



Д. А. Тимошенко, Е. Е. Коломыцев

ЗАО «Производственно-коммерческая фирма «НК-Теплохиммонтаж»,
г. Старый Оскол Белгородской обл., Россия

УДК 666.762.1:669.046.412

СУШКА ФУТЕРОВКИ ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТОВ*

Изложены основные принципы проведения сушки, а также зависимость ее способов и режимов от конкретных технических и эксплуатационных характеристик теплотехнических установок. Указана необходимость проведения сушки футеровки тепловых агрегатов как при капитальном строительстве, так и при проведении ремонтов. Приведен пример сушки футеровки тепловых агрегатов, проведенной специалистами ЗАО «ПКФ «НК-Теплохиммонтаж».

Ключевые слова: сушка, футеровка, огнеупорные бетоны, испарение влаги, энергия СВЧ, инфракрасная тепловая энергия, дымовые газы, температура, график, термопара, газопровод, горелочное устройство, факел.

Компания «НК-Теплохиммонтаж» занимается строительством и ремонтом тепловых агрегатов различного назначения, а также производством огнеупорных и теплоизоляционных изделий и материалов широкого спектра свойств и областей применения. Одним из направлений деятельности предприятия, впервые обозначенном в 2007 г. на Лебединском ГОКе (г. Губкин Белгородской обл.), является сушка футеровки тепловых агрегатов. Выполнение сушки в последние годы становится неотъемлемой частью процедуры вывода теплоагрегатов на требуемый температурный режим после капитального строительства или ремонта. И это не случайно, ведь от правильного и технически грамотного проведения сушки в значительной мере зависит стойкость футеровочного покрытия. К сожалению, многие эксплуатационники недооценивают этот важный этап подготовительной работы.

Любая неволокнистая футеровка тепловых агрегатов содержит воду, попадающую в нее при изготовлении материалов или во время их хранения и монтажа. К примеру, влажность набивных огнеупорных масс 5–9 %, традиционные плотные огнеупорные бетоны (с содержанием 25–30 % цемента) при монтаже имеют влажность 10–12 %, а низкоцементные бетоны — 5–7 %. Кирпичная кладка содержит достаточно большое количество воды, вносимой с раствором, на котором она ведется, а также поглощаемой кирпичом, имеющим поры, из атмосферы. Учитывая это, несложно представить, какое количество воды содержится в футеровке массой в несколько сот тонн.

Как известно, сушка — это удаление свободной (физической) и химически связанной влаги из огнеупорного материала. Процесс должен быть достаточно медленным, чтобы обеспечить постепенное удаление воды без риска образования трещин и разрушения футеровки. Установление оптимальной программы сушки и нагрева становится особой задачей, которая должна решаться в сотрудничестве с производителем используемых футеровочных материалов. Время сушки и первого прогрева футеровки, как и скорость повышения температуры, зависит от ряда факторов: материала (тип футеровочных материалов и их свойства, содержание воды), конструкции (форма и состав футеровки, ее объем и толщина,

плотность металлической конструкции агрегата), теплотехнических особенностей (система отопления, подачи газа и т. д.). Для достижения положительных результатов все эти факторы должны быть учтены при составлении программы прогрева.

Первоначально рекомендуется проводить естественную сушку теплового агрегата при открытых люках и лазах для лучшей вентиляции. После этого проводят принудительную сушку воздухом, подаваемым вентилятором. Сушка воздухом обычно занимает 48 ч. Одновременно с холодной сушкой проверяется работа вентилятора и замеряется гидравлический режим по всем воздушным трактам.

После окончания сушки холодным воздухом начинается сушка нагретыми дымовыми газами от сжигания топлива, в качестве которого можно использовать природный газ. Печи с мощными сожигательными устройствами сушат временными горелками на природном газе. В качестве топлива могут быть использованы мазут, дизельное топливо, уголь и даже дрова. Однако в последнее время применение этих источников тепла практически не встречается на практике.

