

№ 2325

С.И. Герцык
В.В. Чернов

Теплотехника

Тепловой расчет камерных печей

Учебное пособие

№ 2325

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ «НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИСиС»

Кафедра теплофизики и экологии металлургического производства

С.И. Герцык

В.В. Чернов

Теплотехника

Тепловой расчет камерных печей

Учебное пособие

Допущено учебно-методическим объединением по образованию
в области металлургии в качестве учебного пособия
для студентов высших учебных заведений, обучающихся
по направлению 150400 – Металлургия



Москва 2014

УДК 669.04
Г41

Рецензент
канд. техн. наук, доц. *В.Л. Гусовский*

Герцык, С.И.

Г41 Теплотехника : тепловой расчет камерных печей : учеб. пособие / С.И. Герцык, В.В. Чернов. – М. : Изд. Дом МИСиС, 2014. – 93 с.
ISBN 978-5-87623-769-9

Изложена последовательность теплового расчета камерных печей, работающих по непрерывному режиму. Даны принципы расчета горения топлива, определения времени нагрева и производительности печи. Приведены приложения, содержащие необходимые для расчета теплофизические и теплотехнические параметры газов и металлов, графические материалы, пример расчета камерной печи щелевого типа.

Для студентов, обучающихся по направлению 150400 «Металлургия», может быть использовано при выполнении курсовых работ, курсовом и дипломном проектировании.

УДК 669.04

ISBN 978-5-87623-769-9

© С.И. Герцык,
В.В. Чернов, 2014

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	4
1. Общая характеристика камерных нагревательных печей	5
2. Расчет горения топлива	6
3. Определение размеров рабочего пространства печи	10
4. Определение коэффициента теплоотдачи от печных газов к металлу	13
5. Определение температуры печи и температуры внутренней поверхности кладки	16
6. Расчет времени нагрева металла	188
7. Определение окончательных размеров рабочего пространства печи	23
8. Выбор огнеупоров для футеровки печи и определение толщины кладки	24
9. Определение расхода топлива	24
10. Пример расчета камерной (щелевой) печи	33
Библиографический список	58
Приложения	59

ПРЕДИСЛОВИЕ

Нагревательные и термические печи являются теплотехническими агрегатами, предназначенными для осуществления определенного технологического процесса. Основная теплотехническая задача – передать тепло нагреваемому металлу (нагревательные печи) или отнять тепло у нагретого металла (некоторые термические печи) в соответствии с технологией его нагрева или термообработки. Поэтому определяющим процессом для печного агрегата является теплопередача, расчет которой является основной составляющей расчета и в дальнейшем проектирования собственно печи.

Расчет теплопередачи дает возможность найти размеры рабочего пространства и производительность печи, а также выбрать газогорелочные устройства с необходимыми гидравлическими и теплотехническими характеристиками.

Расчеты, необходимые для разработки теплоутилизационных устройств, механического оборудования и гидравлические расчеты системы удаления продуктов горения топлива из рабочего пространства печи должны выполняться с использованием учебной и справочной литературы.

Расчеты тепловых агрегатов могут выполняться в трех вариантах.

1. Заданы начальное и конечное температурные состояния металла и условия теплообмена.

Требуется определить продолжительность тепловой обработки. В этом случае необходимо определить размеры печного пространства.

2. Заданы начальное и конечное температурные состояния металла и продолжительность тепловой обработки.

Требуется рассчитать условия теплообмена. В этом случае необходимо выбрать средства нагрева (охлаждения) и определить их характеристику.

3. Заданы начальное температурное состояние металла, условия теплообмена и продолжительность тепловой обработки.

Требуется определить конечное температурное состояние металла. Такая задача возникает при расчете нагрева (охлаждения) металла в отдельных зонах печи или на расчетных участках.

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КАМЕРНЫХ НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ

Камерные нагревательные печи предназначены для нагрева металла перед обработкой давлением или для термической обработки. Основными типами таких печей являются печи с выкатным подом, щелевые, двухкамерные, однокамерные двухдверные или с одной дверью. В таких печах нагревают прямоугольные (квадратные) заготовки толщиной от 40 мм, шириной от 60 мм и длиной от 0,6 м и круглые заготовки диаметром от 40 мм.

