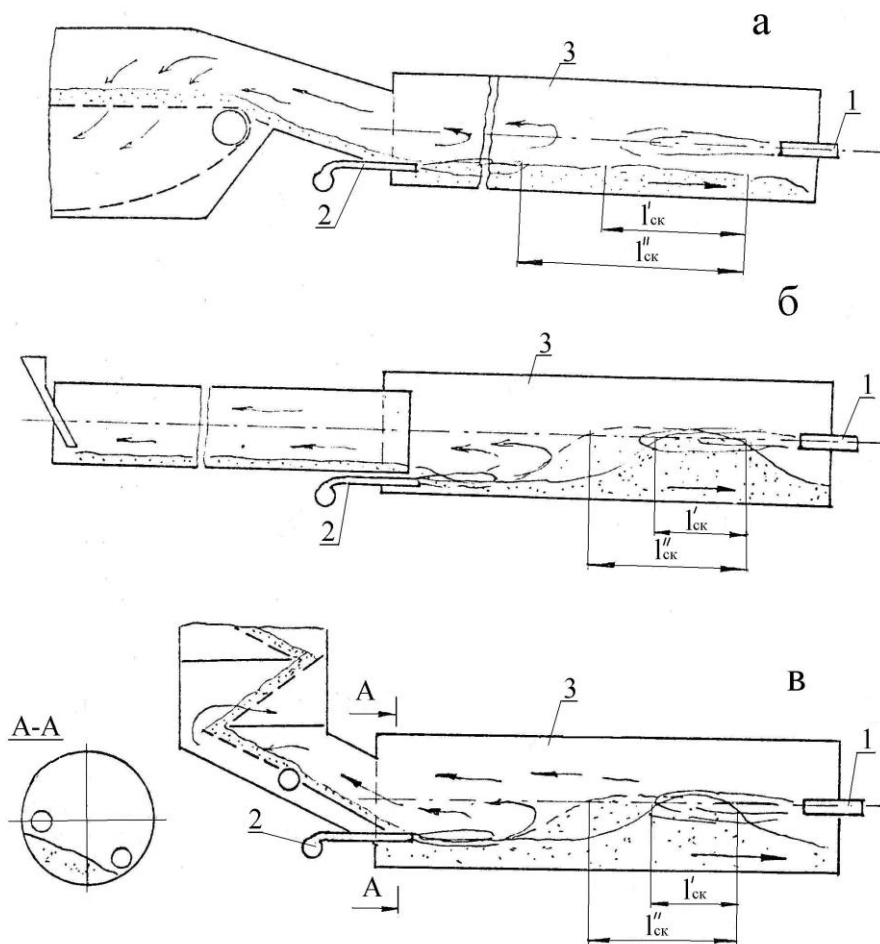


Рис. 3. Варианты использования прямоточно-противоточной схемы обжига материалов во вращающихся печах: а – при обжиге извести с подогревом на конвейерных кальцинаторах; б – при обжиге керамзита в двухбарабанных печах; в – при обжиге керамзита с подогревом в запечных подготовителях; 1, 2 – горелки со стороны загрузки выгрузки материала; l_{ck}^I и l_{ck}^{II} – длина зоны становления качества с одной горелкой со стороны выгрузки материала и с двух сторон

Выводы и перспективы использования. Предложенный способ обжига представляет собой прием предельно возможной интенсификации обжига материалов во вращающихся печах, обеспечивающий достижение оптимального совмещения термокинетических, термореологических и газокинетических условий становления качества керамзита, что еще не достигнуто.

Несмотря на то, что способ обжига разрабатывался для обжига керамзита, в технологии обжига которого газо- и термокинетические режимы определяют качество продукта, не менее эффективным является применение способа для обжига других материалов, например, железорудных окатышей, шамота, извести, глинозёма и других материалов.

Список литературы

1. Онацкий, С.П. Производство керамзита [Текст] / С.П. Онацкий. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1987. – 333 с.
2. Нащокин, В.В. Техническая термодинамика и теплопередача [Текст] / В.В. Нащокин. – М.: Высшая школа, 1969. – 560 с.
3. Володина, Н.Н. Обжиг керамзитового гравия в 11 м вращающейся печи, работающей по принципу прямотока и противотока [Текст] / Н.Н. Володина, Е.Ш. Шейнман // Науч. тр. ВНИИСтром. – М., 1964. – №3. – С. 28-40.
4. Сыромятников, В.А. Исследование работы вращающейся печи с запечным слоевым подготавливателем [Текст] / В.А. Сыромятников, О.Ю. Якшаров, В.Г. Антимонов // Керамзит и керамзитобетон: сб. науч. трудов [НИИКерамзит]. – Куйбышев, 1972. – №6. – С. 3-9.
5. А.с. 763287 СССР. Способ обжига сыпучего материала [Текст] / Софронов В.С., Попов В.М., Мчедлов-Петросян О.П. (СССР). – Оpubл. 1980; Бюл. N34.
6. Ключников, А.Д. Теплотехническая оптимизация топливных печей [Текст] / А.Д.Ключников. – М.: Энергия, 1974. – 344 с.

Ключевые слова: керамзит, обжиг, интенсификация, качество, производительность.

Аннотации

Аналізом результатів застосування прямиоточної і протитечної схем при випалі керамзиту показано, що ж одна з вказаних схем окремо не вирішують проблему реалізації резервів оптимізації випалу. Застосування в обертових печах сумісно двох теплотехнічних схем з опалюванням з двох кінців печі створює можливість оптимізації термо- і газокінетичних умов випалу, підвищити якість продукту, продуктивність печі і знизити питомі витрати палива.

Анализом результатов применения прямоточной и противоточной схем при обжиге керамзита показано, что ни одна из этих схем порознь не решают проблемы реализации резервов оптимизации обжига. Применение во вращающейся печи совместно двух теплотехнических схем обжига с отоплением с двух концов печи создаёт возможность оптимизации термо и газокинетических условий обжига, повысит качество продукта и производительность печи и понизит удельные затраты топлива.

Comparison of changes in temperature of the material in the co-current and countercurrent along the length of the furnace shows approximately the same rate of heating of the material during

drying (250°C), then there is a sharp difference between the rate of heating. As can be seen from Figure 1, the co-current heating rate from 300 to 1100°C was approximately 530°C / min, while in the counter total 127°C/min, in $530/127 = 4.2$ times less. The bulk density of expanded clay with co-current was higher by about 100 kg/m³. However, the coefficient decreased qualities are not meaningful due to the higher strength of the granules obtained in co-current