

перерабатывать без обогащения по новой технологии ОАО «ВНИИМТ», так как обогащение с получением концентрата неминуемо приводит к потере металлов с хвостами до 25 %.

А также следует еще раз отметить, что экологические преимущества новой технологии получения металлов электродуговым способом ОАО «ВНИИМТ» позволяют в 10 раз снизить выбросы CO₂ (парниковых газов) в атмосферу и решать вопросы более эффективного использования богатства недр земли.

Список использованных источников

1. Шпарбер Л.Я. *Металлургия железа и чугуна*. Кн. 1,2. Тула: АССОД, 1996.
2. Лякишев Н.П. *Некоторые проблемы современного сталеплавильного процесса // Сталь*. №9. 1996.
3. *Тепловая работа шахтных печей и агрегатов с плотным слоем* / Я.М. Гордон, Б.А. Боковиков, В.С. Швыдкий, Ю.Г. Ярошенко. – М.: Энергия, 1970. – 264 с.
4. Ярошенко Ю.Г., Гордон Я.М., Ходоровския И.Ю. *Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии черной металлургии* / Под ред. Ю.Г. Ярошенко. Екатеринбург: ООО «УИПЦ», 2012.
5. Зайнуллин Л.А., Епишин А.Ю., Артов Д.А., Карелин В.Г., Спирин Н.А. *Высокотемпературное углетермическое восстановление сидеритовых руд в электрической дуге // Металлург*. №11. 2016. С. 31-34.
6. *Способ прямого восстановления материалов, содержащих оксиды металлов, с получением расплава металла и устройство для осуществления способа* / Зайнуллин Л.А., Епишин А.Ю., Карелин В.Г. [и др.] // Заявка на изобретение № RU 2014154385 от 30.12.2014. Опубл. 20.07.2016. Бюлл. № 20.

УДК 621.742.52

Н. В. Ямшанова, В. И. Матюхин

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПЕЧИ ДЛЯ ОБЖИГА ИЗВЕСТНЯКА НА ПОКАЗАТЕЛИ ЕЕ РАБОТЫ

Аннотация

Вращающиеся печи являются наиболее распространенных тепловых агрегатов для обжига мелких фракций мягких пород.

На основании результатов зональных материальных и тепловых балансов барабанной печи различной производительности установлено, что для обеспечения завершенности обжига известняка необходимо:

- 1) *значительные капитальные затраты на сооружение;*
- 2) *существенные площади для размещения основного и вспомогательного оборудования;*

- 3) наличие квалифицированного обслуживающего персонала и повышенный уровень эксплуатационных затрат для поддержания ее в рабочем состоянии;
- 4) повышенный расход топлива для получения качественного продукта;
- 5) повышенный выход вторичных энергоресурсов, которые необходимо утилизировать по финансовым и экологическим требованиям;
- 6) невозможность эффективного управления работой печи по производительности (ее нельзя остановить без выключения теплового режима);
- 7) повышенный выход экологических выбросов в атмосферу, что требует постоянного их контроля и сокращения.

Ключевые слова: вращающаяся печь, известняк, дина печи, технико-экономические показатели, производительность.

Abstract

Rotary kilns are the most common thermal units for firing small fractions of soft rocks.

Based on the results obtained from zonal material and thermal balance drums, there are the following performance indicators:

- 1) *significant capital costs for the construction;*
- 2) *significant areas for the placement of main and auxiliary equipment;*
- 3) *the availability of qualified service personnel and an increased level of operating costs to maintain it in working condition;*
- 4) *increased fuel consumption to obtain a quality product;*
- 5) *increased yield of secondary energy resources that must be disposed of according to financial and environmental requirements;*
- 6) *it is impossible to stop without turning off the thermal mode;*
- 7) *increased release to the environment.*

Key words: *rotary kiln, limestone, kiln dyne, technical and economic indicators, performance.*

Существующая технология обжига кусковых карбонатных материалов требует [1] организации трех основных тепловых периодов: сушки исходных шихтовых материалов, подогрева их до начальной температуры обжига, изотермической выдержки с целью обеспечения процесса завершения реакции декарбонизации и охлаждения готового продукта. При этом наиболее длительной стадией обжига, определяющей качество обожженного продукта, является период тепловой обработки в интервале температур 850-1250 °С. Остальные периоды носят преимущественно теплообменный характер, при котором осуществляется передача теплоты от газа к материалам в первоначальный период и от обожженных материалов к холодному воздуху в зоне охлаждения.