Сушку футеровки печей с электрическими нагревательными элементами выполняют при помощи этих нагревателей с учетом тех же рекомендаций, что и при сушке природным газом. Для сушки футеровки тепловых агрегатов небольшого объема и с небольшой толщиной футеровочного слоя могут быть использованы электрокалориферы.

В настоящее время разработаны новые методы и способы проведения сушки футеровки. Все большее распространение получает способ удаления влаги при помощи микроволновой энергии (энергии СВЧ), с успехом применяемый в странах Западной Европы и в Японии.

Еще одна перспективная технология в этой области — комбинированное использование энергии СВЧ и инфракрасной тепловой энергии, так называемый микроволново-инфракрасный метод. Энергия СВЧ направляется на быстрый, объемный нагрев, позволяющий выводить влагу на поверхность, откуда ее удаляют с помощью инфракрасных излучателей и теплого воздуха. В этом случае микроволновая энергия используется только для перемещения влаги на поверхность, а далее инфракрасная энергия испаряет поверхностную влагу.

* По материалам Международной конференции огнеупорщиков и металлургов (14–15 марта 2013 г., Москва).

Широкому применению этих методов сушки препятствует высокая стоимость необходимого оборудования.

Главным принципом процессов сушки и прогрева новой футеровки является тщательный надзор в течение начальной фазы. Необходимо, чтобы пламя нигде не касалось футеровки. Следует также проводить постоянный контроль температуры в течение всего процесса. Мониторинг режима сушки осуществляется с помощью термодатчиков, устанавливаемых на расстоянии не более 5 см от поверхности нагрева: в наиболее горячей зоне сооружения (свод, перевальная стенка и т. д.); в местах возможного перегрева (над горелками или против них); в местах наименьшего прогрева бетона при сушке, если при переходе на нормальный режим на этих участках может произойти резкое повышение температуры. При большой протяженности тепловых агрегатов (туннельные печи, боровы и др.) термодатчики устанавливают не реже чем через 10 м.

Весь процесс повышения температуры должен быть тщательно управляем, так как слишком быстрый или неравномерный прогрев может привести к серьезным дефектам и повреждениям футеровки. Источники тепла должны быть установлены таким образом, чтобы не получалось в рабочем пространстве теплового агрегата зон с недопустимо низкой или недопустимо высокой температурой. Одновременно с этим необходимо организовать достаточную вентиляцию, обеспечивающую полноценный отвод испаряемой влаги. При наличии в тепловом агрегате слоя теплоизоляции и наружного металлического кожуха необходимо для удаления паров воды, образовавшихся в процессе нагрева, открыть существующие в кожухе отверстия (люки, смотровые окна и т. п.), а при необходимости предусмотреть специальные отверстия для выхода паров воды.

Для облегчения мониторинга процесса высыхания огнеупорного материала и его прогрева, обеспечения необходимой равномерности прогрева футеровки нужно устанавливать на поверхности футеровки несколько вспомогательных термодатчиков в местах, в которых можно ожидать наименьшие температуры. Если термодатчики невозможно установить, то необходимо измерять температуру футеровки другим способом, например инфракрасным пирометром.

Скорость повышения температуры в начальной фазе процесса ограничена низкой пористостью огнеупорных материалов, которая препятствует отводу водяного пара. Поэтому процесс прогрева должен предусматривать достаточно длительный период выпаривания и удаления свободной воды при температуре на прогреваемой стороне футеровки 120–150 °С. Ускоренный начальный прогрев футеровки, например, из бетонов с плотной структурой приведет к чрезмерному нарастанию внутреннего давления возникающего пара. При превышении величины давления показателя прочности материала происходит взрывное разрушение и отслаивание бетона. Даже если не возникнет взрывных разрушений, то появившиеся внутренние трещины значительно снизят прочность и стабильность футеровки и могут стать причиной сокращения срока ее службы. Поэтому только после окончания фазы сушки можно приступать к дальнейшему повышению температуры, скорость прогрева, однако, должна зависеть от поведения футеровки (разложение гидратов, температурные расширения и т. п.).

