

ОПТИМИЗАЦИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ НАГРЕВА  
В ПРОЦЕССАХ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Рубанов В.Г., Маматов А.В.

Нагрев является составной частью большинства химических технологических процессов. Динамика нагрева оказывает существенное влияние на показатели технологического процесса в целом. Так, при высокой интенсивности нагрева внутри вещества возникают значительные температурные градиенты, оказывающие, как правило, отрицательное влияние на качество продукции. Низкая же интенсивность нагрева приводит к увеличению времени технологических операций.

В производстве закаленного стекла для обеспечения высокой производительности закалочного оборудования и равномерной закалки стекла необходимо, чтобы время нагрева стекла до закалочной температуры было минимальным, а градиент температуры по толщине стекла при этом не превышал заданного значения. Сокращение времени нагрева может быть достигнуто за счет повышения интенсивности теплового воздействия, однако при этом увеличивается градиент температуры по толщине стекла, что может привести к неравномерности закалки и даже к разрушению стеклоизделия. Кроме того, интенсивность теплового воздействия ограничена эксплуатационными характеристиками оборудования печи.

Таким образом, задачу оптимизации динамических режимов нагрева можно рассматривать как задачу оптимального быстрого действия с ограничением переменных состояния.

Экспериментально установлено, что в промышленных печах нагрев стекла происходит значительно медленнее процесса, соответствующего модели абсолютно черного тела, и более точно описывается моделью из класса линейных динамических систем:

$$\begin{cases} \frac{dT_1}{dt} = \frac{T_u - T_1}{\tau_1}; \\ \frac{dT_2}{dt} = \frac{T_1 - T_2}{\tau_2}, \end{cases}$$

где  $t$  - время;

$T_u$  - температура источника излучения;

$T_1$  - температура поверхностного слоя;

$T_2$  - температура среднего слоя;

$\tau_1, \tau_2$  - постоянные времени.

В соответствии с принципом максимума Поэтрагина синтезирована оптимальная по быстродействию закон изменения температуры источника излучения:

$$T_{\text{из}} = \begin{cases} T_{\text{max}}, & T_1 - T_2 < \Delta T_{\text{max}}; \\ T_1 + \frac{\tau_1}{\tau_2 - \tau_1} \Delta T_{\text{max}}, & T_1 - T_2 = \Delta T_{\text{max}} \end{cases}$$

где  $T_{\text{max}}$  - максимальная допустимая температура источника излучения;

$\Delta T_{\text{max}}$  - максимальный допустимый градиент температуры по толщине стекла.

Таким образом, для минимизации времени нагрева стекла до закалочной температуры при ограничениях, накладываемых на градиент температуры по толщине стекла и на температуру источника излучения, процесс нагрева должен включать следующие режимы:

1) нагрев при максимальной температуре источника излучения до выхода градиента температуры по толщине стекла на предельный уровень;

2) стабилизация градиента температуры по толщине стекла на предельном уровне за счет изменения температуры источника излучения от минимального до максимального значения с постоянной скоростью;

3) нагрев стекла до закалочной температуры при максимальной температуре источника излучения.

Для всех указанных режимов интенсивность теплового воздействия в каждый момент времени процесса нагрева имеет максимальное при заданных ограничениях значение, за счет чего время нагрева стекла до закалочной температуры сокращается до минимума.

Динамические режимы нагрева в горизонтальных многосекционных печах задаются распределением температур и скоростей транспортировки по секциям, поэтому для реализации указанных режимов нагрева достаточно изменить скорость транспортировки и температурные режимы по секциям.

Оптимизация динамических режимов процесса нагрева позволяет увеличить производительность линии закалки, не нарушая при этом ограничения на градиент температуры по толщине стекла, и сократить количество брака за счет увеличения скорости транспортировки листов в размягченном состоянии.