

Анализ теплового состояния методической нагревательной печи в условиях периодического режима работы

С.П. Барков

*Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, ДНР,
Украина*

Аннотация: в данной статье рассматривается проблема изучения теплового состояния футеровки печи непрерывного действия находящейся в состоянии вынужденного простоя. Выделены основные причины из-за которых снижается теплосодержание футеровки печи: теплопередача от печного пространства через футеровку в окружающую среду, потери на нагрев атмосферного воздуха подсасываемого в рабочее пространство печи, и потери пела через глиссажные трубы. Для всех направлений потерь теплоты составлены расчетные зависимости позволяющие количественно оценить теплотери в любой произвольный момент времени. На основании теоретической проработки составлена расчетная методика позволяющая оценивать изменение остаточного теплосодержания во времени. Такая информация необходима для определения рациональных технологических параметров по выводу футеровки печи на заданное тепловое состояние после длительного простоя.

Ключевые слова: методическая печь, тепловые потери, огнеупорная кладка, динамика охлаждения.

За последние пять-семь лет в мировой экономике резко сократилось потребление металлопродукции особенно производимой мелкосортными станами металлургических заводов. На мировом рынке также упал спрос на такие виды прокатной продукции как уголки разных размеров, швеллера, круги, квадраты, шестигранники и другие виды, то есть практически большая часть востребованной ранее продукции, в частности это сказалось на структуре заказов получаемых в 2012-2014 годах Донецким металлургическим заводом на сортовой прокат. Резко сократился объем больших заказов по всем видам прокатного ряда и составляет в настоящее время от сотен до четырех-пяти тысяч тонн на конкретный вид продукции на единичный заказ.

Вынужденные простои нагревательной печи, а значит и прокатного стана могут достигать до 40% календарного времени в год со средней длительностью простоя до 5 суток. Методическая нагревательная печь эксплуатируемая на ДМЗ для нагрева квадратных заготовок под прокатку на стане 400, в отличие от современных печей отличается повышенными тепловыми потерями

Работа нагревательной печи в режиме "нагрев-охлаждение" потребовала определить наиболее рациональный и экономический способ уменьшения тепловых потерь в рабочем пространстве. Эта задача может быть решена как с использованием метода математического моделирования и оперативной диагностики на основе анализа моментальных тепловых балансов [1, 2], так и при помощи инженерных методик. В данной работе создается упрощенная инженерная методика расчета теплосодержания футеровки при вынужденном простое печи. Для таких печей потери тепла формируются по трем принципиально различным направлениям: через огнеупорную кладку, на нагрев атмосферного воздуха, поступающего в рабочее пространство через неплотность конструктивных элементов и огнеупорной кладки, охлаждение глиссажных труб в сварочной и методической зонах печи.

В данной работе исследовалась динамика охлаждения рабочего пространства печи в различных зонах при простое, позволяющая определить тепловое состояние каждой зоны для различных интервалов времени простоя печи. На основе законов теплообмена и с учетом экспериментальных данных составлена методика расчета тепловых потерь и разработана программа, позволяющая определить температуру внутренней поверхности кладки печи и остаточное аккумулированное тепло на любом временном интервале охлаждения печи.

Методика расчета тепловых потерь

- 1 Определение начального теплового потока
- 2 Определение температур на границах слоев
- 3 Определение величины аккумуляции каждого слоя
- 4 Определение общего тепла аккумуляции 1 м^2 кладки печи в начале I отрезка времени
- 5 Определение потерь тепла через кладку печи
- 6 Определение потерь тепла на нагрев атмосферного воздуха, поступающего в рабочее пространство печи
- 7 Определение потерь тепла через глиссажные трубы
- 8 Определение потерь тепла за один элементарный временной интервал охлаждения отдельной зоны или всей печи
- 9 Определение оставшегося аккумулированного тепла в кладке после одного интервала охлаждения
- 10 Определение оставшегося аккумулированного тепла в первом слое
- 11 Определение среднemasсовой температуры первого слоя после одного интервала охлаждения
- 12 Определение температуры внутренней поверхности первого слоя после одного временного интервала охлаждения
- 13 Определение теплового потока через многослойную кладку при полученной температуре поверхности первого слоя
- 14 Полученный тепловой поток является началом расчета следующего интервала охлаждения печи

В основу программы расчета было положено допущение о стационарности теплового состояния печи на малом временном интервале, что в первом приближении правомерно ввиду большой тепловой инерции в процессе охлаждения многослойной огнеупорной кладки. Так, расчеты показывают, что при охлаждении печи в течении одного часа количество первоначально накопленного аккумуляционного тепла уменьшается более чем на 0,5%.

Допущение о последовательном переходе печи от одного стационарного теплового состояния и следующего позволяет значительно упростить тепловые расчеты динамики охлаждения рабочего пространства без применения сложных уравнений Фурье для нестационарного нагрева или охлаждения различных тел. Тем более, что на решение нестационарной теплопроводности для многослойной кладки оказывают влияние три статьи охлаждения: от подсосанного воздуха, охлаждающего действия глиссажных труб, которые функционально связаны с температурным состоянием внутренней поверхности кладки, и потери через обмуровку печи.

