

## 1. Печи непрерывного действия

Из большого числа разновидностей печей сопротивления непрерывного действия в черной металлургии нашли применение печи с роликовым подом (используемые для термической обработки толстого листа, прутков, труб и сортового проката, а также бунтов проволоки и рулонов) протяжные печи (используемые для термической обработки жести, полосы из углеродистой стали, электротехнической стали и др.).

*Печи сопротивления с роликовым подом* отличаются в основном тем, что вместо горелок на их стенах и на своде устанавливаются электрические нагреватели сопротивления. При нагреве металла в защитной атмосфере (например при светлом отжиге шарикоподшипниковых заготовок в виде труб, бунтов проволоки и т.п.), печи с роликовым подом оборудуются загрузочной и разгрузочной шлюзовыми камерами. После загрузки изделий в загрузочную камеру из нее откачивается воздух, а после этого камера заполняется инертным газом или специальной атмосферой. Затем производится передача металла в камеры нагрева и выдержки. Шлюзование металла в загрузочной и разгрузочной камерах нарушает непрерывность движения изделий в печи. В связи с этим время цикла термообработки и, соответственно размеры печи при ее заданной производительности определяются не только требуемой длительностью нагрева, выдержки и охлаждения металла в рабочей камере печи, но и временем пребывания металла в шлюзовых камерах.

Ролики, работающие в тяжелых условиях, выполняют обычно из хромоникелевых жаропрочных сталей. Расстояние между роликами обусловлено видом нагреваемых изделий; при нагреве коротких изделий оно составляет 1 – 2 диаметра ролика, а в печах для нагрева длинных изделий может быть доведено до 3 – 4 диаметров ролика, за исключением нагрева тонких листов или труб, когда возможно западание переднего торца нагреваемых изделий между роликами. Привод печного рольганга чаще всего выполняется групповым с помощью приводной цепи, звездочек, редуктора и электродвигателя. Подшипниковые узлы роликов (обычно охлаждаемые) оборудуются газоплотными коробками, в которые подается та же атмосфера, что и в рабочую камеру печи с тем, чтобы исключить образование в них газовой смеси.

Печь может работать круглосуточно (тогда циклы непрерывно следуют друг за другом) или с перерывами – в одну или две смены.

По второму способу камерные печи сопротивления создают несколько температурных зон в соответствии с требуемым графиком обработки изделия. Обрабатываемое изделие перемещается с заданной скоростью от загрузочного окна к разгрузочному. При такой организации процесса возможно движение изделий непрерывным потоком. Это печи непрерывного действия (методические).

Эти печи используют в условиях серийного производства, автоматизация технологического процесса предполагает обеспечение:

1. Автоматического перемещения изделия с заданной скоростью внутри печи.
2. Автоматическую подачу необработанных изделий и уборки обработанных.
3. Автоматическая стабилизация  $t^{\circ}$  в температурных зонах печи.

Печи непрерывного действия особенно удобны для работы в поточных технологических линиях с металлообрабатывающими станками и другими агрегатами и устройствами.

2. Работа любой печи характеризуется определенным набором количественных, геометрических и теплотехнических параметров, которые определяют их возможности при решении заданных технологических задач.

### **1 Количественные и геометрические параметры работы**

**Количественные параметры** печи характеризуют объемы процесса тепловой обработки, производимого в ней. Самым основным количественным параметром работы печи является ее производительность. Для характеристики печи обычно используют два понятия производительности - это общая производительность и удельная производительность.

В печах периодического действия количественные параметры характеризуются количеством изделий массой или объемом материала (садкой), загружаемых в рабочее пространство (т; м<sup>3</sup>; шт.), а также временем цикла тепловой обработки (час).

**Общая производительность печи** (G; M; V; L) характеризует количественные ее возможности по тепловой обработке материала (т/час; м<sup>3</sup>/час; шт/час; т/цикл; шт/цикл). Именно общая производительность печи совместно с такими характеристиками, как размеры материала, назначение тепловой обработки и режим тепловой работы, определяют размеры ее рабочего пространства.

**Удельная производительность печи** (g; m; v) характеризует интенсивность ее работы. Данный параметр определяет производительность работы единицы площади пода или единицы объема рабочего пространства печи [(кг/(м<sup>2</sup>·час); кг/(м<sup>3</sup>·час)]. Удельную производительность называют *массовой напряженностью пода* или *массовой напряженностью рабочего пространства*. Например, для современных нагревательных печей массовая напряженность пода составляет 550-570 кг/(м<sup>2</sup>·час).

Для оценки интенсивности работ печей периодического действия, работающих циклически, вводят понятие *условной производительности*. Ее определяют отношением массы или объема «садки» к времени технологического цикла тепловой обработки (т/час; м<sup>3</sup>/час; шт/час).

**Геометрические параметры** печи характеризуют ее возможности при тепловой обработке материала или изделий, исходя из их габаритных размеров и плотности упаковки. Геометрические параметры печи должны быть связаны с ее производительностью. К геометрическим параметрам печи можно отнести:

- размеры рабочего пространства (высота, длина, ширина; или площадь пода; или площадь поперечного сечения и длина);
- объем рабочего пространства;
- коэффициент загрузки рабочего пространства;
- габаритные размеры печи.

### **2 Теплотехнические параметры работы**

Теплотехнические параметры характеризуют тепловую работу печи. К ним можно отнести следующие параметры: рабочую температуру печи и температурный режим ее работы; тепловую нагрузку и тепловой режим ее работы; тепловую мощность; удельную тепловую мощность; коэффициент форсирования; тепловое напряжение рабочего пространства; удельный расход тепловой энергии или технологического топлива.