Одним из наиболее распространенных тепловых агрегатов для обжига мелкой фракции известняка в промышленности являются вращающиеся печи различных геометрических размеров. В барабанных агрегатах допустим обжиг, как твердых карбонатных пород, так и шламов мягких пород, например, мела. При повышении температуры обжига реакция разложения карбоната кальция ускоряется, но при излишне высокой температуре возможен так называемый пережог материалов, оказывающий негативное воздействие на качество продукта и технико-экономические показатели теплового агрегата.

Вращающиеся печи для обжига известняка и доломита в промышленности имеют длину 30-100 м, диаметр 2-4 м, угол наклона 3-4° и вращаются с частотой 0,5-1,2 об/мин. Удельная суточная производительность их может достигать до

500-700 кг/м³ в расчете на общий объем обжигательного барабана и может изменяться в широких пределах в зависимости ее длины [2]. При этом конструктивные особенности барабанной обжиговой печи должны обеспечить получение извести заданной степени обжига.

Известняк при движении по барабану проходит последовательно зоны сушки, подогрева до температуры 1123-1153 К (850-880 °С), обжига (кальцинации) и предварительного охлаждения. При обжиге плотных известняков зона сушки в печи практически отсутствует (1-2 м) из-за малой влажности материала. Зона подогрева может достигать 50-70 % длины печи, а протяженность зоны обжига 25-30 %. В промышленных условиях длина высокотемпературной зоны может регулироваться изменением длины факела горящего топлива и условиями перемещения обжигаемых материалов. Из зоны обжига известь поступает в зону предварительного охлаждения, занимающую, как правило, около 5 % длины печи. Окончательно охлаждение происходит в отдельном холодильнике. Воздух, нагретый в холодильнике до 573-673 К (300-400 °С) остывающей известью, поступает в печь для горения топлива в качестве вторичного воздуха. Первичный воздух в количестве 15-20 % от общего его расхода на горение подают через горелку. Для ускорения теплообмена в зоне подогрева устанавливают цепные и металлические ячеистые теплообменники. Можно также применять запечные теплообменники циклонного типа и в виде конвейерной решетки.

Теплообмен во вращающихся печах между газами и материалом осуществляется как конвекцией, так и излучением. Поскольку конечная температура газов в рабочем пространстве отличается значительной величиной (до 1200 °С), то доля передачи тепла излучением может составлять существенной величины (до 60 %). Однако ограниченная поверхность теплообмена (только сегмент поверхности шихты, обращенный к факелу) при ограниченной степени заполнения рабочего пространства (не более 10-15 %) ограничивают интенсивность теплообмена и требуют увеличения длины печи [3]. Как правило, изменение условий теплопередачи от раскаленных газов к обжигаемым материалам в рабочем пространстве ограничено.

Значительные внешние размеры вращающейся печи, ограниченная интенсивность теплообмена между газами и материалами в ее рабочем пространстве приводят к появлению существенных тепловых потоков вторичных энергоресурсов в виде тепла отходящих газов с температурой до 800-900 °С в количестве до 10-15 тыс. м³ (доля в тепловом балансе до 50-60 %), а также физической теплоты готового продукта с температурой до 800-1000 °С (доля в тепловом балансе до 25-30 %). Постоянно перемещающийся слой кусковых материалов при контакте с футеровкой приводит к ее разрушению с постепенным переходом этих продуктов в обожженный материал, что требует использования качественных огнеупоров, в основном по механическим показателям. Значительная температура в рабочем пространстве и ограниченная толщина слоя огнеупорных материалов способствуют также увеличению тепловых потерь до 7-8 % от общего прихода тепла в печь. При этом общий тепловой КПД агрегата может достигать величины 50-70 % с учетом