Все три компонента охлаждающего действия тесно связаны друг с другом, что не позволяет найти общее дифференциальное уравнение динамики охлаждения печи.

Объем поступающего в рабочее пространство печи атмосферного воздуха можно выразить через формулу расхода для сужающего устройства щелевого типа с малым коэффициентом диафрагмирования и с небольшим значением критерия Рейнольдса:

$$V_{\text{возд}} = \varepsilon \cdot \alpha \cdot F \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{\rho}},$$

где ε - поправочный множитель на расширения измеряемой среды, равный 0,99;

α - коэффициент расхода для щелевых сужений определяемый по графику, и находящийся в интервале 0,55-0,60;

F - общее сечение всех неплотностей кладки печи а также крышек рабочих окон, м²;

ΔP - разряжение в рабочем пространстве печи после полного отключения газа и воздуха, Па;

ρ - плотность воздуха, кг/м³.

Общая величина всех неплотностей определялась во время остановки печи и измерялась по степени неплотного прилегания крышек окон к направляющим рамам. Так общая величина неплотностей между прилегающими плоскостями составила 0,22 м² с погрешностью не более +/- 10%. Разряжение в печи измерялось показывающим дифманометром и практически не изменялось в процессе остывания печи.

Температура подогрева воздуха, поступающего в рабочее пространство во время остановки печи и уходящего из рабочего пространства, зависит только от температуры внутренней поверхности

кладки. Ориентировочные расчеты на основе измерения неплотностей в кладке показали, что общий объем подсосанного воздуха распределяется по зонам следующим образом: 30-35% - томильная зона, 45-50% - сварочная зона, 15-20% - методическая. Сложность определения температуры подогрева воздуха расчетным путем затрудняется тем, что нагретый воздух томильной зоной поступает в следующие зоны, смешиваясь с новыми порциями холодного воздуха и на выходе из печи образуя усредненную температуру.

Скорость движения воздуха в различных поперечных сечениях печи по расчетным данным не превышает 0,2 м/с, что обеспечивает достаточно большой временной интервал контакта воздушного потока с внутренней поверхностью печи и температура воздуха должна быть близка к температуре поверхности кладки. Расчеты по формулам свободной конвекции для вертикальных (стены печи) и горизонтальных (свод) поверхностей показали сравнительно небольшую разницу температур между воздухом и нагретой поверхностью, которая не превышала 100 °С с небольшим уменьшением, а при длительном охлаждении, более 30 суток, разница температур должна быть незначительной. Для расчета охлаждения печи по разработанной программе принята разность температур между воздухом и стенкой 100 °С.

Потери тепла в глиссажных и поперечных трубах, находящихся в сварочной и методической зонах, зависят от температурного состояния печи. Для работающей печи эта система охлаждения отбирает 8-10% тепловой мощности, однако при отключении подачи топлива в связи с вынужденной остановкой и отсутствием металла в рабочем пространстве эти потери сокращаются по расчетным данным в 5-6 раз в самом начале остановки печи. По мере охлаждения печи эти потери должны заметно снижаться из-за отсутствия высокотемпературной газовой среды в рабочем пространстве и отсутствием теплового воздействия стальных заготовок на глиссажные трубы путем излучения и непосредственного контакта металла с глиссажными трубами.

Представлены пробные результаты расчета потерь тепла методической печи стана 400 Донецкого металлургического завода для двух случаев: при охлаждении печи действующей конструкции и для печи, внутреннюю поверхность которой предлагается покрыть изоляционными плитами, толщиной 0,05 м, с коэффициентом теплопроводности 0,06 (Вт/мК) [3].

Потери тепла печи действующей конструкции составили 4308 кВт.

Потери тепла печи с изоляционными плитами - 3896 кВт.

Такой способ изоляции применяется в кузнечных, термических и других печах, работающих в периодическом тепловом режиме а температурный уровень в них не отличается от условий нагрева металла в методической печи. Опыт эксплуатации таких печей в кузнечных цехах позволил резко сократить потери тепла на разогрев огнеупорной кладки в

промежутках между технологическими перерывами и снизить расход топлива.

Разработанная методика позволит с достаточной точностью прогнозировать тепловое состояние футеровки печи после простоев произвольной продолжительности. Эта информация необходима для определения рациональных технологических параметров по выводу печи в рабочее тепловое состояние.

Библиографический список

1. Бирюков А.Б. Диагностика нагревательных печей периодического действия на основании построения и анализа моментальных тепловых балансов / А.Б. Бирюков, Е.В. Новикова, Т.Г. Олешкевич // Промышленная теплотехника. - 2014. - Т.36 №2. - С. 29.

2. Современные подходы к диагностике процессов тепловой обработки металла в печах / А.Б. Бирюков, С.М. Сафьянц, А.А. Иванова, Е.Н. Андриенко // Черная металлургия. - 2015. - №1 (1381). - С. 50-55.

3. Бирюков А.Б. Методика для оценки влияния параметров реконструкции футеровки печей на энергосбережение при нагреве материалов / А.Б. Бирюков, И.С. Некрасов // Научные труды SWorld. – 2011. - Т.7 №4. - С. 29-31.