Небольшие тепловые агрегаты, футерованные летом, сушат и разогревают со скоростью 50, 35 и 25 °С/ч при объеме футеровки 20, 20–50 и 50–100 м³ соответственно. Крупные печи после строительства сушат и разогревают со скоростью 5–10 °С/ч, а после замены футеровки при холодном ремонте 15–25 °С/ч. Продолжительность сушки следует увеличивать на величину до 30 %, если укладка огнеупоров выполнена зимой или при сырой погоде или если большая толщина кладки; и, наоборот, несколько уменьшать, если укладка выполнялась летом при благоприятных для строительства условиях или если стены печи очень тонкие. Разумеется, каждый случай введения в эксплуатацию новой футеровки может иметь свои особенности и требовать особого подхода. Нельзя установить универсальный график сушки и прогрева.

Компания «НК-Теплохиммонтаж» имеет опыт проведения сушки футеровки теплотехнических агрегатов в разных отраслях промышленности. Среди наиболее крупных можно выделить следующие работы:

- в металлургической отрасли — сушка реформера, шахтной печи и дымоходов завода ГБЖ-2 ОАО «Лебединский ГОК» (г. Губкин Белгородской обл.);
- в химической отрасли — сушка установок первичного, вторичного риформинга и пароперегревателя комплекса по производству метанола ОАО «Щекиноазот» (г. Щекино Тульской обл.);
- в цементной отрасли — сушка футеровки холодильника клинкера Цементного завода в г. Липецке; сушка футеровки холодильника клинкера, циклонов теплообменника, декарбонизатора, газохода третичного воздуха и головки печи обжига цемента в ООО «Цемент» (г. Сланцы Ленинградской обл.), ОАО «Верхнебаканский цементный завод» (г. Новороссийск), ЗАО «Евроцемент групп. Подгоренский цементный завод» (пгт. Подгоренский Воронежской обл.).

Часто сушку вновь выполненной футеровки или после ремонта совмещают с первым разогревом установки, используя при этом штатное горелочное и тягодутьевое оборудование, а также средства КИПиА. При этом проведение сушки не вызывает особых проблем. Однако нередко случаи, когда необходимо провести процесс сушки футеровки агрегатов, штатное оборудование которых в силу своей большой номинальной мощности и места установки не способно обеспечить необходимый температурный режим и равномерный разогрев. В частности, подобная проблема возникает на цементных заводах. Выполнение работ на таких объектах, связанное с решением многих технических задач, наиболее сложно и представляет особый интерес. Целесообразно подробнее остановиться на конкретных примерах.

В декабре 2012 г. специалисты компании «НК-Теплохиммонтаж» выполняли работы по сушке футеровки холодильника клинкера, циклонов теплообменника, декарбонизатора, газохода третичного воздуха и головки печи обжига цемента. При этом сама вращающаяся печь обжига сушке не подвергалась. Указанные установки связаны технологически в одну линию, соединены множеством футерованных трубопроводов разного диаметра и представляют собой сложную аэродинамическую систему.

На момент проведения работ горелочное, тягодутьевое и контрольно-измерительное оборудование установок не было в работоспособном состоянии. Предстояло решение непростой задачи: обеспечить одновременное во всех элементах комплекса соблюдение температурного графика сушки, при этом направить газовые потоки в нужном направлении и не повредить нефутерованные части, технологически связанные с установкой. Необходимым условием было проведение работ в один этап. Работа затруднялась значительным территориальным и высотным разбросом местоположения объектов сушки.

В тепловых агрегатах установки футеровка комбинированная, с преобладанием огнеупорных и теплоизоляционных бетонов. Общая масса материалов, из которых необходимо было удалить влагу, 2400 т. В результате работа была построена следующим образом.

