

ОСНОВЫ МАШИНОВЕДЕНИЯ

Лабораторная работа

Тема: Определение термического КПД электрической печи сопротивления

Цель работы

Экспериментально определить теплосодержание металла после его нагрева, изменение температуры и плотности теплового потока и рассчитать КПД печи.

Общие сведения

Электронагрев достаточно широко используется в промышленности, сельском хозяйстве и быту, что обусловлено энергетическими, технологическими, социальными и экологическими преимуществами, присущими этому виду теплогенерации. Электрические печи, установки и агрегаты разнообразны по назначению, конструктивному исполнению, размерам и характерным признакам. Электрические печи *классифицируются* по способу преобразования электрической энергии в тепловую, по схеме подвода тепла и режиму тепловой обработки следующим образом:

- печи сопротивления;
- индукционные печи;
- установки диэлектрического нагрева;
- дуговые печи;
- электронно-лучевые установки;
- лазерные установки.

Нормальная работа электрической печи возможна только в комплексе с силовым и вспомогательным электрооборудованием и соответствующей аппаратурой. Все это входит в понятие "**электропечная установка**" как комплекса теплотехнического оборудования, состоящего из трех частей:

- 1) *собственно печи*, в которой происходит преобразование электрической энергии в тепловую и нагрев металла;
- 2) *печной электрической подстанции*, где размещают необходимое электрооборудование и аппаратуру;

3) *пульты управления*, на который выводят кнопки и ручки управления электропечной установкой и вспомогательными механизмами печи, а также приборы контрольно-измерительной аппаратуры.

Основными параметрами электропечной установки являются:

- 1) *мощность преобразователя электрической энергии* или пропорциональная ей тепловая мощность, вводимая в печь;
- 2) *размеры печи* (например, объем или определяющий линейный размер);
- 3) *вместимость (садка) печи*, т.е. количество металла, выдаваемого печью периодического действия за один цикл или за одну плавку. Для печей непрерывного действия в качестве параметра принимают часовую производительность, характеризующую массовую скорость нагрева.

На машиностроительных заводах электрические печи используют для плавления, выдержки и дозированной разливки чугуна, стали, вторичных цветных металлов и сплавов при получении из них фасонного литья (в литейных цехах), для нагрева заготовок перед пластической деформацией (в кузнечных цехах), для термохимической обработки деталей и изделий (в термических цехах) и др. Наиболее широкое применение нашли печи сопротивления, например для сушки стержней и форм в литейных цехах.

Печи сопротивления делятся на несколько групп:

- *печи прямого действия* (подвод энергии осуществляется прямо в зону технологического процесса);
- *печи косвенного действия* (теплогенерация происходит в нагревательных элементах, обладающих необходимыми электрофизическими свойствами);
- *вакуумные печи сопротивления* (нагрев в вакууме или атмосфере инертных газов);
- *плавильные печи сопротивления* (печи для плавки – тигельные, камерные, барабанные).

При работе электропечной установки имеют место два вида потерь энергии – **тепловые потери** (в рабочем пространстве печи) и **электрические потери** (в составных частях электропечной установки). Это приводит к необходимости составлять дополнительно к тепловому балансу энергетические балансы. То есть энергия расходуется:

- на проведение технологического процесса;
- на нагрев футеровки и конструкции в рабочем пространстве печи;
- на компенсацию тепловых потерь из рабочего пространства печи;

- на компенсацию электрических потерь в составных частях электропечной установки и токовода.

Важным критерием оценки эффективности работы печи является коэффициент полезного действия печи (КПД). Различают электрический, термический и общий КПД.

Термический КПД представляет собой отношение теплоты, затраченной на полезную работу, ко всей теплоте, полученной печью:

$$\eta = \frac{Q_{пол}}{Q_{прих}} \cdot 100\%,$$

где $Q_{пол}$ - полезное тепло, Дж. Это тепло, которое расходовалось на нагрев металла (образца):

$$Q_{пол} = m(t_k C_{t_k} - t_n C_{t_n}) = m(h_k - h_n),$$

здесь m - масса металла (образца), кг;

t_k, t_n - соответственно, конечная и начальная температура металла, $^{\circ}\text{C}$;

C_{t_k}, C_{t_n} - массовая теплоемкость металла, соответственно при конечной и начальной температурах, Дж/(кг $\cdot^{\circ}\text{C}$);

h_k, h_n - соответственно конечное и начальное теплосодержание (энтальпия) металла, Дж/кг;

$Q_{прих}$ - теплота, полученная печью за время ее работы, Дж.

