

ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

КАФЕДРА ФИЗИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторным работам по курсу

"ОБОРУДОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКИХ ЦЕХОВ И УЧАСТКОВ"

для направления подготовки 22.04.01 - "Материаловедение и технологии
материалов»

(магистерские программы "Металловедение и термическая обработка металлов",
"Прикладное материаловедение")

УТВЕРЖДЕНЫ
на заседании кафедры
"Физическое материаловедение"
31.08.2018 г., протокол №1

Зав. кафедрой М.Т. Егоров

Донецк: ДОННТУ, 2016

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
1. Индукторы и определение их параметров.....	3
2. Электроды печей-ванн и определение их параметров.....	10
3. Закалочные баки и определение их параметров.....	15
4. Оборудование для охлаждения рабочей среды закалочных баков и определение его параметров.....	18
5. Выбор термического оборудования и расчет его количества.....	28
Рекомендованная литература.....	32

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1

ИНДУКТОРЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИХ ПАРАМЕТРОВ

Цель работы: закрепление знаний и получение навыков расчета индукторов для индукционного нагрева изделий при локальной поверхностной термической обработке.

1.1 Методика выполнения работы

Индукционный нагрев может применяться как с целью сквозного прогрева изделий, например, под горячую пластическую деформацию, объемную закалку, так и с целью нагрева изделий на определенную глубину в случае поверхностной закалки.

При индукционном поверхностном нагреве выбор частоты тока зависит от таких параметров:

- а) нужной глубины закаленного слоя;
- б) величины удельных потерь в индукторе;
- в) значений электрического к.п.д. (коэффициент полезного действия) индуктора;
- г) значений полного к.п.д. индуктора;
- д) коэффициента мощности индуктора $\cos \varphi$;
- е) размеров и массы изделий.

В данной лабораторной работе рассматривается случай индукционного нагрева при поверхностной закалке изделий (зон изделия) цилиндрической формы (типа оси, вала и т.п.).

Для изделий цилиндрической формы должно выполняться соотношение:

$$X_K / D = 0,1 \dots 0,14, \quad (1.1)$$

где: D - диаметр изделия.

Для изделий, у которых $D < 30$ мм, это отношение принимают равным 0,14; для больших изделий - равным 0,1. Для изделий диаметром более 100 мм возможно принимать это соотношение в интервале 0,05...0,1.

Частоту тока f , Гц, выбирают из условия (X_K в метрах):

$$f \leq 0,25 / X_K^2, \quad (1.2)$$

При определении частоты тока следует учитывать величину удельных потерь в индукторе ΔP_i , которая увеличивается с возрастанием частоты тока f , а также и с увеличением удельной мощности P_0 . В то же время удельная мощность должна быть достаточно высокой.

В случае поверхностного нагрева должно выполняться условие:

$$\Delta P_i < 0,25 \text{ кВт/см}^2, \quad (1.3)$$

поэтому рекомендуют принимать $P_0 < 2$ кВт/см² (обычно $P_0 = 0,3 \dots 1,5$ кВт/см²). Тогда в случае поверхностного нагрева частота тока должна быть: $f > 0,015 / X_K^2$, а $X_K > 0,25 \Delta_{гор}$. Отсюда рекомендованный интервал тех частот тока, которые используют при этом (X_K в метрах):

$$0,015 / X_K^2 \leq f \text{ (Гц)} \leq 0,25 / X_K^2, \quad (1.4)$$

Для $X_K \approx 0,4 \Delta_{гор}$ получим значение $f_{опт} = 0,06 / X_K^2$.

Общий коэффициент полезного действия установки ($\eta_{уст}$):

$$\eta_{уст} = \eta_{эл} \cdot \eta_{терм}, \quad (1.5)$$

где $\eta_{эл}$ – электрический к.п.д. установки:

$$\eta_{эл} = \eta_{ген} \cdot \eta_{тр} \cdot \eta_{инд}, \quad (1.6)$$

где: $\eta_{\text{ген}}$ – к.п.д. генератора; для машинных и тиристорных генераторов $\eta_{\text{ген}} = 0,9 \dots 0,92$; для ламповых генераторов $\eta_{\text{ген}} = 0,6$; $\eta_{\text{тр}}$ – к.п.д. трансформатора, который составляет $0,9 \dots 0,92$; $\eta_{\text{инд}}$ – к.п.д. индуктора, равный $0,8$;

$\eta_{\text{терм}}$ – термический к.п.д., равный $0,2$ для ламповых генераторов и $0,4$ – для машинных генераторов.

Чем больше частота тока, тем меньше $\cos \varphi$.

Порядок расчета индуктора приведен ниже.

Исходные данные для расчета: диаметр (D), длина изделия или обрабатываемой его зоны; необходимая глубина закаленного слоя X_k ($X_k = v \cdot D$; $v = 0,12 \dots 0,14$ для $D < 30$ мм; $v = 0,10 \dots 0,12$ для $D = 30 \dots 90$ мм; $v = 0,05 \dots 0,08$ для $D > 90$ мм); способ закалки (одновременная или непрерывно-последовательная закалки), который выбирает студент с учетом длины изделия или той его части, которая упрочняется.

Преподаватель выдает в задании диаметр (D) изделия, которое подлежит обработке, и длину зоны гзакалки L . Интервалы изменения этих параметров: $D = 20 \dots 160$ мм (с шагом 5 мм); $L = 40 \dots 1000$ мм.

Длина зоны, которая обрабатывается, при одновременной закалке (a_2) принимается $a_2 = L$. При непрерывно-последовательной закалке длину нагреваемой зоны (a_3), выбирают в интервале $a_3 = 20 \dots 100$ мм (для одновиткового индуктора). Следует учитывать, что при большом L ($L > 100 \dots 200$ мм) использование схемы одновременной закалки может быть нецелесообразным в связи с необходимостью использования весьма мощного генератора.

Выбор интервала частот тока выполняется в соответствии с формулой 1.4, причем, выбранная частота, которая вырабатывается генератором, должна быть наиболее близкой к оптимальным значениям, ($X_k - v$ м):

$$f_{\text{опт}} = 0,06 / X_k^2 \quad (1.7)$$

Определение значения X_k выполняют в соответствии с зависимостью 1.1, а также в соответствии с рекомендациями, которые приведены выше.

На базе этих расчетов выбирают или машинный генератор с частотами тока $f = 8000$ Гц или $f = 2500$ Гц, или ламповый генератор, если $f_{\text{опт}} > 10000$ Гц.

Используя графики, приведенные на рисунках 1.1 и 1.2, можно выбрать значения удельной мощности P_0 (в пределах $0,3 \dots 1,5$ квт/см²) и времени нагрева τ_n .

Определение длины индуктора a_1 :

$$a_1 = (1,1 \dots 1,2) a_2, \quad \text{или} \quad a_1 = (1,1 \dots 1,2) a_3, \quad (1.8)$$

Для одновитковых индукторов рекомендуют выбирать $a_1 = 20 \dots 100$ мм.

Определение скорости перемещение изделия V , м/с, в случае непрерывно-последовательной закалки:

$$V = a_1 / \tau_n \quad (1.9)$$

Определение глубины проникновение тока в изделие ($\Delta_{\text{ГОР}}$), м:

$$\Delta_{\text{ГОР}} = \frac{0,5}{\sqrt{f}}, \quad (1.10)$$

Определение диаметра индуктора:

$$D_1 = D + 2h_3, \quad (1.11)$$

где h_3 - размер зазора, принимаемый равным 3 мм в случае $D \leq 50$ мм и 5 мм при $D > 50$ мм.