Для того чтобы отсечь вращающуюся печь от области сушки, в ее начале и конце были спроектированы и установлены две защитные перегородки (рис. 1). Также защитные перегородки были смонтированы в холодильнике клинкера. Одна перегородка закрывала выход на дробилку клинкера, а другая — вход в трубопровод газоочистки. Ригели холодильника были укрыты слоем клинкера толщиной 300–400 мм, что предотвратило перегрев приводного гидравлического оборудования и минимизировало подсосы холодного воздуха во время сушки. Для устранения подсосов, кроме того, во всем протяжении установки были закрыты технологические отверстия и проемы, уплотнены монтажные щели.

В каждом из шести циклонов теплообменника, в декарбонизаторе, в приемной камере и головке вращающейся печи, в холодильнике клинкера были установлены временные блочные газовые горелки, оснащенные вентилем воздуха горения, устройством розжига и контролем пламени и системой автоматики безопасности (рис. 2).

Для каждой горелки был изготовлен и смонтирован индивидуальный горелочный блок для ее установки (рис. 3). Всего было поставлено 13 горелочных устройств общей тепловой мощностью 9,7 МВт.

Для работы горелок были спроектированы и проложены временные сети электро- и газоснабжения. В контрольных точках замера температур в футеровку было внедрено 14 хромель-алюмелевых термопар с выводом показаний на ЖК-дисплей приборов визуализации.

Для удаления водяных паров и продуктов сгорания природного газа в верхней части этажерки циклонов теплообменника (отм. +85,228 м) были изготовлены два временных дымохода сечением 500×600 мм, снабженных регулировочными шиберами гильотинного типа. Удаление продуктов сгорания и сушки происходило под действием естественной тяги, регулируемой в ходе проведения работ.

В соответствии с графиком процесса (рис. 4) скорость подъема температуры на каждом этапе не должна была превышать 10 °С/ч. Необходимо было обеспечить 3 изотермические выдержки — при 110, 160 и 400 °С. После достижения 110 и 160 °С выдержка составляла 24 ч, после прогрева до 400 °С 12 ч. Контролируемое охлаждение футеровки после окончания сушки не должно быть быстрее 50 °С/ч.

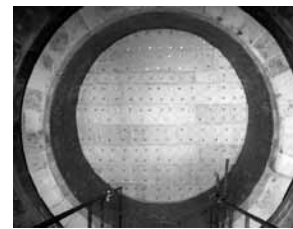


Рис. 1. Перегородка вращающейся печи

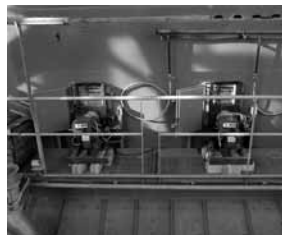


Рис. 2. Установка временных горелочных устройств



Рис. 3. Монтаж горелочных блоков

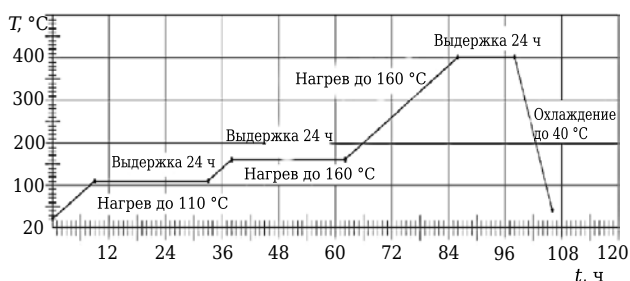


Рис. 4. График сушки; при нагреве скорость подъема температуры не более 10 °С/ч, при охлаждении скорость снижения температуры не более 50 °С/ч

В результате весь процесс сушки и медленного охлаждения футеровки составил 6 сут. В процессе его проведения контролировали и ежедневно фиксировали в журнале показания всех 14 установленных термопар. Помимо этого, операторы с помощью оптического пирометра следили за температурой в местах вероятных «провалов» и «скачков», связанных с особенностями конструкции и аэродинамики агрегатов.

По окончании проведения работ совместной комиссией заказчика и подрядчика был произведен осмотр футеровки после сушки. Дефектов, локальных перегревов и нарушений целостности обнаружено не было. ■

Получено 22.03.13

© Д. А. Тимошенко, Е. Е. Коломыцев, 2013 г.