Для электрических печей, в которых электрическая энергия превращается в тепловую, приход тепла определяется по формуле

$$Q_{прих} = IU\tau,$$

где I - сила тока, А;

U - напряжение, В;

τ - время прохождения тока, с.

Для топливных печей, в которых сжигается топливо, $Q_{прих}$ определяют по формуле

$$Q_{прих} = BQ_n^P \tau,$$

где B - расход топлива, м³/с;

Q_n^P - низшая рабочая теплота сгорания топлива, Дж/м³;

τ - время работы устройства для сжигания топлива, с.

Тепло, затраченное на нагрев металла, можно не только рассчитывать

по формулам, но и определить **опытным путем**. Для этого используют специальные устройства – калориметры. Они представляют собой сосуды с водой, имеющие хорошую теплоизоляцию, устройство для перемешивания воды и термометр для измерения температуры воды. Тепло, полученное металлом в печи, передается им в калориметре воде, температура которой повышается. Это количество теплоты можно определить по формуле с учетом теплоты, затраченной на нагрев сосуда калориметра:

$$Q_k = m_v C_v (t_k - t_H) + m_c C_c (t_k - t_H),$$

где m_v - масса воды в калориметре, кг;

C_v - теплоемкость воды, Дж/(кг·°C);

t_k, t_H – соответственно конечная и начальная температура воды и сосуда калориметра, °C ;

m_c - масса сосуда калориметра, кг;

C_c - теплоемкость материала сосуда, Дж/(кг·°C).

Согласно закону сохранения энергии $Q_{пол}$ должно быть равным Q_k . Однако на практике из-за погрешностей при измерениях и использования средних величин $Q_{пол}$ может быть отличным от Q_k .

При нагреве металла отмечается неравномерность нагрева его как по сечению, так и с течением времени. Это объясняется изменением теплофизических свойств металла с ростом температуры. Поэтому представляет практический интерес определение зависимости скорости повышения температуры металла и плотности теплового потока от времени. Важно также определить, как меняется КПД печи в процессе нагрева.

Как уже отмечалось выше, большую часть потерь тепла в электрических печах сопротивления составляют потери тепла теплопроводностью через кладку печи, потери тепла на нагрев кладки печи, потери тепла излучением через открытые окна и щели в кладке печи, потери с горячим воздухом или защитным газом, выходящим через неплотности в печи. В связи с этим термический КПД электрических печей сопротивления в зависимости от вида печи колеблется в широких пределах:

- печи прямого действия - $\eta_m \approx 0,85 \dots 0,95$;
- печи косвенного действия - $\eta_m \approx 0,15 \dots 0,7$;
- вакуумные печи - $\eta_m \approx 0,25 \dots 0,4$;
- плавильные печи - $\eta_m \approx 0,15 \dots 0,4$.

Описание лабораторной установки

Установка (рис.2.21) состоит из электрической печи сопротивления 1, содержащей нагревательный элемент в виде нихромовой проволоки 2, огнеупорный внутренний слой кладки 3, в котором расположена проволока 2, теплоизоляционный слой кладки 4 и металлический корпус 5. В рабочем пространстве печи установлен металлический образец 6 с термопарой 7, подключенной к милливольтметру 8. Сила тока, приходящего через нагреватель 2, определяется амперметром 9, а напряжение – вольтметром 10. Рабочее пространство закрыто сверху теплоизоляционной крышкой 11, имеющей отверстие 12 для вывода проводников термопары 13 и 14. В работе используется также калориметр 15, представляющий собой сосуд 16, размещенный в корпусе 17 с кольцевым зазором, заполненным теплоизоляционным материалом 18. Сосуд 16 заполнен водой 19 и закрывается крышкой 20 с отверстием для ввода термометра 21. Образец 6 устанавливается в сосуд 16 на изоляционную подкладку 22.

Принцип действия термопары основан на возникновении термоЭДС между горячим и холодным спаем проводников 13 (хромель) и 14 (алюмель) с различными теплофизическими свойствами. Разность потенциалов пропорциональна разности температур.