использования теплоутилизирующих устройств. Кроме того, присутствие в рабочем пространстве постоянно перемещающегося слоя кусковых материалов различной степени дисперсности, появление продуктов их разрушения при перемешивании, а также высокие скорости движения газов (до 1,0-1,5 м/с) способствуют появлению значительной величины пылевыноса (до 80-100 г/м³). Поскольку пылевые компоненты отличаются низкой степенью обжига (не более 50 %), то они не представляют интереса в качестве конечного продукта обжига и требуют утилизации или их дообжига в других агрегатах.

Исследование особенностей развития теплофизических процессов при обжиге известняка во вращающейся печи различной производительности проводились с использованием зональных материалов и тепловых балансов. При этом по длине печи условно были выделены основных технологические зоны тепловой обработки исходных материалов. В каждой из них на основании развития основных физико-химических процессов определяли степень развития процессов обжига исходных шихтовых компонентов и изменение количества и состава газообразных веществ. После определения величины тепловыделений в каждой зоне устанавливали ее длину. Основные результаты расчетов представлены в таблице 1.

Анализ полученных данных показывает, что для обеспечения завершенности основных тепломассообменных процессов в рабочем пространстве вращающейся печи необходимо обеспечить постоянно увеличивающуюся длину агрегата. Было установлено, что доля протяженности каждой технологической зоны зависит от производительности всего процесса обжига. Графическое изображение этого представлено на рисунке 1. При этом доля протяженности зоны сушки постепенно сокращается, подогрева и обжига непрерывно увеличивается, а доля длины зоны охлаждения остается примерно постоянной.

Таблица 1

Изменение расчетной длины барабанной печи различной производительности

Производительность, т/ч	Длина зоны сушки, м (%)	Длина зоны подогрева, м (%)	Длина зоны кальцинации, м (%)	Длина зоны предварительного охлаждения, м (%)	Общая длина печи, м (%)
1	1,54 (20,87)	0,637 (8,63)	0,80 (10,84)	4,41 (59,76)	7,38 (100)
2	3,08 (28,95)	1,55 (14,56)	1,61 (15,13)	4,41 (41,45)	10,64 (100)
3	4,62 (25,00)	3,73 (20,18)	5,72 (30,95)	4,41 (23,86)	18,48 (100)
4	6,16 (22,85)	6,22 (24,55)	10,18 (37,76)	4,41 (16,36)	26,96 (100)
5	7,70 (19,26)	9,74 (24,36)	18,13 (45,35)	4,41 (11,03)	39,98 (100)
6	9,24 (15,32)	14,06 (23,31)	32,62 (54,08)	4,41 (7,31)	60,32 (100)

Результаты исследований теплового баланса вращающейся печи позволили установить общий расход газообразного топлива на процесс и его тепловой КПД.

Результаты расчета представлены в таблице 2. Их анализ показал, что с увеличением производительности теплового агрегата общий расход топлива требуется постоянной увеличивать, а при обеспечении заданной степени обжига известняка тепловой КПД агрегата должен изменяться в ограниченных пределах.

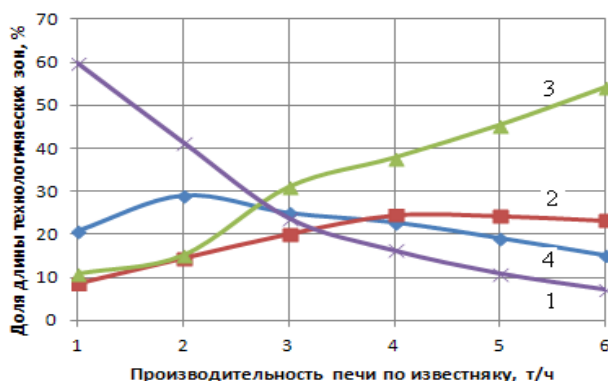


Рис. 1. Изменение доли длины технологических зон вращающейся печи от ее производительности: 1 – зона сушки; 2 – зона подогрева; 3 – зона обжига; 4 – зона охлаждения

