

ОСОБЕННОСТИ ПЕРВИЧНОГО НАГРЕВА СТЕКЛОВАРЕННЫХ ПЕЧЕЙ

Сформулированы требования к организации первичного нагрева стекловаренных печей. Рассмотрены особенности термического расширения периклазовых, динасовых и бадделеитокорундовых изделий, используемых в огнеупорной футеровке печей и регенераторов. Приведен экономичный температурно-временной график первичного разогрева печей. Определены температуры, при которых происходит перевод отопления печей на основные горелки и начинается наварка расплавом варочного бассейна.

Ключевые слова: стекловаренная печь, огнеупор, термическое расширение, график нагрева.

Межремонтный период эксплуатации тепловых агрегатов непрерывного действия зависит от многих факторов, важнейший из которых корректное выполнение первичного нагрева печей до температуры ведения технологического процесса. Основная цель этой операции заключается в сохранении физической целостности огнеупорной футеровки при полном закрытии температурных швов в кладке. Поведение огнеупоров, а также состояние теплоизолированных элементов огнеупорной футеровки в процессе нагрева не поддаются визуальному контролю, поэтому организация первичного разогрева печи представляется достаточно сложной технической задачей.

В стекловаренных печах процедура первичного нагрева имеет ряд особенностей, которые прежде всего обусловлены химико-минеральным составом используемых огнеупоров, характеризующихся различным поведением при нагревании. Кроме того, в процессе разогрева печи происходит переход от временных источников теплоты на основные горелки, а также выполняется наварка варочного бассейна расплавом из шихты и стеклобоя. В совокупности отмеченные особенности должны быть учтены при разработке единого температурно-временного графика нагрева варочной части печи, регенераторов и каналов, предназначенных для подачи расплава к питателям стеклоформирующих машин. В практическом плане разработка температурно-временного графика сводится к дифференцированному заданию скорости подъема температуры для наиболее проблемных температурных

интервалов термического расширения огнеупоров.

Для огнеупорной футеровки варочной части печей используется динас для стекловаренных печей и электроплавленный бадделеитокорундовый огнеупор (AZS-огнеупор), для футеровки регенераторов — периклазовые, муллитокремнеземистые и шамотные огнеупоры, в распределительном канале и каналах питателей — AZS-огнеупоры и муллитокремнеземистые изделия. Проблемным при первичном нагреве является термическое расширение периклазовых, динасовых и бадделеитокорундовых огнеупоров, доля которых в футеровке современных стекловаренных печей составляет примерно 41, 5 и 13 % соответственно [1]. Муллитокремнеземистые и шамотные огнеупоры характеризуются плавным расширением, поэтому задания специфических скоростей нагрева не требуется.

В зарубежной практике особое внимание уделяется первичному нагреву периклазовых огнеупоров, что объясняется не столько их высоким термическим расширением (рис. 1), сколько химической активностью оксида магния при воздействии воды (влаги). В общем случае рацио-

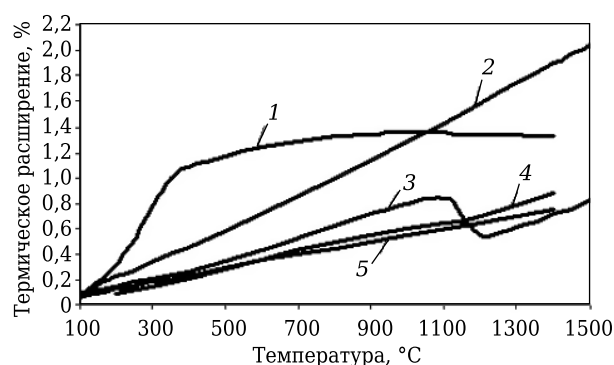


Рис. 1. Термическое расширение огнеупоров: 1 — динасового для стекловаренных печей; 2 — периклазового; 3 — электроплавленного бадделеитокорундового; 4 — муллитокремнеземистого; 5 — шамотного



В. Я. Дзюзер

E-mail: vdzuser@yandex.ru

нальный режим сушки периклазовых изделий предполагает создание условий, обеспечивающих максимальное развитие процессов внутренней и внешней диффузии влаги и замедление гидратации оксида магния. В связи с этим нагрев печи до 110 °С характеризуется непрерывным подъемом температуры со скоростью не менее 6 °С/ч [2], а традиционный для отечественных стекольных заводов подход к процессу разогрева печи, при котором на первом этапе производится сушка футеровки с задержкой подъема температуры на уровне 110–120 °С [3], представляется не вполне корректным. Продолжительность сушки контролируется визуально по выделению паров влаги через кладку. При этом в зависимости от климатических условий строительства печи общее время первичного нагрева увеличивается на 12–72 ч.

