

**Міністерство освіти та науки України  
Національний університет «Запорізька політехніка»**

**Кафедра ОМТ**

**Методичні вказівки  
до виконання лабораторних робіт з дисципліни  
"Технологія нагрівання та нагрівальне обладнання"  
для студентів спеціальності 131 Прикладна механіка,  
освітньої програми "Обладнання та технології пластичного  
формування конструкцій машинобудування"  
всіх форм навчання**

**Запоріжжя 2024**

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни "Технологія нагрівання та нагрівальне обладнання" для студентів спеціальності 131 Прикладна механіка, освітньої програми «Обладнання та технології пластичного формування конструкцій машинобудування» всіх форм навчання. /Укл.: Бень А.М. - Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2024. - 18 с.

Укладач: А.М. Бень, ст. викл.

Рецензент: В.В. Широкобоков, доц., к.т.н.

Відповідальний за випуск: А.М. Бень, ст. викл.

Затверджено  
на засіданні кафедри ОМТ  
протокол № 8 від 26.06.2024

Рекомендовано до видання  
НМК машинобудівного факультету  
протокол № 1 від 27.08.2024

**ЗМІСТ**

|   |    |
|---|----|
| Вступ .....   | 4  |
| Лабораторна робота №1 Визначення окалиноутворення при<br>нагріванні сталевих заготовок .....      | 5  |
| Лабораторна робота №2 Визначення ККД електропечі .....  | 8  |
| Лабораторна робота №3 Визначення втрат тепла через стінки та<br>вікна електропечі .....           | 11 |
| Лабораторна робота №4 Експлуатація та характеристика<br>ковальського індукційного нагрівача ..... | 14 |
| Література.....   | 18 |

## **Вступ**

В ковальсько-штампувальному виробництві нагрівання металу перед куванням та гарячим штампуванням – відповідальна та складна технологічна операція. Від вірно вибраного способу та режиму нагрівання залежить не тільки якість отриманих поковок, стійкість штампів, економні витрати металу, палива та електроенергії, але й зріст продуктивності праці, зниження потрібного зусилля ковальсько-пресового обладнання та культури виробництва.

Характерна особливість сучасної теорії та практики нагрівання - комплексний підхід до вивчення теплофізичних процесів при гарячій обробці металів тиском з урахуванням окислення та газонасичення металу, теплової роботи нагрівального обладнання, режимів нагрівання та охолодження, термомеханічних властивостей поковок, теплової роботи інструмента та інших чинників, які визначають продуктивність обладнання та якість продукції, що випускається.

## Лабораторна робота №1

### Визначення окалиноутворення при нагріванні сталевих заготовок

**Мета роботи.** Визначення втрат металу від його окислення при нагріванні в електричній печі в атмосфері повітря, а також визначення впливу тривалості і температури нагрівання на окалиноутворення.

**Матеріали, інструмент, обладнання.** Заготовки для досліджень процесу окалиноутворення – відрізки дроту з вуглецевої сталі діаметром 4...6 мм та довжиною 60...70 мм (поверхневі дефекти та сліди корозії на заготовках не допускаються); електрична нагрівальна піч (нагрівальні елементи – ніхромові спіралі або силітові стрижні); температура печі регулюється та задається за допомогою електричного автоматичного потенціометра (наприклад, типу ПСР). Матеріал футеровки печі - шамотна цегла класу А.

**Теоретичні відомості.** При нагріванні металів в полумєневих печах окрім процесів, пов'язаних з передачею тепла, відбуваються також процеси хімічної взаємодії між пічними газами та поверхнею металу, що нагрівається. До вмісту продуктів згорання звичайно входять вуглецевий газ  $CO_2$ , кисень  $O_2$ , водяна пара  $H_2O$ , азот  $N_2$ , його оксиди  $N_xO_y$ , а також в невеликих кількостях оксид сірки  $SO_2$ , оксид вуглецю  $CO$  і водень  $H_2$ . При високих температурах кисень, пари води, вуглецевий газ та оксид сірки можуть окислювати метал. Цей процес – наслідок дифузії кисню з пічних газів до поверхні заготовок, що нагріваються, адсорбції його на поверхні, дифузії реагуючих речовин через шар окалини назустріч кисню та кристалографічним перетворенням. При цьому утворюються оксиди заліза (II) та заліза (III)  $FeO$  та  $Fe_2O_3$ , а також суміш  $Fe_3O_4$ .

При окисленні металів в полумєневих печах на величину вигару впливає вміст газів, температура та тривалість нагрівання, форма та розміри заготовок, хімічний склад металу та інші чинники.

Втрати металу від окислення можна кількісно визначити:

1. Масове окалиноутворення (вигар) – кількість металу, що окислився в процесі нагрівання, визначений у відсотках від його початкової маси:

$$X = \frac{q_1 - q_2}{q_1} \cdot 100\% , \quad (1.1)$$

де  $q_1$  та  $q_2$  – маса заготовки до нагрівання та після нагрівання та чищення відповідно, г.

2. Поверхнєве окалиноутворення – кількість окисленого металу, яка віднесена до одиниці поверхні заготовки, що нагрівається, г/см<sup>2</sup>:

$$A = \frac{q_1 - q_2}{S} \quad (1.2)$$

3. Швидкість окислення – відношення величини поверхневого окалиноутворення до часу нагрівання, г/(см<sup>2</sup> · год):

$$\omega = \frac{q_1 - q_2}{S \cdot \tau} , \quad (1.3)$$

де  $\tau$  – час нагрівання заготовки, год.