Определение толщины стенки трубы индуктора δ , мм:

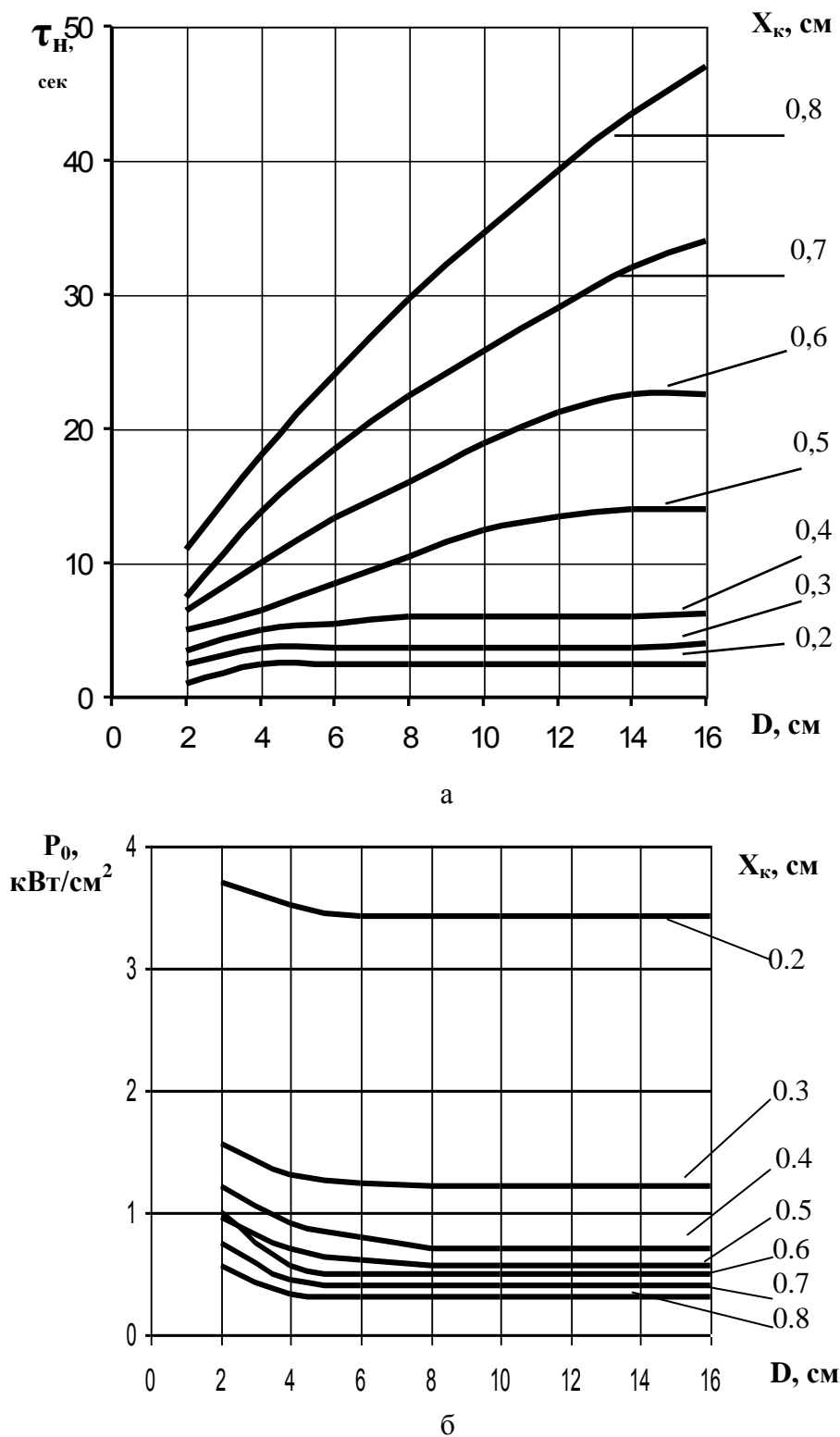


Рисунок 1.1- Зависимость времени нагрева τ_H (а) и удельной мощности, передаваемой в изделие P_0 (б) от диаметра D нагреваемого цилиндра для разных глубин закаленного слоя X_k при частоте тока $f= 2500$ Гц

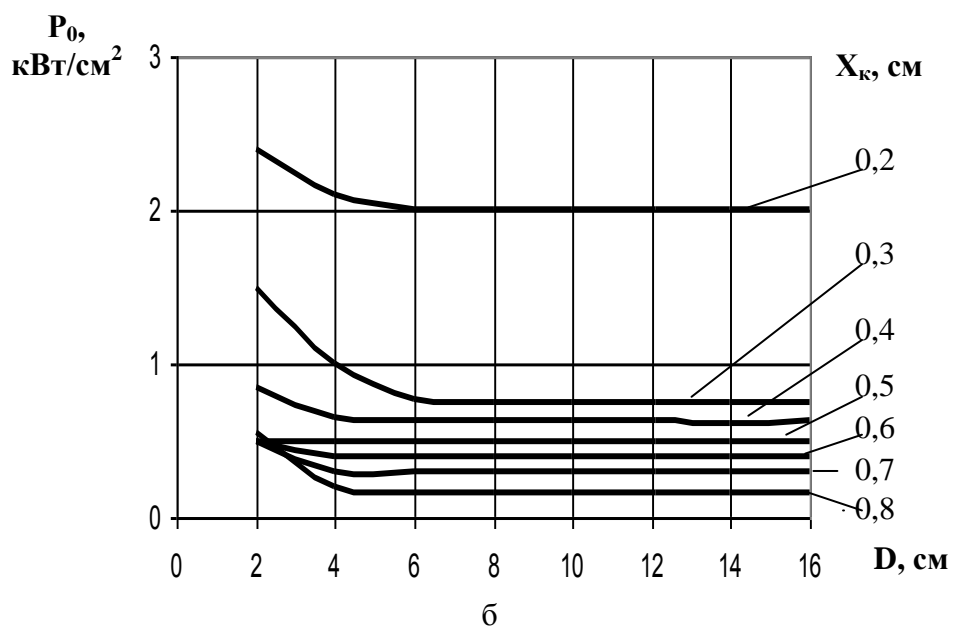
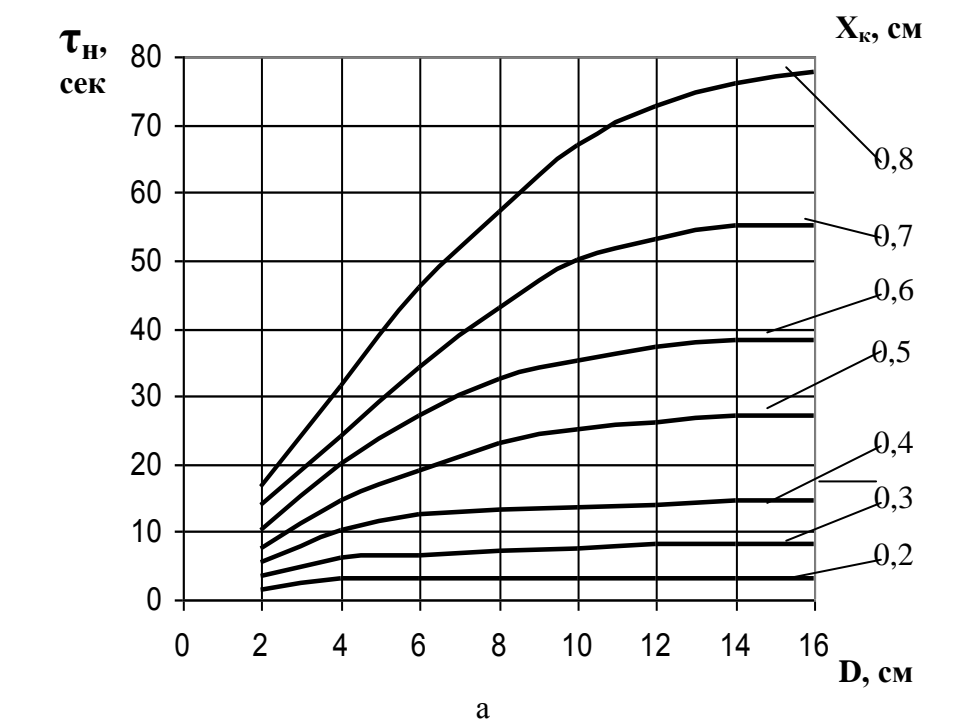