В таких печах чаще всего осуществляется открытый нагрев металла продуктами сгорания газообразного или жидкого топлива.

С увеличением толщины нагреваемого металла (более 100 мм) возникает необходимость двустороннего нагрева, для чего организуют зоны нижнего обогрева.

Конечная температура поверхности металла зависит от технологии последующей пластической деформации (прокатка, ковка и штамповка), качества (марки) металла, расстояния от печи до стана и пр. Конечный перепад температуры по толщине металла также зависит от вида металла и условий его дальнейшей обработки.

Режим нагрева металла – обычно камерный с постоянной температурой газов по объему печи. Температура газов в печи принимается в зависимости от назначения печи и качества нагреваемого металла.

Тепловой расчет печи начинают с расчета горения топлива. Составы топлив приведены в Приложении 1.

2. РАСЧЕТ ГОРЕНИЯ ТОПЛИВА

До расчета горения топлива необходимо выбрать тип топливосжигающего устройства. Выбор топливосжигающего устройства зависит от вида топлива (твердое, жидкое или газообразное), от режима работы печи (радиационный или конвективный), от условий сжигания топлива и пр. Более 65 % промышленных печей отапливаются газообразным топливом, сжигаемым в горелках различных типов и конструкций. Выбор типа горелочного устройства зависит от calorificity топлива, давления газа и воздуха, поступающих в горелку, производительности горелки и т.п.

Основным классификационным признаком горелок является способ смешения топлива и воздуха. По этому признаку горелочные устройства подразделяются на следующие группы:

– горелки полного предварительного смешения топлива и воздуха, обеспечивающие кинетическое горение. К этой категории относятся инжекционные горелки и радиационные (чашечные, панельные и др.), работающие с коэффициентом расхода воздуха $n = 1,02 \dots 1,03$;

– горелки без предварительного смешения топлива и воздуха, называемые горелками с внешним смешением, обеспечивающие диффузионное горение. К ним относятся горелки типа «труба в трубе», работающие с коэффициентом расхода воздуха $n = 1,1 \dots 1,15$ (при использовании этих горелок в конструкциях радиационных труб коэффициент расхода воздуха достигает значений, равных $n = 1,2 \dots 1,25$);

– горелки промежуточного типа, в которых смешение топлива с воздухом частично происходит в горелках, а окончательно – в зоне горения, т.е. в рабочем пространстве печи. К горелкам этой категории относятся турбулентные, щелевые, плоскопламенные и другие горелки, работающие с коэффициентом расхода воздуха $n = 1,05 \dots 1,08$.

В соответствии с выбранным типом горелки выбирается коэффициент расхода воздуха и выполняется расчет горения топлива.

Расчет горения топлива выполняют для определения:

- а) низшей теплоты сгорания рабочего топлива, Q_n^p ;
- б) расхода воздуха, идущего на горение единицы топлива $L_n, \text{м}^3/\text{м}^3 (\text{м}^3/\text{кг})$ при выбранном коэффициенте расхода воздуха n ;
- в) состава и количества продуктов горения V_n , образующихся при сжигании единицы топлива (%CO₂; %SO₂; %H₂O; %O₂; %N₂) при выбранном коэффициенте расхода воздуха;
- г) плотности продуктов горения при нормальных условиях (ρ_0^d);
- д) температуры горения топлива.