Ход работы

1 В рабочее пространство печи поместить образец 6, установить термопару 7 и закрыть печь крышкой 11.

2 Включить установку в сеть.

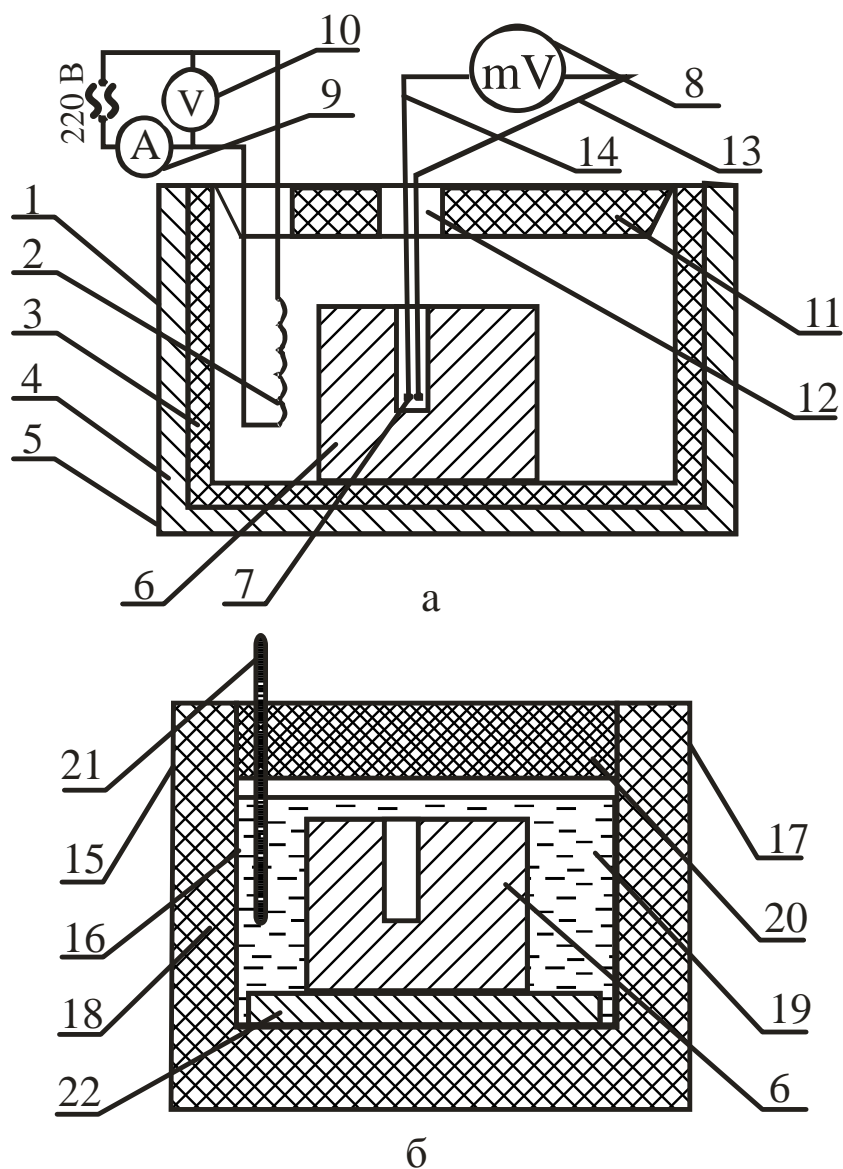
3 Измерить силу тока, напряжение и температуру образца и занести результаты в таблицу результатов измерений 2.11. Зафиксировать время начала работы печи.

4 Через каждые 100°С нагрева образца фиксировать время достижения температуры, силу тока и напряжение и заносить данные в таблицу результатов измерений.

5 Измерить начальную температуру воды в калориметре и занести результат в таблицу 2.11.

6 После нагрева образца до 300°С вынуть его из печи и поместить в калориметр. Определить максимальную температуру воды (примерно через 10 мин после помещения образца в воду) и занести ее в таблицу 2.11.

7 Убрать образец из калориметра.