Рисунок 1.2- Зависимость времени нагрева τ_n (а) и удельной мощности, передаваемой в изделие P_0 (б) от диаметра D нагреваемого цилиндра для разных глубин закаленного слоя X_k при частоте тока $f = 8000$ Гц

$$\delta = (1,6 \dots 2) \Delta_1, \quad (1.12)$$

где: Δ_1 - глубина проникновения тока в медь:

$$\Delta_1 = \frac{67}{\sqrt{f}}, \text{ мм} \quad (1.13)$$

Определение мощности генератора P_G :

$$P_G = \frac{P_0 \cdot \pi \cdot D_2 \cdot a_1}{\eta_{ЛП} \cdot \eta_{КБ} \cdot \eta_{ТР} \cdot \eta_{ИД}}, \quad (1.14)$$

где: P_0 - в кВт/см², D_2 - в см, a_1 - в см;

$\eta_{ЛП}$ - к.п.д. линии передачи ($\eta_{ЛП} = 0,95$); $\eta_{КБ}$ - к.п.д. конденсаторной батареи ($\eta_{КБ} = 0,98$);

$\eta_{ТР}$ - к.п.д. трансформатора ($\eta_{ТР} = 0,9$); $\eta_{ИД}$ - к.п.д. индуктора ($\eta_{ИД} = 0,8$).

Определение площади сечения отверстия трубки индуктора S , см²:

$$S = \frac{P_{ИД}}{100} \cdot \frac{V_{II}}{\omega} = \frac{P_0 \cdot \pi \cdot D_2 \cdot a_1}{\eta_{ИД} \cdot 100} \cdot \frac{V_{II}}{\omega}, \quad (1.15)$$

где: $P_{ИД}$ – мощность, подаваемая на индуктор, кВт;

V_{II} – удельный расход воды на охлаждение индуктора, см³/с, который выбирают равным 1000 см³/с на каждые 100 кВт мощности индуктора;

ω – скорость движения воды в индукторе, принимаемая равной 100 см/с.

Определение внутренних и внешних размеров трубки индуктора, см:

- для индуктора круглого сечения:

$$d_{вн} = \sqrt{\frac{4S}{\pi}}, \quad d_{нар} = d_{вн} + 2\delta; \quad (1.16)$$

- для индуктора прямоугольного сечения:

$$a_{нар.} = a_1; \quad a_{вн} = a_1 - 2\delta; \quad b_{вн} = S / a_{вн}; \quad b_{нар} = b_{вн} + 2\delta \quad (1.17)$$

Схему индуктора с его основными параметрами следует изобразить отдельным рисунком.

1.2 Порядок выполнения работы

1. Получить задание у преподавателя; переменными параметрами могут быть: диаметр изделия цилиндрической формы, длина зоны нагрева, коэффициент $K = X_{к} / D_2$; удельная мощность и др.

2. Изучение методических указаний и рекомендованной литературы.

3. Определение данных, которые нужны для расчетов.

4. Составление таблицы исходных данных.

5. Расчет параметров индуктора.

6. Обработка полученных результатов.

7. Составление отчета.

1.3 Содержание и структура отчета

1. Краткие сведения о принципах расчета индукторов.

2. Конкретная цель работы и индивидуальное задание.
3. Методика выполнения работы.
4. Результаты работы в виде описания, таблиц, рисунков.
5. Выводы.

1.4 Контрольные вопросы

1. Направления использования индукционного нагрева.
2. Какими физическими явлениями обуславливается поверхностный нагрев?
3. Какие факторы определяют выбор частоты тока?
4. Частоты, которые используют в технике, и типы генераторов для их получения.
5. Факторы, которые определяют величину удельных потерь при нагреве.
6. Факторы, которые определяют к.п.д. установки.
7. Факторы, которые определяют форму и размеры индуктора.
8. Принцип определения мощности генератора.
9. Дать характеристику способа одновременной поверхностной закалки.
10. Дать характеристику способа непрерывно-последовательной закалки.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОДНЫХ ПЕЧЕЙ-ВАНН

Цель работы: получение навыков и умений в расчетах параметров электродных печей-ванн.

2.1. Методика выполнения работы

В электродных печах-ваннах нагрев рабочей среды осуществляется за счет пропускания через эту среду электрического тока и преобразования части электрической энергии в тепловую вследствие достаточно высокого электрического сопротивления расплава. Подвод тока к рабочей среде осуществляется с помощью электродов, опущенных в расплав. При этом электроды могут быть как свободно опущенными в расплав, так и размещенными в специальных пазах тигля. Нагрев осуществляется в результате прохождения тока между двумя электродами, которые образуют пару. Пару могут образовать два электрода, размещенных и на противоположных стенках тигля.

Порядок расчета основных размеров ванны и электродов изложен ниже.

Исходными данными для расчетов являются: общая мощность печи-ванны N , рабочая температура T , напряжение на электродах U (выбирают в пределах 5...20 В), количество фаз. Для 3-фазных печей-ванн количество пар электродов должно быть кратным 3.

Порядок расчета:

1. Выбор оптимальной формы рабочего пространства печи-ванны, которая зависит от ее мощности и температуры рабочей среды (T_p). Область прямоугольных печей-ванн при $T_p \leq 600$ °С – для их общей мощности $N \geq 10$ кВт; для больших рабочих температур граница областей прямоугольных и цилиндрических печей-ванн может быть приблизительно определена по эмпирической формуле:

$$T_{rp} = 600 + 15(N - 10), \quad (2.1)$$

Если рабочая температура печи-ванны $T_p < T_{rp}$, то в случае, если $N > 10$ кВт, целесообразно принимать прямоугольную форму поперечного сечения ванны, в других случаях, а также при $N < 10$ кВт – цилиндрическую форму.

2. Определение объема ванны. Объем ванны с прямоугольным тиглем V в зависимости от N в расчетах можно приблизительно определить в соответствии с эмпирической формулой:

$$V = 7N - 90, \quad (2.2)$$

где: N – в кВт, V – в литрах (дм^3).

3. Определение длины рабочей части электрода (части электрода l , которая находится в расплавленной соли): f – условная плотность тока, А/см^2 (количество ампер, которое приходится на 1 см^2 той поверхности рабочей части электрода, которая обращена в сторону парного электрода):

$$f = N_{\text{п}} / (l \cdot b \cdot U_{\text{р}}), \quad (2.3)$$

Отсюда:

$$l = \frac{N_{\text{п}}}{f \cdot b \cdot U}, \quad (2.4)$$

где: $N_{\text{п}}$ – мощность, приходящаяся на 1 пару электродов, кВт ($N_{\text{п}} = N/m$);

m – количество пар электродов (для 3-фазных печей-ванн она должна быть кратной 3);

l – общая длина электродов, которая погружена в расплав, см;

b – ширина электрода, см;

$U_{\text{р}}$ – рабочее напряжение на электродах, В.

Условная плотность тока f может быть выбрана в зависимости от температуры соли и находится в пределах $5 \dots 40 \text{ А/см}^2$ (см. таблицу 2.1).