Таблица 2

Значения технико–экономических показателей барабанной печи при разной производительности

Производительность, т/ч	Расход топлива, м ³ /т	КПД, %
1	576,7	53,02
2	1044,4	58,59
3	1608,2	56,71
5	2132,51	57,02
5	2676,3	56,67
6	3227,5	56,29

Таким образом, вращающиеся печи позволяют получать мягкообожженную известь высокого качества из мелкокускового известняка и из мягких карбонатных пород (мела, туфа, известняка-ракушечника), которые нельзя обжигать в шахтных печах из-за склонности этих материалов к “зависанию” в шахте, приводящему к нарушению технологии обжига. При этом следует ожидать:

- 1) значительные капитальные затраты на сооружение;
- 2) существенные площади для размещения основного и вспомогательного оборудования;
- 3) наличие квалифицированного обслуживающего персонала и повышенный уровень эксплуатационных затрат для поддержания ее в рабочем состоянии;
- 4) повышенный расход топлива для получения качественного продукта;
- 5) повышенный выход вторичных энергоресурсов, которые необходимо утилизировать по финансовым и экологическим требованиям;
- 6) невозможность эффективного управления работой печи по производительности (ее нельзя остановить без выключения теплового режима);

7) повышенный выход экологических выбросов в атмосферу, что потребует постоянного их контроля и сокращения.

Список использованных источников

1. Монастырев А.В. Производство извести. – М.: Высшая школа, 1986. – 192 с.
2. Учебное пособие для вузов / С.Н. Гушин, С.Г. Майзель, В.И. Матюхин, В.А. Гольцев. – Екатеринбург: УГТУ, 2000. – 230 с.
3. Лисиенко В.Г., Щелоков Я.М., Ладыгичев М.Г. Вращающиеся печи: теплотехника, управление и экология. – М.: Теплотехник, 2004. – 592 с.

УДК 669.187.2.036.61

И. М. Ячиков¹, И. В. Портнова¹, М. В. Быстров²

¹ ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет имени Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия;

² ПАО «Машиностроительный завод имени М.И. Калинина», г. Екатеринбург, Россия

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УГАРА ГРАФИТИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОДА ПРИ ЕГО ИСПАРИТЕЛЬНОМ ОХЛАЖДЕНИИ В ДУГОВЫХ ПЕЧАХ

Аннотация

Значительную часть затрат в себестоимости произведенных отливок готовой продукции в литейном производстве составляет стоимость графитированных электродов, поэтому снижение их удельного расхода является актуальной задачей. С помощью компьютерного моделирования проведен анализ влияния испарительного охлаждения водой боковой поверхности графитированных электродов на их расход для дуговых печей трехфазного переменного тока вместимостью 3 т. Установлено, что при расходе воды 0,15 м³/ч на каждый электрод диаметром 250 мм приводит к снижению угара графита примерно на 45 %. Выявлено, что подача воды в систему испарительного охлаждения для холодных электродов наиболее рациональна через 6–7 минут после включения тока. Существует оптимальный расход воды, соответствующий минимуму затрат на графитированные электроды и дополнительную электроэнергию. Использование испарительного охлаждения графитированных электродов в дуговых печах может быть рекомендовано для снижения их расхода на действующих и проектируемых дуговых печах малой емкости.

Ключевые слова: дуговая печь, графитированный электрод, испарительное охлаждение, угар графита.

Abstract

A significant part of the cost in the cost of castings of finished products in the foundry industry is the cost of graphite electrodes, therefore, reducing their specific consumption is an important task. Using computer simulation, analysis of the effect of evaporative cooling of water on the lateral surface of graphite electrodes on their consumption for three-phase AC arc furnaces with a capacity of 3 tons was carried out. by about 45 %. It was revealed that the supply of water to the evaporative cooling system for cold electrodes is the most rational 6–7 minutes after switching on the current. There is an optimal water consumption corresponding to the minimum cost of graphite electrodes