Рабочая температура печи ( $T_p$ ) - это максимальная температура, которая может использоваться в данной печи для тепловой обработки ма

териала. Данный параметр определяет предельные возможности печи по тепловой обработке материала.

Температурный режим работы (ТЖТ) - это заданный график изменения температуры в печи во времени (К/с). Данный параметр назначается исходя из технологических задач нагрева (температурного графика нагрева) материала.

Тепловая нагрузка ( $W_n$ ) - это количество тепловой энергии, подаваемое в рабочее пространство печи в единицу времени (Вт). Тепловая нагрузка определяется тепловым режимом печи.

В топливных печах тепловую нагрузку часто характеризуют расходом технологического топлива ( $B$ ) в единицу времени (кг/час; м<sup>3</sup>/час; кг/с; м<sup>3</sup>/с).

Тепловой режим печи ( $W_n(t')$ ) - это график изменения тепловой нагрузки во времени (Вт/с). Тепловой режим должен поддерживать заданный температурный режим печи.

Тепловая мощность печи ( $W_{max}$ ) - это наибольшее количество тепловой энергии, которое можно подать в печь в единицу времени (Вт). Тепловая мощность характеризует тепловые возможности печи.

Удельная тепловая мощность ( $\varpi_{max}$ ) - это тепловая мощность, отнесенная к единице площади печи  $B_p$  или единице объема рабочего пространства  $U_{p,п}$ . (Вт/м<sup>2</sup>; Вт/м<sup>3</sup>):

$$\varpi_{max} = \frac{W_{max}}{F_n}; \quad \varpi_{max} = \frac{W_{max}}{V_{p.п.}} \quad (1.51)$$

Коэффициент форсирования ( $K_\phi$ ) - это отношение тепловой мощности к средней тепловой нагрузке за время работы печи:

$$K_\phi = \frac{W_{max}}{W_{n.cр.}} \quad (1.52)$$

Тепловое напряжение (тепловая напряженность) рабочего пространства ( $\vartheta_n$ ) - это номинальная тепловая нагрузка печи ( $W_{n.нМ}$ ), отнесенная к единице площади пода ( $F_p$ ) или к единице свободного объема рабочего пространства ( $U_{p,п}$ ):

$$\varpi_n = \frac{W_{н.ном.}}{F_n}; \varpi_n = \frac{W_{н.ном.}}{V_{р.н.}} \quad (1.53)$$

$$\varpi_n = (60 - 1200) \text{ (кВт м}^3\text{)}$$

Тепловая напряженность может изменяться в достаточно широком пределе:

В электрических печах сопротивления вместо теплового напряжения используется понятие удельная поверхностная мощность - это номинальная тепловая нагрузка ( $W_{п.ном.}$ ), отнесенная к единице поверхности нагревателя.

Удельный расход тепловой энергии или технологического топлива (& уд! Вуд) - это расход тепловой энергии или технологического топлива на единицу массы материала, подвергаемого тепловой обработке (Дж/кг; Вт/кг; кг/кг; м /кг).

### 1.10.3. Энергетический к.п.д. печей

В топливных печах эффективность тепловой работы характеризуется общим тепловым к.п.д. печи ( $\eta_0$ ), который равен отношению количества полезно затраченной теплоты ( $Q_{т>}$ ) к общей тепловой энергии, вводимой в печь:

$$\eta_0 = \frac{Q_n}{(B \cdot Q_n^p + Q_{ф} + Q_{доп})}, \quad (1.54)$$

где  $Q_n$  - низшая теплотворная способность топлива (Дж/кг или Дж/м<sup>3</sup>);

$B$  - расход топлива на сжигание в печи (кг; м<sup>3</sup> или кг/с; м<sup>3</sup>/с);

$Q_{ф}$  - физическое тепло топлива и дутьевого воздуха, вносимые в печь (Дж или Дж/с);

$Q_{п}$  - полезно затраченная теплота (Дж или Дж/с);

$Q_{доп}$  - дополнительно вводимая теплота в печь (Дж или Дж/с).

Для электрических печей характерны три показателя к.п.д.: электрический; тепловой; общий.

Электрический к.п.д. - это отношение количества электроэнергии, поступившей в печь, к количеству электроэнергии, поданной от силовой сети к печной установке:

$$\eta_{э} = \frac{W_n}{W_c}, \quad (1.55)$$

где  $W_n$  - электрическая мощность, поступившая в печь (Вт);

$W_c$  - электрическая мощность, поданная к печной установке от силовой сети (Вт).

Электрический к.п.д. печи характеризует количество потерь электроэнергии электрооборудованием печной установки.

Тепловой к.п.д. электрической печи - это отношение полезно затраченной тепловой энергии ( $Q_n$ ) ко всей энергии, поступившей в рабочее пространство печи:

$$\eta_{\tau} = \frac{Q_n}{W_n + W_{доп}}, \quad (1.56)$$

где  $W_n$  - электрическая мощность, поступившая в печь (Вт);

$W_{доп}$  - дополнительно введенная тепловая энергия в рабочее пространство печи (Вт).

Общий к.п.д. электрической печи - это отношение полезной тепловой энергии ( $Q_p$ ) к общей электроэнергии ( $W_c$ ), подаваемой от силовой сети к печной установке:

$$\eta_o = \frac{Q_n}{W_c}, \quad (1.57)$$

Если дополнительно введенная тепловая энергия в рабочее пространство печи равна нулю ( $W_{доп} = 0$ ), то общий к.п.д., в данном случае, будет равен:

$$\eta_o = \eta_{\tau} \cdot \eta_m \quad (1.58)$$