Таблица 2.1 – Условная плотность тока (f) в зависимости от температуры соли ($T_{\text{соли}}$)

$f, \text{А/см}^2$	6	9	12	17	24	34	40
$T_{\text{соли}}, \text{°C}$	200	400	600	800	1000	1200	1300

Поперечное сечение электродов прямоугольных печей-ванн имеет чаще всего квадратную форму. Размеры электродов и допустимая плотность тока (по сечению) приведены в качестве примера в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Размеры электродов и их электрические характеристики

Мощность электродной пары, кВт	Сторона квадрата, в, мм	Площадь сечения электрода, см^2	Плотность тока по сечению электрода, P , А/см^2
12	38	14,5	86
18	44	19,7	91,5
24	51	25,8	93
30	55	32	94

Допустимая плотность тока $P = I / S$, где I – сила тока, А ($I = N_{\text{п}}/U_{\text{р}}$); P должна находиться в пределах $0,5 \dots 0,95 \text{ А/мм}^2$ ($50 \dots 95 \text{ А/см}^2$); оптимальными можно считать значения P в пределах $0,8 \dots 0,9 \text{ А/мм}^2$.

По заданной мощности печи N определяют количество пар электродов m , находят мощность пары электродов $N_{\text{п}}$ (см. таблицу 2.2), выбирают сечение электрода S с учетом того, что по формуле 2.5 его можно определить, как:

$$S = \frac{I}{P} = \frac{N_{\text{п}}}{U_{\text{р}} \cdot P}, \text{ мм}^2 \quad (2.5)$$

Отсюда для квадратной формы электрода:

$$b = \sqrt{N_m / (U_p \cdot P)}, \text{ мм} \quad (2.6)$$

Далее, в соответствии с выбранной условной плотностью тока f , находят l :

$$l = N_n / (f \cdot b \cdot U_p) \quad (2.7)$$

4. Определение общей глубины ванны H , см:

$$H = l + h + a, \quad (2.8)$$

где a – расстояние от зеркала ванны до края тигля, может приниматься в интервале 100...150 мм; h – расстояние от нижнего конца электрода до дна тигля:

$$h = (2,5 \dots 3) \cdot r, \text{ мм} \quad (2.9)$$

где r – расстояние между электродами, мм, оно может приниматься в пределах 18...30 мм или 50...70 мм; чаще всего $r = 25 \dots 30$ мм. Поэтому значение h можно принять в интервале 70..100 мм.

Расстояние от зеркала ванны до дна тигля, H_1 , рассчитывают как:

$$H_1 = l + h, \text{ мм} \quad (2.10)$$

В расчетах следует ориентироваться на то, что отношение l/H_1 должно быть не меньше, чем 0,7.

Длина по фронту A , см, и количество пар электродов могут быть определены в соответствии с графиками или, зная m , можно воспользоваться формулами:

$$A = 30 \cdot m - \text{для } N \leq 24 \text{ кВт}; \text{ или } A = 40 \cdot m - \text{для } N > 24 \text{ кВт}; \quad (2.11)$$

где: 30 и 40 – расстояние между осями пар электродов, см.

Следует учитывать, что пары электродов могут располагаться как с одной стороны прямоугольника печи-ванны (по длине), так и с двух сторон ее, обычно при $n > 3$, что позволяет уменьшить сторону ванны по фронту (A).

Ширина ванны C , см:

$$C = \frac{V}{H_1 \cdot A}, \quad (2.12)$$

После выполнения расчетов студент должен изобразить схему печи-ванны (в сечении) с отображением расположения электродов.

Интервалы изменения исходных данных для выполнения работы приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3-Исходные данные для формулирования вариантов заданий лабораторной работы

Максимальная рабочая температура печи-ванны, T , °C	Общая мощность печи-ванны, N , кВт
650	48...90
850	30...120
1300	36...150

Примечание: все печи-ванны – 3-фазные; рабочее напряжение на электродах U_p может изменяться в пределах 5...20 В (в некоторых случаях – до 30 В).

2.2 Порядок выполнения работы.

1. Получение задания у преподавателя; переменными параметрами могут быть: напряжение на электродах, количество пар электродов, общая мощность печи-ванны, рабочая температура.
2. Изучение материала методических указаний и рекомендуемой литературы.
3. Определение данных, необходимых для расчетов.
4. Составление таблицы исходных данных.
5. Расчет параметров электродов и размеров печи-ванны.
6. Обработка полученных результатов и их анализ.
7. Изображение схемы печи-ванны с расположенными электродами.
8. Составление отчета.

2.3 Содержание и структура отчета

1. Название работы и общие сведения о принципах расчета электродных печей-ванн.
2. Цель работы и индивидуальное задание.
3. Методика выполнения работы.
4. Результаты работы, их анализ.
5. Выводы.

2.4 Контрольные вопросы

1. Назовите преимущества и недостатки электродных печей-ванн.
2. Каким образом осуществляется передача тепла изделиям в таких печах-ваннах.
3. Требования к электродам и их размещению.
4. Какие факторы влияют на количество и размеры электродов?
5. От каких факторов зависят размеры и форма электродной печи-ванны?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3

ЗАКАЛОЧНЫЕ БАКИ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИХ ПАРАМЕТРОВ

Цель работы: получить умение и навыки относительно расчета параметров и выбора конструкции закалочного бака.

3.1 Методика выполнения работы

Закалочные баки с разными рабочими средами (вода, масла разных видов, водные растворы солей, органических веществ и т.п.) используют для охлаждения изделий в процессе закалки, а также для ускоренного их охлаждения, например, после отпуска.

Закалочные баки подразделяют на немеханизированные (для работы с печами периодического действия) и механизированные (для работы с печами как непрерывного, так и периодического действия).

Для обеспечения необходимой рабочей температуры (для воды - 20...40 °С, для масла, как правило, 30...80 °С), от которой зависит охлаждающая способность закалочных сред (скорость охлаждения), реализуют их охлаждение.

Основные принципы расчета закалочных баков разных типов в целом подобны. Их размеры, форма, особенности конструкции зависят от массы, размера садки (изделий), производительности, температурного режима обработки и некоторых других факторов (например, рабочей среды, типа печи, с которой работает бак и т.п.).

В данной лабораторной работе студенты выполняют расчет немеханизированного закалочного бака.

Исходными данными для расчета являются: марка стали, размеры и масса садки (изделия), одновременно охлаждаемой в баке. На основе данных задания студент предварительно определяет: начальную температуру, т.е. температуру нагрева металла ($t_{мн.}$), конечную температуру металла, т.е. температуру завершения охлаждения ($t_{мк.}$), тип охлаждающей среды, необходимые справочные характеристики.

Основные принципы расчета бака приведены ниже.

Уравнение теплового баланса:

$$Q_{ме} = Q_{ж}, \text{ или } G (c_1 \cdot t_{мн} - c_2 \cdot t_{мк}) = V_{ж} \cdot c_{ж} (t_{жк} - t_{жн}), \quad (3.1)$$

где: $Q_{ме}$ – количество тепла, выделяемого металлом при охлаждении, кДж:

$$Q_{ме} = G (c_1 \cdot t_{мн} - c_2 \cdot t_{мк}), \quad (3.2)$$

$Q_{ж}$ – количество тепла, получаемого охлаждающей средой, кДж:

$$Q_{ж} = V_{ж} \cdot c_{ж} \cdot (t_{ск} - t_{сн}), \quad (3.3)$$

где G – масса охлаждаемого металла, кг;

c_1, c_2 – соответственно средняя теплоемкость металла в интервале температур от 0°C до $t_{мн.}$ и от 0°C до $t_{мк.}$;

$t_{мн.}, t_{мк.}$ – соответственно температура металла начальная (после нагрева) и конечная (в конце охлаждения), $^\circ\text{C}$;

$c_{ж}$ – теплоемкость закалочной среды, кДж/(л·К); для воды - 4,2 кДж/(л·К); для масла - 1,9 - 2,1 кДж/(л·К);

$t_{жк.}, t_{жн.}$ – соответственно конечная и начальная температуры закалочной жидкости, $^\circ\text{C}$; для воды они равны соответственно $30 \div 40^\circ\text{C}$ и $15 \div 20^\circ\text{C}$, для масла - $60 \div 80^\circ\text{C}$ и $30 \div 40^\circ\text{C}$;

$V_{ж}$ – необходимый объем закалочной жидкости, л.