При температуре нагрева кладки выше 110 °С характер термического расширения периклазовых, муллитокремнеземистых и шамотных огнеупоров (см. рис. 1) не оказывает влияния на параметры температурно-временного графика. Его вид будет определяться лишь особенностями термического расширения диносовых и бадделеитокорундовых изделий. Для динаса эти особенности обусловлены модификационными превращениями тридимита, кристобалита и кварца, составляющих его структуру. При разработке графика нагрева основное внимание уделяется заданию скорости нагрева в температурном интервале тридимитового (100–163 °С), кристобалитового (180–300 °С) и кварцевого (550–650 °С) эффектов. Для AZS-огнеупоров критичным является диапазон температур 1000–1200 °С, в пределах которого термическое расширение изделий уменьшается с 0,83 до 0,52 % [2]. При последующем нагреве конечное расширение бадделеитокорундовых огнеупоров достигает своего максимального значения (см. рис. 1).

Таким образом, температурные интервалы, требующие особого отношения к расширению магнетитовых, диносовых и AZS-огнеупоров, расположены последовательно на кривой нагрева. В отечественной практике при прохождении указанных интервалов температуры задается относительно низкая скорость ее подъема (рис. 2, а). Подобный подход к построению температурно-временного графика приводит к тому, что общее время первичного нагрева печей с учетом времени сушки превышает 470 ч [3].

Детальный анализ поведения динаса для стекловаренных печей при нагревании свидетельствует о возможности разбиения интервала 110–300 °С на два участка. Поскольку наибольшее расширение динаса происходит в диапазоне 250–300 °С, то для этого участка задается наименьшая скорость подъема температуры, равная 2 °С/ч. При этом время прохождения интервала 110–250 °С может быть сокращено за счет бо-

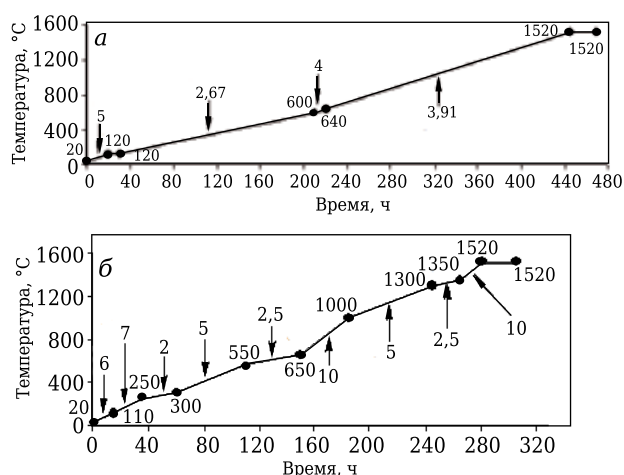


Рис. 2. График первичного разогрева стекловаренной печи с подковообразным пламенем производительностью 280 т/сут: а — по данным работы [3], б — по нашей рекомендации: числа на кривой — температура, °С; числа у стрелок — скорость поднятия температуры, °С/ч

лее высокой скорости нагрева (рис. 2, б). В этом случае создаются гарантированные условия для обезвоживания периклаза и протекания процесса гидратации в форме, не опасной для физической целостности изделий. Умеренный темп нагрева сохраняется до нижней границы температурного диапазона кварцевого эффекта, внутри которого скорость подъема температуры уменьшается до 2,5 °С/ч. Такая скорость задается и для диапазона 1300–1350 °С, в пределах которого завершается процесс изменения линейных размеров динаса (см. рис. 2, б).

Сложность первичного нагрева бадделеитокорундовой кладки в значительной степени обусловлена размерами, а также геометрией конструктивных частей печи, выполненных AZS-огнеупорами. Их физическая целостность в процессе расширения или сжатия обеспечивается металлическим каркасом печи, управление которым предусматривает визуальный контроль за состоянием сотен единиц регулирующих элементов. При прохождении интервала 650–1000 °С скорость подъема температуры ограничивается величиной 10 °С/ч. Кроме того, представляется целесообразным расширить температурный диапазон аномального поведения бадделеитокорундового огнеупора до 1300 °С. При прохождении интервала 1000–1300 °С скорость подъема температуры принимается равной 5 °С/ч.

