

УДК 669.041.001.24

Г96

Рецензент
доцент *В.М. Клемперт*

Гусовский В.Л., Лифшиц А.Е.

Г96 Теплотехника. Тепловой расчет печей периодического действия: Учеб.-метод. пособие. – М.: МИСиС, 2003. – 72 с.

Приведены общая характеристика печей, технологические требования по температурам и режимам нагрева и охлаждения металла, принципы выбора садки печи, особенности расчета теплообмена в рабочем пространстве и распределения температур в садке. Дана последовательность расчета нагрева и охлаждения металла, определения продолжительности производственного цикла, производительности печи, тепловой мощности и расхода топлива, других характеристик печи. Приведены примеры расчета камерной печи с выкатным подом и колпаковой печи.

Может быть использовано при курсовом и дипломном проектировании.

Предназначено для студентов всех специальностей направления «Металлургия».

© Московский государственный институт
стали и сплавов (Технологический
университет) (МИСиС), 2003

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|---|----|
| Предисловие | 4 |
| 1. Основные положения расчета печей периодического действия | 5 |
| 1.1. Назначение печей периодического действия | 5 |
| 1.2. Температуры нагрева и термообработки. Порядок расчета нагрева и охлаждения металла | 5 |
| 1.3. Садка и производительность печей периодического действия | 6 |
| 1.4. Тепловой баланс и удельный расход тепла для печей периодического действия | 7 |
| 2. Расчет нагревательных колодцев | 9 |
| 3. Расчет камерных печей | 11 |
| 3.1. Характеристика камерных печей | 11 |
| 3.2. Особенности теплового расчета камерных печей | 11 |
| 3.3. Пример расчета камерной печи с выкатным подом | 13 |
| 4. Расчет колпаковых печей | 40 |
| 4.1. Характеристика колпаковых печей | 40 |
| 4.2. Определение основных размеров и параметров колпаковой печи | 42 |
| 4.3. Расчет теплообмена под муфелем при нагреве рулонов | 43 |
| 4.4. Расчет теплообмена при охлаждении рулонов | 46 |
| 4.5. Расчет температурного поля в рулоне | 49 |
| 4.6. Тепловой баланс колпаковой печи | 51 |
| 4.7. Пример расчета колпаковой печи | 52 |
| Библиографический список | 71 |

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящее учебно-методическое пособие, посвященное тепловому расчету нагревательных и термических печей периодического действия, является заключительным этапом разработки учебно-методических пособий по курсу «Теплотехника», выпущенных МИСиС в 2002 году. Предыдущие выпуски охватывали проблемы теоретических основ расчета печей [4], выбора и расчета элементов печей [3], теплового расчета печей непрерывного действия [1].

Комплекс разработанных пособий охватывает все основные аспекты конструирования и теплового расчета нагревательных и термических печей различного назначения, знание которых необходимо студентам всех специальностей по направлению «Металлургия».

В настоящем пособии даны основные сведения, касающиеся назначения печей периодического действия, особенностей садки и определения производительности этих печей, составления их теплового баланса и расчета удельного расхода тепла.

Отражены особенности расчета нагревательных колодцев и камерных печей различного назначения. Исходные теоретические положения конкретизируются описанием теплового расчета камерных печей, включающего расчет нагрева металла, теплового баланса периодов нагрева, выдержки и определения параметров печи.

Рассмотрены характеристики колпаковых печей и особенности их теплового расчета при различных условиях нагрева и охлаждения рулонов.

Исходные теоретические положения конкретизируются подробными примерами тепловых расчетов камерной печи с выкатным подом и одностопной колпаковой печи для отжига рулонов стальной полосы при принудительной циркуляции защитного газа.

Примеры увязаны с формулами и теоретическими положениями, приведенными в предыдущих выпусках, с соответствующими многочисленными ссылками, которые помогут студентам в выполнении расчетов и усвоении учебного материала.

1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ РАСЧЕТА ПЕЧЕЙ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

1.1. Назначение печей периодического действия

В печах периодического действия металл, подвергаемый тепловой обработке, неподвижен, а тепловой и температурный режим работы печи является переменным во времени. Нагрев и охлаждение металла происходят вместе с печью. Загрузку печей осуществляют только после разгрузки предыдущей садки.

В печах периодического действия нагревают такой металл, который трудно транспортировать через печь непрерывного действия, или металл, требующий длительных режимов нагрева или термообработки. Применение печей периодического действия целесообразно также для небольших партий металла, требующих различных режимов нагрева или термообработки. В этом случае печи периодического действия оказываются более универсальными.

Основные виды печей периодического действия, применяемые в прокатном производстве черной металлургии, – это нагревательные колодцы, колпаковые и камерные печи. В этих печах обычно нагревают крупные слитки, подвергают термообработке рулоны полосы, пакеты прутков или труб, бунты проволоки, стопы слябов, крупные и имеющие сложную форму готовые изделия. Чаще всего печи периодического действия располагают в печном отделении большими группами (отделение нагревательных колодцев, отделение колпаковых печей).