Отсюда:

$$V_{P.ж} = \frac{G(c_1 t_{мн} - c_2 t_{мк})}{c_{ж}(t_{жк} - t_{жн})}, \quad (3.4)$$

Для проверки правильности определения объема бака рассчитывают отношение $G_{ж}/G$, где $G_{ж}$ – масса закалочной жидкости. Это отношение должно находиться в пределах 5...7.

Массу закалочной жидкости ($G_{ж}$) определяют как: $G_{ж} = \gamma_{ж} \cdot V_{ж}$, кг, где $\gamma_{ж}$ – плотность закалочной жидкости. Для воды $\gamma_{ж} = 1$ кг/л, а для масла, в зависимости от ее типа, $\gamma_{ж}$ при 20°C изменяется в пределах 0,864...0,925 кг/л. Например, для машинного масла (в зависимости от типа) $\gamma_{ж} = 0,9 \dots 0,91$ кг/л. Поэтому в расчетах можно принять $\gamma_{ж} = 0,9$ кг/л.

Выбор размеров и формы бака проводится в соответствии с рассчитанным объемом жидкости, учитывая геометрию изделия (садки), которая должна обрабатываться. С целью предотвращения выливания жидкости из бака при погружении в него изделий, его высота принимается на 15...40 см большей, чем уровень жидкости, а вдоль стенок выполняют сливные карманы. Размеры сливных карманов определяют, исходя из изменения объема жидкости за счет ее вытеснения погруженным металлом $\Delta V_{выт}$ и расширения жидкости при нагреве $\Delta V_{нагр}$:

$$\Delta V = \Delta V_{выт} + \Delta V_{нагр} = G/\gamma + V_p \frac{\gamma_{тн} - \gamma_{тк}}{\gamma_{тн}}, \quad (3.5)$$

где: γ – плотность металла, кг/м³; можно принять $\gamma = 7800$ кг/м³;

$\gamma_{тн}, \gamma_{тк}$ – плотность закалочной жидкости при температурах $t_{н}$ и $t_{к}$, кг/м³ соответственно.

При расчетах изменения объема масла вследствие нагрева можно принять, что плотность масла уменьшается на 0,007 г/л при повышении ее температуры на каждые 10°C .

Среднюю теплоемкость сталей c_1 и c_2 в интервале температур от 0 до t °С выбирают из данных, приведенных в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Средняя теплоемкость сталей (c) в интервале температур от 0 до t °С

Группа сталей	Интервал температур 0 - t , °С				
	100	700	800	900	1000
	Средняя теплоемкость стали, кДж/кг·К				
Углеродистые стали	0,486	0,620	0,625	0,695	0,691
Низколегированные стали	0,486	0,645	0,695	0,687	0,674

3.2 Порядок выполнения работы

1. Получение индивидуального задания у преподавателя.
2. Изучение методических указаний и рекомендованной литературы.
3. Подготовка и выбор исходных данных, которые необходимы для работы.
4. Выполнение расчетной части работы.
5. Анализ результатов расчетов.
6. Составление отчета.

3.3 Содержание и структура отчета

1. Название работы.
2. Конкретная цель работы с определением индивидуального задания.
3. Краткие сведения об оборудовании для охлаждения и основные принципы его расчета.
4. Результаты расчетов в виде численных данных, таблиц, схем.
5. Анализ результатов и вывод по работе.

3.4 Контрольные вопросы

1. Основные типы оборудования для охлаждения.
2. Назначение и принципы выбора немеханизированных закалочных баков.
3. Типы механизированных закалочных баков и области их использования, типы печей, с которыми работают эти баки.
4. Факторы, от которых зависят форма и размеры закалочных баков.
5. Принцип расчета закалочных баков.
6. Интервал рабочих температур закалочных сред и причины, которые его определяют.
7. Обоснование необходимости охлаждения закалочных сред в процессе работы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ОХЛАЖДЕНИЯ РАБОЧЕЙ СРЕДЫ ЗАКАЛОЧНЫХ БАКОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕГО ПАРАМЕТРОВ

Цель работы – приобретение навыков расчета устройств для охлаждения рабочей жидкости закалочных баков.

Задание. В соответствии с исходными данными варианта индивидуального задания (таблица 4.1) выполнить расчет и обосновать целесообразность использования: а) змеевика для охлаждения масла непосредственно в закалочном баке; б) маслоохладительной установки для охлаждения рабочей среды одновременно для заданного количества закалочных баков одинаковой производительности.

Таблица 4.1 – Варианты заданий для расчетов змеевиков закалочных баков и маслоохладительных установок

Объем масла в баке, V_M		Производительность бака, G_r		Температура нагрева металла, $t_{M,н}$		Количество баков на 1 установку, n	
№ варианта	$V_M, м^3$	№ варианта	$G_r, кг/ч$	№ варианта	$t_{M,н}, °C$	№ варианта	$n, шт.$
1	0,5	1	20	1	780	1	2
2	1,0	2	50	2	800	2	3
3	1,5	3	75	3	820	3	4
4	2,0	4	100	4	840	4	5
5	2,5	5	150	5	860	5	6
6	3,0	6	200	6	880	6	7
7	3,5	7	250	7	900	7	8
8	4,0	8	300	8	920	8	9
9	4,5	9	400	9	940	9	10
10	5,0	10	500	10	960	10	11
11	6,0	11	750				
12	7,0	12	1000				
13	8,0	13	1250				
14	9,0	14	1500				
15	10,0	15	2000				

Примечания: 1. Задание выдается в соответствии с 4 вариантами изменяющихся параметров: вариант объема масла в баке (вариант V_M), вариант производительности бака (G_r), вариант температуры нагрева металла ($t_{M,н}$), вариант количества баков на 1 маслоохладительную установку (n).

2. Температура металла по завершении охлаждения в закалочном баке ($t_{M,к}$) выбирается студентом, как правило, равной конечной температуре масла в закалочном баке по завершении охлаждения садки.

4.1 Общие сведения относительно методов и оборудования для охлаждения закалочной среды

Для обеспечения необходимой охлаждающей способности рабочей среды необходимо поддерживать ее соответствующую рабочую температуру (20...40 °C для воды и 30...80 °C для масла). Поэтому после охлаждения каждой садки изделий рабочая среда должна быть охлаждена практически до начальной температуры.

Естественное охлаждение в результате теплоотдачи через стенки бака и зеркало ванны осуществляется весьма медленно. Так, в баках, которые заглублены в землю, температура уменьшается от 60 до 20 °C со скоростью 1...2 °C/ч., а в надземных баках – со скоростью 3...5 °C/ч.. Таким образом, при естественном охлаждении интервал между садками, которые охлаждаются последовательно, должен быть не меньше 8...20 часов (в зависимости от размеров и размещения бака).