Зная состав топлива, необходимо рассчитать его низшую теплоту сгорания (калорийность) Q_n^p , кДж/кг, кДж/м³;

– для твердого и жидкого топлива расчет ведут по формуле Менделеева:

$$Q_n^p = 339,1C^p + 1030H^p + 108,9(O^p - S^p) - 25W^p; \quad (2.1)$$

– для газообразного – необходимо суммировать произведения тепловых эффектов реакций горения горючих компонентов на их долю в топливе, кДж/м³:

$$Q_n^p = 126,27 \cdot \%CO + 107,89 \cdot \%H_2 + 358,3 \cdot \%CH_4 + \\ + 590,55 \cdot \%C_2H_4 + \dots \quad (2.2)$$

Следует записать реакции горения горючих компонентов топлива (Приложение 2). Дальнейший расчет горения топлива целесообразно производить на 100 м³ (газовое топливо) или на 100 кг (твердое и жидкое топливо) в форме таблицы (Приложение 3).

Определение количества воздуха, количества и состава продуктов горения производится сначала при стехиометрических соотношениях горения ($n = 1$), а затем при выбранном коэффициенте расхода воздуха n . В нижней строке таблицы приводится процентный состав продуктов горения топлива. Под таблицей приводятся следующие данные:

L_0 – теоретически необходимое количество воздуха для сжигания единицы топлива при стехиометрических соотношениях горения, м³/м³;

L_n – действительное количество воздуха, необходимое для сжигания единицы топлива при выбранном коэффициенте расхода воздуха, м³/м³;

V_0 – количество продуктов горения, образующихся при сгорании единицы топлива при стехиометрических соотношениях горения, м³/м³;

V_n – действительное количество продуктов горения, образующихся при сгорании единицы топлива при выбранном коэффициенте расхода воздуха, м³/м³.

Для проверки правильности расчета горения топлива составляется материальный баланс горения в единицах массы либо на 100 молей, либо на 100 м³ (100 кг) топлива – см. Приложение 4. По данным материального баланса определяется плотность продуктов горения при нормальных условиях, кг/м³, по соотношению

$$\rho_0^n = M/V_n, \quad (2.3)$$

где M – масса продуктов горения, кг.

Заключительной частью расчета горения топлива является определение температуры горения топлива. Это необходимо для того, чтобы выяснить, обеспечивает ли данное топливо необходимый температурный уровень работы печи, и если не обеспечивает, то определить необходимую степень подогрева воздуха и (или) низкокалорийного топлива.

Очевидно, что для нагрева металла максимальная температура печных газов T_{Γ}^{\max} должна превышать конечную температуру нагрева металла $T_{\text{М}}^{\text{пов}}$ на определенную величину. Так, в термических печах поддерживают максимальную температуру газов, превышающую конечную температуру металла на 50...70 °С, в кузнечных и прокатных печах – на 100...150 °С. Большую разность температур допускают в печах скоростного нагрева и сварочных зонах методических печей.

Таким образом, максимальная температура газов в печи может быть определена как

$$T_{\Gamma}^{\max} = T_{\text{М}}^{\text{пов}} + \Delta T. \quad (2.4)$$

Для получения этой температуры необходимо, чтобы топливо обеспечивало более высокую расчетную температуру горения T_{Γ}^{\max} , которая должна быть равной

$$T_{\text{расч}}^{\text{гор}} = T_{\Gamma}^{\max} / \eta_{\text{пир}}. \quad (2.5)$$

В этом выражении $\eta_{\text{пир}}$ – опытный пирометрический коэффициент, определяемый конструкцией печи и условиями сжигания топлива (Приложение 5). Следует отметить, что даже, если топливо обеспечивает необходимую температуру печных газов, в конструкциях современных промышленных печей всегда предусматривается установка теплоутилизационного устройства для подогрева воздуха горения. Подогрев компонентов горения (воздух и низкокалорийное топливо) сокращает расход топлива (экономия достигает 12...15 %) и снижает валовые выбросы вредных веществ в атмосферу.

Максимальная (калориметрическая) температура горения топлива определяется методом последовательных приближений. Сначала находят энтальпию продуктов горения ($i_{\text{д}}$) с учетом подогрева компонентов горения в теплоутилизационных устройствах по соотношению:

$$i_{\text{д}} = \frac{Q_{\text{н}}^{\text{п}} + L_{\text{н}} i_{\text{в}} + i_{\text{т}}}{V_{\text{н}}}, \quad (2.6)$$