1.2. Температуры нагрева и термообработки. Порядок расчета нагрева и охлаждения металла

Температуру нагрева под прокатку и режим термообработки определяют в зависимости от качества металла так же, как в непрерывных печах, предназначенных для тех же целей. Необходимую температуру средств нагрева и охлаждения выбирают в зависимости от вида этих средств и заданного режима аналогично непрерывным печам [1].

В печах периодического действия обычно нагревают садку сложной формы, поэтому значительную трудность представляет определение расчетных размеров и расчетных теплофизических свойств садки. Для получения этих данных можно пользоваться указаниями, приведенными в п. 13.3.2 [2]. В некоторых случаях, напри-

мер для нагревательных колодцев, определение характеристики садки настолько затруднительно, что в расчетах предпочитают пользоваться практическими данными.

Порядок расчета нагрева и охлаждения в печах периодического действия зависит от массивности изделия и режима нагрева или охлаждения (регламентированный или сколь угодно быстрый). Этот порядок такой же, как и в печах непрерывного действия [1].

1.3. Садка и производительность печей периодического действия

В печах периодического действия садку одной печи выбирают из условий рационального размещения изделий в рабочем пространстве печи и обеспечения необходимой интенсивности и равномерности их нагрева. Для некоторых печей периодического действия, например колпаковых печей для отжига рулонов полосы, величина садки полностью определяется конструкцией печи.

Приняв величину садки одной печи, определяют ее производительность (т/ч) по формуле

$$P = G/\tau, \quad (1.1)$$

где G – масса садки одной печи, т;

τ – продолжительность полного производственного цикла, ч, включающая продолжительность загрузки, технологического цикла, выгрузки и подготовки к следующей загрузке (например, очистка и заправка пода, охлаждение или подогрев и т.д.).

Если в печи нагревают или подвергают термообработке металл разных видов при различных режимах, то среднюю производительность определяют по формуле

$$P = \sum_{i=1}^m a_i P_i, \quad (1.2)$$

где m – число видов металла, отличающихся качеством, размерами, температурой посадки, режимами нагрева или термообработки и т.д.;
 a_i – доля металла i -го вида в программе печи, %;
 P_i – производительность печи, т/ч, на металле i -го вида, подсчитанная по формуле (1.1).

Размеры рабочего пространства печи определяются размерами размещаемой в рабочем пространстве садки.

1.4. Тепловой баланс и удельный расход тепла для печей периодического действия

Тепловой баланс для печей периодического действия составляют по методике, изложенной в гл. 1 [3].

В связи с тем, что расход топлива в печах периодического действия за время нагрева и выдержки меняется в широких пределах, обычно составляют отдельно тепловой баланс периодов нагрева и выдержки, а иногда приходится составлять несколько тепловых балансов.

При нагреве садки вместе с печью учитывают потери тепла на аккумуляцию тепла кладкой печи по методике, приведенной в гл. 1 [3], где даны расчетные формулы и графики для однослойной кладки. В случае многослойной кладки необходимо привести ее к однослойной той же толщины с эквивалентными свойствами:

эквивалентный коэффициент теплопроводности

$$\lambda_{\text{эКВ}} = \frac{\delta}{\sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}}, \quad (1.3)$$

эквивалентная плотность

$$\rho_{\text{эКВ}} = \frac{\sum_{i=1}^n \delta_i \rho_i}{\delta}, \quad (1.4)$$

эквивалентная теплоемкость

$$c_{\text{эКВ}} = \frac{\sum_{i=1}^n \delta_i \rho_i c_i}{\delta \rho_{\text{эКВ}}}, \quad (1.5)$$

эквивалентный коэффициент температуропроводности ($\text{м}^2/\text{ч}$)

$$a_{\text{эКВ}} = \frac{3,6\lambda_{\text{эКВ}}}{c_{\text{эКВ}}\rho_{\text{эКВ}}}. \quad (1.6)$$

Здесь δ – толщина стенки, м;

n – число слоев;

$\delta_i, \lambda_i, \rho_i, c_i$ – соответственно толщина, м; коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К); плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$, и теплоемкость, $\text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$, i -го слоя.

Начальный период нагрева характеризуется интенсивным потреблением тепла металлом и аккумуляцией тепла кладкой. Тепловой баланс в начальный период нагрева позволяет определить максимальный расход топлива на печь и тепловую мощность печи.

Период выдержки характеризуется минимальным потреблением тепла. Из теплового баланса в период выдержки определяют минимальный расход топлива на печь и необходимые пределы регулирования средств нагрева.

Тепловой баланс за весь период нагрева и выдержки дает возможность рассчитать средний расход топлива на печь и удельный расход тепла (кДж/кг), который для печей периодического действия определяют по формуле

$$q = 3,6 (Q_{\text{нагр}}\tau_{\text{нагр}} + Q_{\text{выд}}\tau_{\text{выд}})/G, \quad (1.7)$$

где $Q_{\text{нагр}}$ и $Q_{\text{выд}}$ – потребление тепла соответственно за период нагрева и выдержки, кВт*;

$\tau_{\text{нагр}}$ и $\tau_{\text{выд}}$ – продолжительность соответственно периода нагрева и выдержки, ч;

G – масса садки, т.

Далее рассмотрим особенности расчета конкретных печей периодического действия.

* Потребление тепла определяется в единицу времени, поэтому измеряется в киловаттах.