Поэтому на практике осуществляется принудительное охлаждение рабочей среды баков. Причем, для баков с водой охлаждение осуществляется путем вытеснения нагретой воды холодной, которая непрерывно подается в баки из водопровода. Для масляных баков принудительное охлаждение рабочей среды осуществляется, как правило, двумя методами: а) с помощью змеевика, который представляет собою металлическую трубку (стальную, латунную и т.п.), через которую пропускают холодную воду; змеевик размещают во внутреннем пространстве бака (схема индивидуального охлаждения); б) с помощью отдельной маслоохладительной установки, которая обычно обслуживает несколько закалочных баков, а иногда – и все баки термического подразделения (схема централизованного охлаждения).

Маслоохладительные установки используют в тех случаях, если невозможно применить змеевики (большая расчетная поверхность змеевика и невозможность его размещения в баке), или целесообразным является централизованное охлаждение масла из нескольких баков.

Наиболее распространенными типами маслоохладительных установок являются: 1) установки типа "труба в трубе" и б) установки колонкового типа.

Установки типа "труба в трубе" собираются из нескольких соединенных между собою двойных труб, по одной из которых подают масло (обычно по внешней трубе), а по второй – охлаждающую воду (обычно по внутренней трубе). Масло перемещается навстречу воде. Масло при перемещении тонким слоем вдоль поверхности трубок с водой охлаждается как водой

через внутреннюю стенку трубы, так и одновременно – через поверхность внешней трубы. В зависимости от необходимой производительности такой маслоохладитель может состоять из одной или нескольких секций. В пределах каждой секции количество таких трубок не лимитируется. Но следует ориентироваться на возможную общую высоту секции в пределах 1...2,6 м, а ее длину – до 5 м.

Установки колонкового типа могут быть как односекционными, так и многосекционными (двух-, четырех-, шестисекционными с целью уменьшения их высоты). Односекционная колонка состоит из металлического цилиндра (корпуса), в котором размещают трубки диаметром 14...20 мм, которые запрессованы между двумя доньями. Через трубки обычно пропускают масло, которое охлаждается, а между трубками – охлаждающую воду. Для увеличения пути в межтрубном пространстве устанавливают несколько перегородок. Охлаждение будет более эффективным, если горячее масло и холодная вода будут двигаться навстречу друг другу.

Исходными данными для выполнения данной работы являются объем масла в каждом закалочном баке, V , м³; масса изделий, которые охлаждаются в баке за 1 час, G , кг/ч. (производительность бака); температура нагрева металла под закалку, $t_{мн}$ и после завершения охлаждения, $t_{м.к}$; количество баков, которые обслуживаются маслоохладительной установкой, n (для расчета установки). Варианты индивидуальных заданий приведены в таблице 4.1.

Для упрощения расчетов принято, что баки, которые обслуживает маслоохладительная установка, имеют одинаковый объем рабочей жидкости и одинаковую производительность. Закалке подвергают изделия из низколегированных сталей.

Необходимую справочную информацию для расчетов (теплотехнические характеристики стали, масла, воды, рабочие температуры и т.п.) студенты могут взять из предшествующей лабораторной работы по расчету закалочных баков, или из рекомендованной учебной и справочной литературы.

4.2 Методика расчета змеевика для охлаждения рабочей жидкости непосредственно в закалочном баке

Расчет выполняют относительно одного закалочного бака. Расчет сводится к нахождению необходимой площади теплопередающей поверхности между рабочей жидкостью (маслом) и охлаждающей водой, которая подается в трубку змеевика. По окончании рассчитывают условия размещения змеевика в закалочном баке. Следует учитывать, что в баках цилиндрической формы змеевик размещают преимущественно в виде спирали по периметру бака. В баках с прямоугольным сечением их можно размещать в виде зигзага вдоль боковых стенок бака (1-4 стенок в зависимости от длины змеевика). В ряде случаев небольшие по размерам змеевики размещают вдоль дна бака.

Условие теплопередачи через стенку трубки змеевика:

$$Q_T = \alpha \cdot F \cdot t_C, \quad (4.1)$$

где Q_T – количество тепла, передаваемого от рабочей среды (масла) к охлаждающей воде за 1 час;

F – площадь теплопередающей поверхности между маслом и водой (поверхности змеевика);

α – средний коэффициент теплопередачи через стенку змеевика: $\alpha = 80 \dots 120$ Вт/м²·К;

t_C – средняя разница температур между маслом и охлаждающей водой:

$$t_C = \frac{t_{м.н.} + t_{м.к.}}{2} - \frac{t_{в.к.} + t_{в.н.}}{2}, \quad (4.2)$$

где: $t_{м.н.}$ и $t_{м.к.}$ – соответственно начальная и конечная температуры масла, °С;

$t_{в.н.}$ и $t_{в.к.}$ – соответственно начальная и конечная температуры охлаждающей воды, °С.

Q_T определяют, исходя из условия теплового баланса: количество тепла, которое металл передает маслу в закалочном баке (Q_{Me}) равняется его количеству, которое дополнительно

получает масло (Q_M), а также тому его количеству, которое забирает охлаждающая вода от масла через стенку змеевика (Q_B) за соответствующее время (в условиях расчета – за 1 час):

$$Q_T = Q_{Me} = Q_M = Q_B \quad (4.3)$$

Таким образом количество воды (V_B), которую необходимо пропустить за час через змеевик, можно определить через количество тепла, которое металл передает маслу за час в закалочном баке (Q_{Me}).

Учитывая, что:

$$Q_{Me} = G_{\text{час}} \cdot (C_1 \cdot t_{Me.н} - C_2 \cdot t_{Me.к}), \quad (4.4)$$

$$Q_B = V_B \cdot C_B \cdot (t_{в.к} - t_{в.н}), \quad (4.5)$$

Получаем значение V_B , м³/ч.:

$$V_B = \frac{G_{\text{час}} \cdot (C_1 \cdot t_{Me.н} - C_2 \cdot t_{Me.к})}{C_B \cdot (t_{в.к} - t_{в.н})} \cdot 10^{-3}, \quad (4.6)$$

где: $G_{\text{час}}$ – производительность бака, кг/ч.;

C_1, C_2 – соответственно средняя теплоемкость металла в интервале температур от 0 °С до $t_{Me.н}$ и от 0 °С до $t_{Me.к}$;

$t_{м.н}, t_{м.к}$ – соответственно начальная и конечная температуры охлаждаемого металла;

$t_{в.к}, t_{в.н}$ – соответственно конечная и начальная температуры воды в змеевике;

C_B – теплоемкость воды.

Площадь внутреннего сечения трубки змеевика, $f_{вн.}$, м²:

$$f_{вн.} = \frac{V_B}{\omega_B}, \quad (4.7)$$

где ω_B – скорость подачи проточной воды, составляющая 1800...3600 м/ч. (0,5...1 м/с).

Внутренний диаметр трубки, $d_{вн.}$:

$$d_{вн.} = 2 \sqrt{\frac{f_{вн.}}{\pi}} \quad (4.8)$$

Внешний диаметр трубки, $d_{внеш.}$:

$$D_{внеш.} = d_{вн.} + 2\delta, \quad (4.9)$$

где δ – толщина стенки трубки, принимаемая в пределах 3...5 мм или $(3...5) \cdot 10^{-3}$ м. Исходя из уравнения (4.1), а также уравнения (4.4), получим:

$$F = \frac{Q_T}{\alpha \cdot t_c} = \frac{G_{\text{час}} \cdot (C_1 \cdot t_{Me.н} - C_2 \cdot t_{Me.к})}{\alpha \cdot t_c} \quad (4.10)$$

Длина змеевика l :

$$l = \frac{F}{\pi \cdot d_{вн.}}, \quad (4.11)$$

Компоновка змеевика зависит от формы и размеров закалочного бака, которые определяет студент, исходя из объема закалочной жидкости в баке.