На завершающем этапе разогрева печи (1350–1520 °С) допустимая скорость подъема температуры 10–15 °С/ч. В период выдержки печи (в течение 24 ч) при 1520 °С производится затяжка регулируемых элементов ее металлического каркаса, после чего выполняется герметизация наружной поверхности свода и температурных швов в других элементах кладки. Данные рис. 2, б свидетельствуют о том, что дифференциро-

ванный подход к заданию скорости подъема температуры обеспечивает проведение первичного разогрева печи за 306 ч, что на 34,5 % меньше по сравнению с традиционной процедурой нагрева.

Предварительный разогрев стекловаренных печей производится с использованием тепловых пушек при нейтральном положении переводных дымовоздушных шиберов. В варочную часть печи горячий воздух подается через загрузочные карманы ванны и смотровые окна рабочего пространства. В регенераторе тепловые пушки устанавливаются в ремонтные проемы поднасадочного пространства каждой камеры. Для разогрева каналов для стекломассы и дымовой трубы также используется горячий воздух.

Мощность тепловых пушек и их количество подбирают таким образом, чтобы обеспечить разогрев печи до 1000 °С. Как правило, при этой температуре отопление печи переводят на стационарные горелки [3]. Предварительно отключают тепловые пушки в рабочем пространстве печи и регенераторе, переводные шиберы устанавливают в рабочее положение и включают локальную систему реверсирования подачи топлива и воздуха. Температурным режимом нагрева печи управляют посредством термопар, установленных в своде и боковых стенах рабочего пространства, а также в своде и поднасадочном пространстве регенеративных камер. Контроль над расширением динасовой кладки ведется с помощью линейных указателей, распределенных по поверхности сводов печи и регенератора. По их показаниям регулируют обвязку свода. Расширение бадделеитокорундовой кладки контролируют по состоянию температурных швов. При их полном закрытии ослабляют затяжку металлического каркаса. При раскрытии швов во время сжатия производится затяжка связей.

Опыт показывает, что перевод отопления печи на основные горелки приводит к кратковременному падению температуры в печи на 50–75 °С.

Библиографический список

1. **Дзюзер, В. Я.** Электроплавленные AZS-огнеупоры для высокопроизводительных стекловаренных печей / В. Я. Дзюзер // Новые огнеупоры. — 2013. — № 7. — С. 50–52.

Dzyuzer, V. Ya. Electrofused AZS-refractories for high-capacity glass-founding furnaces / V. Ya. Dzyuzer // Refractories and Industrial Ceramics. — 2013. — Vol. 54, № 4. — P. 304–306.

2. **Дзюзер, В. Я.** Первичный разогрев стекловаренных печей / В. Я. Дзюзер // Огнеупоры и техническая керамика. — 2007. — № 10. — С. 28–32.

Сжигание газа с использованием горелок приводит к скачку температуры, стабилизация которой на уровне текущего состояния графика ведения нагрева занимает определенное время. Представляется правомерным переводить печь на отопление основными горелками до начала сжатия бадделеитокорундовых огнеупоров, т. е. при 920–950 °С.

На завершающем этапе разогрева печи ведется заполнение варочного бассейна расплавом. Около $\frac{2}{3}$ объема ванны наваривается стеклобоя, который засыпается по лоткам в загрузочные карманы. Темп загрузки определяется варочной способностью печи. Окончательная наварка расплава в ванне до заданного уровня производится с использованием рецептурной смеси шихты и боя, подаваемой штатными загрузчиками. Загрузка стеклобоя начинается при завершении термического расширения AZS-огнеупоров и закрытии температурных швов в дне и стенах ванны. Из данных рис. 1 следует, что начало наварки становится возможным при достижении 1350–1400 °С. Шихта в печь подается после завершения герметизации динасовой кладки свода.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Первичный разогрев стекловаренных печей представляется сложной технической задачей. Ее решение предусматривает не только разработку температурно-временного графика нагрева, учитывающего особенности термического расширения используемых для футеровки печи огнеупоров, но и определение температурных условий выполнения совмещенных технологических операций. Дифференцированный подход к заданию скорости подъема температуры в критических интервалах поведения огнеупоров позволяет на $\frac{1}{3}$ уменьшить продолжительность разогрева печи.

3. **Маневич, В. Е.** Сырьевые материалы, шихта и стекловарение / В. Е. Маневич, К. Ю. Субботин, В. В. Ефременков. — М. : РИФ «Стройматериалы», 2008. — 224 с. ■

Получено 12.12.14
© В. Я. Дзюзер, 2015 г.