а – электрическая печь; б – калориметр

Рисунок 2.21 – Схема лабораторной установки

Таблица 2.11 – Результаты измерений

№	Время нагрева, с	Темпе- ратура образца, $^{\circ}\text{C}$	Величи- на тока, А	Напряжение, В	Температура воды в ка- лориметре, $^{\circ}\text{C}$	
					начальная $t_{\text{В}}^{\text{Н}}$	конечная $t_{\text{В}}^{\text{К}}$
1						
2						
3						

Порядок расчета

1 Определить массу образца:

$$m = V\rho = \frac{\pi d^2}{4} l \rho ,$$

где V - объем образца, м³;

d - диаметр образца, м, $d = 0,055$ м;

l - длина образца, м, $l = 0,12$ м;

ρ - плотность стали, кг/м³, $\rho = 7800$ кг/м³.

2 Определить количество теплоты, полученное образцом в каждом интервале (20...100°C; 100...200°C; 200...300°C):

$$Q_{пол} = m_0(h_k - h_n),$$

где h_k , h_n – соответственно, теплосодержание образца при конечной и начальной температурах, кДж/кг, выбирается по таблице 2.12.

Таблица 2.12 – Теплосодержание стали

Температура образца, °C	20	100	200	300
Теплосодержание ста- ли, кДж/кг	8,4	48,8	102,0	156,6

3 Определить приход тепла в печь для каждого интервала температур:

$$Q_{прик} = IU\tau \cdot 10^{-3},$$

где τ - время нагрева образца в каждом интервале, с.

4 Определить общее количество полезно затраченного тепла:

$$Q_{пол} = Q_{пол1} + Q_{пол2} + Q_{пол3}.$$

5 Определить термический КПД печи для каждого интервала нагрева:

$$\eta = \frac{Q_{пол}}{Q_{прик}} \cdot 100\% .$$

6 Определить плотность теплового потока на поверхности нагреваемого образца для каждого интервала времени:

$$q = \frac{Q_{пол}}{F\tau},$$

где F - площадь поверхности образца, м,

$$F = \pi dl + \frac{\pi d^2}{4}.$$

7 Определить количество теплоты, переданное образцом калориметру:

$$Q_k = (m_b C_b + m_c C_c)(t_b^K - t_b^H),$$

где m_b - масса воды в калориметре, кг, $m_b = 7$ кг;

C_b - теплоемкость воды, кДж/(кг·°C), $C_b = 4,21$ кДж/(кг·°C);

m_c - масса сосуда калориметре, кг, $m_c = 3$ кг;

C_c - теплоемкость материала сосуда, кДж/(кг·°C),

$C_c = 0,56$ кДж/(кг·°C);

t_b^H - начальная температура воды и сосуда, °C;

t_b^K - конечная температура воды и сосуда, °C.

8 Определить погрешность расчета количества теплоты, полученного образцом:

$$\Delta Q = \left| \frac{Q_{полобщ} - Q_k}{Q_{полобщ}} \right| 100\%.$$

9 Вычислить скорость изменения температуры образца для каждого интервала температур:

$$v = \frac{t_k - t_n}{\tau},$$

где t_k, t_n - начальная и конечная температуры образца для каждого интервала температур, °C;

τ - время для каждого интервала температур, с.

10 Построить графики зависимости скорости изменения температуры образца, КПД печи и плотности теплового потока от времени нагрева:

$$v = f(\tau), \quad \eta = f(\tau), \quad q = f(\tau),$$

где τ - время от начала нагрева до достижения образцом соответственно температур 100, 200, 300°C.

11 Сделать выводы о характере изменения параметров нагрева с течением времени и о точности теоретического и практического определения теплосодержания образца.

Контрольные вопросы

- 1 Классификация электрических печей.
- 2 Что входит в понятие "электропечная установка"?
- 3 Перечислите основные параметры электропечной установки.
- 4 Какие виды электрических печей сопротивления вы знаете?
- 5 Где применяются электрические печи?
- 6 На что расходуется энергия в электрических печах?
- 7 Какие виды тепловых потерь вы знаете в электрических печах?
- 8 Что характеризует термический КПД печи?
- 9 Как рассчитывается количество теплоты, полученное печью?
- 10 Как определить количество полезно затраченного тепла?
- 11 Как определяется теплосодержание образца в калориметре?
- 12 Как определяется плотность теплового потока на поверхности образца?