4.3 Методика расчета маслоохладительной установки

Расчет маслоохладительной установки выполняют исходя из условий теплообмена, которые рассматривались в предшествующем подразделе. Скорость движения охлаждающей воды в установке типа "труба в трубе" принимают равной $\omega_B = 0,5 \dots 1$ м/с (1800...3600 м/ч.), а охлаждаемого масла $\omega_M = 1 \dots 2$ м/с (3600...7200 м/ч.).

Расчетные температуры жидкостей:

- воды - $t_{в.н.} = 15 \dots 20$ °С, $t_{в.к.} = 30 \dots 35$ °С;

- масла - $t_{м.н.} = 60 \dots 80$ °С (из условий работы бака), $t_{м.к.} = 30 \dots 40$ °С.

Площадь теплопередающей поверхности между маслом и водой, м²:

$$F = \frac{Q_T}{\alpha \cdot t_c}, \quad (4.12)$$

где Q_T – количество тепла, передаваемого за 1 час от масла к воде, кДж/ч. (смотри предыдущий подраздел);

t_c – средняя разница температур между маслом и охлаждающей водой (смотри предыдущий подраздел);

α – суммарный коэффициент теплопередачи через стенку трубки:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_m} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_v}}, \quad (4.13)$$

где δ – толщина стенки трубки ($\delta = 2 \dots 3$ мм);

λ – коэффициент теплопроводности материала трубки (для стали $\lambda = 40$ Вт/м·К, для латуни $\lambda = 100$ Вт/м·К);

α_m и α_v – коэффициенты теплопередачи соответственно от масла к стенке трубки и от стенки к воде.

В расчетах можно принять $\alpha = 200$ Вт/м²·К.

Суммарную длину охладителя (или количество трубчатых секций) определяют в соответствии с методом изложенным выше.

Для расчета, исходя из условий теплового баланса, необходимо определить объемы воды (V_B) и масла (V_M), которые пропускают за 1 час через установку:

$$V_B = \frac{Q_T}{C_B \cdot (t_{в.к.} - t_{в.н.})} \cdot 10^{-3}, \quad \text{м}^3/\text{ч}. \quad (4.14)$$

$$V_M = \frac{Q_T}{C_M \cdot (t_{м.к.} - t_{м.н.})} \cdot 10^{-3}, \quad \text{м}^3/\text{ч}. \quad (4.15)$$

Из данных, приведенных в предшествующем подразделе (смотри формулы 4.3-4.6), следует возможность определения Q_T через количество тепла, которое металл передает маслу в закалочном баке, в соответствии с формулой 4.4 ($Q_T = Q_M$).

Суммарную площадь поперечного сечения, через которую можно пропустить необходимый объем масла (f_M) и воды (f_B), определяем как:

$$f_M = \frac{V_M}{\omega_M}, \quad f_B = \frac{V_B}{\omega_B} \quad (4.16)$$

В зависимости от выбранного типа маслоохладительной установки дальнейшие расчеты и компоновка несколько отличаются.

Охладитель типа “труба в трубе”.

По внутренне трубке (обычно из латуни или меди) пропускают воду, между внутренней и внешней стальной трубкой – масло.

Внутренний диаметр трубки для подачи воды, $d_{в.вн.}$:

$$d_{в.вн.} = 2\sqrt{\frac{f_в}{\pi}} \quad (4.17)$$

Внешний диаметр трубки для подачи воды, $d_{в.в.}$:

$$d_{в.в.} = d_{в.вн} + \delta \quad (4.18)$$

Внутренний диаметр внешней трубки $d_{вн.}$:

$$d_{вн.} = 2\sqrt{\frac{f_o + f_{в.в.}}{\pi}}, \quad (4.19)$$

где $f_{в.в.}$ – площадь поперечного сечения внутренней трубки с учетом толщины стенки:

$$f_{в.в.} = \frac{\pi \cdot d_{в.в.}^2}{4}.$$

Внешний диаметр маслоохладителя, D :

$$D = d_{вн} + \delta_1 = d_{вн} + (3 \dots 5), \quad \text{мм} \quad (4.20)$$

Общая длина трубки маслоохладителя, L :

$$L = \frac{F}{\pi \cdot d_{в.в.}} \quad (4.21)$$

Количество трубок в секции, или общее количество трубок в нескольких секциях (если это необходимо):

$$n = \frac{L}{l}, \quad (4.22)$$

где l – принятая длина секции.

Исходя из рекомендаций, приведенных в подразделе 4.1, выбираются конкретные схема, размеры и количество секций маслоохладителя.

Охладитель колонкового типа.

Втакой установке тонкостенные трубки диаметром обычно 15...20 мм, по которым подается масло, размещают во внешнем металлическом корпусе (обычно в форме цилиндра), в котором между трубками пропускают воду.

Необходимое количество трубок для пропускания масла, n :

$$n = \frac{f_m}{\frac{\pi \cdot d_o^2}{4}}, \quad (4.23)$$

где d_o – выбранный диаметр трубки, м.

Количество таких трубок в реальном маслоохладителе, в зависимости от его конструкции, принимается равным определенным значениям.

Для круглого маслоохладителя, состоящего из одной секции, количество трубок определяют по формуле:

$$n = 1 + 3x + 3x^2, \quad (4.24)$$

где x – целое число, равное соответственно 1, 2, 3, 4, ...

Тогда стандартный ряд значений n : 7, 19, 37, ...

Для круглой маслоохладительной колонки, разделенной радиусами на 6 секций, количество трубок:

$$n = \frac{x + x^2}{2} \quad (4.25)$$

и для $x=1, 2, 3, 4, \dots$ ряд значений $n = 6, 10, 15, 21, \dots$

Количество трубок n принимают из приведенных рядов в значениях, наиболее близких к таковым, которые определили из теплотехнических расчетов (формула 4.23).

Зная количество трубок, n , и площадь теплпередающей поверхности, F , определяют длину трубок:

$$l = \frac{F}{n \cdot \pi \cdot d_o} \quad (4.26)$$

При большой длине трубок (больше, чем 3 м) маслоохладитель можно выполнить в виде ряда последовательно соединенных колонок N (с длиной трубок в любой из них $l_1=l/N$), или использовать секционный маслоохладитель, состоящий из 2, 4, 6, ... секций.

Используя соответствующие формулы, можно определить размеры колонки.

При выборе стандартного маслоохладителя с известной поверхностью охлаждения определяют их количество и порядок их объединения (последовательное, параллельное, смешанное).

4.4 Порядок выполнения работы

1. Получение индивидуального задания у преподавателя.
2. Изучение методических указаний и рекомендованной литературы.
3. Подготовка исходных данных для расчетов.
4. Выполнение расчета змеевика.
5. Выполнение расчета маслоохладительной установки.
6. Анализ полученных результатов.
7. Оформление отчета.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5

ВЫБОР ТЕРМИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ И РАСЧЕТ ЕГО КОЛИЧЕСТВА

Цель работы: освоить методику определения типа оборудования и расчета его количества при термической обработке конкретных изделий.

5.1 Методика выполнения работы

Выбор типа термического оборудования, которое применяется для термической обработки, зависит от многих факторов. Среди них важнейшими являются:

- характеристики изделия (размеры, масса, марка стали, конфигурация и т.д.) и требования к его качеству;
- режим термической, химико-термической и другой обработки, которая включает тепловое воздействие;
- характер производства;
- технико-экономические показатели оборудования.

Для расчета нужного количества оборудования необходимо иметь:

- номенклатуру обрабатываемых изделий и объем их выпуска в год;
- производительность выбранного оборудования;
- фонд времени работы оборудования.

При освоении методики расчета целесообразно ограничиваться 1-3 изделиями (указываются преподавателем). Чаще всего выполняют расчет количества термических печей, агрегатов и установок.

5.1.1 Расчет производительности оборудования

В зависимости от применяемой методики расчета можно выделить несколько типов печей.

Тип 1 - печи периодического действия: камерные с неподвижным подом, с выдвижным подом, элеваторные, колпаковые, контейнерные, шахтные, ямные, колодцевые, печи-ванны с внешним и внутренним обогревом, электродные, с графитовым тиглем; их производительность определяется, как:

$$Q_{\text{ч}} = \frac{M_{\text{с}}}{\tau} \quad (5.1)$$

где: $Q_{\text{ч}}$ – часовая производительность, кг/ч.; $M_{\text{с}}$ – масса садки, кг; τ – время обработки, часов;

$$\tau = \tau_{\text{н}} + \tau_{\text{в}} + \tau_{\text{о}} + \tau_{\text{ну}}, \quad (5.2)$$

где: $\tau_{\text{н}}$ - время нагрева, ч.; $\tau_{\text{в}}$ - время выдежки, ч.; $\tau_{\text{о}}$ – время охлаждения, ч.; $\tau_{\text{ну}}$ – неучтенные потери времени, ч.

$$M_{\text{с}} = m_{\text{и}} \cdot n_{\text{п}}, \quad (5.3)$$

где: $m_{\text{и}}$ – масса одного изделия, кг; $n_{\text{п}}$ – количество изделий в садке.

Отсюда:

$$Q_{\text{ч}} = m_{\text{и}} \cdot n_{\text{п}} / \tau, \quad \text{кг/ч.} \quad (5.4)$$

Тип 2 - печи непрерывного действия: толкательные, с пульсирующим подом, с шагающими балками:

$$Q_{\text{ч}} = \frac{60}{\tau'} \cdot n_{\text{м}}, \quad (5.5)$$

где: τ' - такт работы (темп толкания для толкательных печей), мин.; $n_{\text{м}}$ – количество деталей в партии, приспособлении, поддоне.

$$\tau' = \frac{\tau}{\gamma}, \quad (5.6)$$

где: γ - количество приспособлений, поддонов, партий, которые передаются:

$$\gamma = \frac{L}{l}, \quad (5.7)$$

где: L – полезная длина печи, м; l – длина, занимаемая изделием, приспособлением, поддоном и т.д., м.

После подстановки соответствующих зависимостей в формулу 5.5 получим:

$$Q_{\text{ч}} = m_{\text{и}} \cdot n_{\text{м}} \cdot L / (\tau \cdot l), \text{ кг/ч.} \quad (5.8)$$

Тип 3 - печи непрерывного действия: конвейерные (с горизонтальным, вертикальным и подвесным конвейером), протяжные, карусельные, барабанные.

$$Q_{\text{ч}} = v \cdot n_{\text{к}} = \frac{L \cdot n_{\text{к}}}{\tau}, \quad (5.9)$$

где: $n_{\text{к}}$ – количество (масса) изделий, размещенных на единице длины конвейера.

В расчетах следует учитывать то, что расчетная часовая производительность печи ($Q_{\text{ч}}$) не может превышать паспортную производительность данной печи, но и не должна быть значительно меньшей (больше, чем на 20...30%) этой характеристики оборудования.

В зависимости от заданных исходных условий могут быть сделаны другие преобразования.

5.1.2 Расчет ресурса времени работы оборудования

Для печей (агрегатов) специального назначения:

$$\Phi = (D - B - P_{\text{р}}) \cdot c \cdot \tau_{\text{с}} \left(1 - \frac{\epsilon}{100} \right), \quad (5.10)$$

где: Φ – годовой фонд работы оборудования, часов;

D – количество дней в году; B – количество выходных дней; $P_{\text{р}}$ – количество праздничных дней; c – количество смен (обычно $c = 3$); $\tau_{\text{с}}$ – количество часов в смене, (чаще всего $\tau_{\text{с}} = 8$ ч.); ϵ – затраты времени на ремонт, %, ($\epsilon = 4 \dots 6\%$).

Для печей универсального действия:

$$\Phi = (D - B - P_{\text{р}}) \cdot c \cdot \tau_{\text{с}} \cdot \left(1 - \frac{\epsilon}{100} \right) \cdot \left(1 - \frac{r}{100} \right), \quad (5.11)$$

где: r – время на переналаживание, %, ($r = 2 \dots 3\%$),
или:

$$\Phi = (D - B - P_{\text{р}}) \cdot c \cdot \tau_{\text{с}} \cdot K_{\text{р}}, \quad (5.12)$$

где: $K_{\text{р}}$ – коэффициент использования номинального времени работы оборудования, учитывающий потери времени на ремонт, переналадку оборудования и разогрев печей, ($K_{\text{р}} = 0,89 \dots 0,92$).

5.1.3 Расчет количества оборудования

Расчетное количество данного вида оборудования ($C_{\text{р}}$) определяют как:

$$C_{\text{р}} = \frac{Q}{Q_{\text{г}} \cdot \Phi}, \text{ шт.} \quad (5.13)$$

где: Q – объем выпуска данного изделия в год, кг; $Q_{\text{г}}$ – производительность, кг/ч.;
 Φ – годовой ресурс работы оборудования, часов.

Полученное значение C_p округляется до целого значения (в большую сторону), получаем $C_{пр}$ – принятое количество печей (или другого вида оборудования). Тогда коэффициент загрузки данного вида оборудования, K_z , составит:

$$K_z = C_p / C_{пр}, \quad (5.14);$$

Для обеспечения эффективного использования печи K_z должен быть в пределах 0,75...0,95 (лучшее - 0,8...0,9).

5.2 Порядок выполнения работы

1. Получение задания у преподавателя: изменяющимися характеристиками являются типы изделий, их масса, размеры, марка стали, годовой объем выпуска, характер производства и т.п..

2. Изучение методических указаний и литературы по данной теме.
3. Выбор типа оборудования (с обоснованием выбора).
4. Составление таблицы исходных данных.
5. Выполнение расчетов.
6. Анализ полученных результатов.
7. Составление отчета.

5.3 Содержание и структура отчета

1. Название работы и краткие сведения о выборе термического оборудования и о порядке его расчета.

2. Конкретная цель работы.
3. Методика выполнения работы.
4. Результаты работы в виде описаний, таблиц, рисунков, и т.п..
5. Выводы.

5.4 Контрольные вопросы

1. Перечислить факторы, которые определяют выбор типа термического оборудования.
2. Какие исходные сведения надо иметь для расчета оборудования?
3. Как определить часовую производительность?
4. Как определить ресурс (фонд) времени работы оборудования?
5. Как определить количество необходимого оборудования?
6. Что такое коэффициент загрузки?

РЕКОМЕНДОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Соколов К.Н. Оборудование термических цехов. - Киев; Донецк: Высшая шк., 1984. - 328 с.
2. Электротермическое оборудование: Справочник/ Под общ. ред. А.П.Альтгаузена. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергия, 1980. - 410 с.
3. Свенчанский А.Д. Электрические печи сопротивления. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергия, 1975. - Ч.1. - 382 с.: ил.
4. Фомин Н.И., Затуловский Л.М. Электрические печи и установки индукционного нагрева. - М.: Металлургия, 1979. - 247 с.:ил.
5. Сидоренко В.Д. Применение индукционного нагрева в машиностроении. - Л.: Машиностроение, 1980. - 231 с.: ил.
6. Николаев Э.Н. Термическая обработка металлов и оборудование термических цехов. - М.: Высш.шк., 1980. - 192 с.:ил.
7. Термическая обработка в машиностроении: Справочник/ Под ред. Ю.М.Лахтина и А.Г.Рахштада. - М.: Машиностроение, 1980. - 783 с.: ил.