**Порядок проведення роботи.** Чотири чистих сталевих заготовки із дроту зважити на аналітичних вагах з точністю до 0,001 г. Після цього заготовки закласти в шамотні підставки і завантажити в піч. Підставки мають бути пронумеровані.

Температуру печі довести до необхідної в залежності від марки сталі, а потім фіксувати через кожні 3 хв.

Для визначення впливу тривалості нагрівання на окалиноутворення заготовки витягати з печі через кожні 10 хв.

Витягнуту з печі заготовку охолодити в посудині з водою для того, щоб до втрат металу від окислення в печі не додалися втрати від окалиноутворення на повітрі при охолодженні заготовки. Охолоджену заготовку відокремити від окалини.

Після очищення кожну заготовку зважити повторно і визначити величини окалиноутворення і швидкість окислення за формулами (1.1) - (1.3).

При визначенні поверхневого окалиноутворення торцевими площинами зневажати.

Результати замірювань занести до таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Окалиноутворення заготовок

| № заготовки | Маса заготовки до нагрівання, г | Середня температура печі, °С | Тривалість нагрівання, год | Маса заготовки після нагрівання, г | Масовий вигар, % | Поверхневий вигар, г/см <sup>2</sup> | Швидкість окислення, г/см <sup>2</sup> год |
|-------------|---------------------------------|------------------------------|----------------------------|------------------------------------|------------------|--------------------------------------|--|
|-------------|---------------------------------|------------------------------|----------------------------|------------------------------------|------------------|--------------------------------------|--|

**Зміст звіту.** Вказати тему та мету роботи. Дати характеристику лабораторній установці, матеріалам. Коротко викласти суть процесу окалиноутворення та основні його характеристики. Всі експериментальні та розрахункові дані звести в таблицю. Побудувати графіки:  $X = f(\tau)$ ,  $A = f(\tau)$  та  $\omega = f(\tau)$ .

### **Контрольні запитання.**

1. Які чинники впливають на процес окалиноутворення?
2. Структура окалини. Окалиноутворення на поверхні заготовок із вуглецевої та легованої сталі.
3. Засоби зменшення окалиноутворення при нагріванні в печах відкритого полум'я.

## Лабораторна робота №2 Визначення ККД електропечі

**Мета роботи.** Визначення термічного ККД лабораторної електричної печі при нагрівання сталевих заготовок.

**Матеріали, інструмент, обладнання.** Заготовки з вуглецевої сталі діаметром *50...60 мм* та довжиною *150 мм* (в заготовці висвердлюється радіальний отвір діаметром *2...4 мм* на глибину *25...30 мм* для встановлення платинородій-платинової термопари, яка є датчиком визначення температури металу); лабораторна однофазова електрична піч (перетворення електричної енергії в теплову здійснюється в нагрівальних елементах, які виготовлені у вигляді спіралі з ніхромового дроту або силітових стрижнів); амперметр і вольтметр, які включаються в силовий ланцюг печі для визначення параметрів струму, що використовується. Піч обладнана системою автоматичного керування тепловим режимом з електронним потенціометром; платинородій-платинова термопара і мілівольтметр проградуєований в градусах для замірювання температури заготовки.

**Теоретичні відомості.** При розрахунку параметрів теплової роботи печі, а також для порівняльної оцінки нагрівального обладнання розрізняють термічний та ефективний ККД пічних агрегатів.

Термічний ККД – це відношення кількості корисного тепла, яке іде на нагрівання металу, до всієї кількості тепла, яка виникає в нагрівальному устаткуванні при його тепловій роботі [2]:

$$\eta_m = \frac{Q_m}{Q_n} \cdot 100\% , \quad (2.1)$$

де  $Q_m$  – кількість тепла, яке іде на нагрівання металу, *кДж*;

$Q_n$  – загальна кількість тепла в печі, яке виникло під час згорання палива, *кДж*.

Ефективний ККД – це відношення кількості тепла, що використовується корисно, в нагрівальному обладнанні до кількості тепла, яке залишилось в печі:

$$\eta_e = \frac{Q_m}{Q_3} \cdot 100\% \quad (2.2)$$

де  $Q_3$  – кількість тепла, яке залишилося в печі при згоранні палива, *кДж*.

Для нагрівального обладнання оптимальним показником є термічний ККД.

Стосовно електричної печі опору ККД можна визначити таким чином.

Потужність, яка використовується піччю, *кВт*:

$$W = \frac{I \cdot U}{1000}, \quad (2.3)$$

де  $I$  – сила струму, *A*;

$U$  – напруга в силовому ланцюзі, *B*.

Загальна кількість теплової енергії, еквівалентна електричній, *кДж*:

$$Q_m = 3600 \cdot W_c \cdot \tau, \quad (2.4)$$

де  $W_c$  – середня потужність за час нагрівання, *кВт*;

$\tau$  – тривалість роботи печі, *год*.

Кількість тепла, яка іде на нагрівання металу, *кДж*:

$$Q_m = q \cdot (C_2 \cdot t_2 - C_1 \cdot t_1), \quad (2.5)$$

де  $q$  – маса заготовки, *кг*;

$C_1$  та  $C_2$  – відповідно початкова та кінцева теплоємність металу заготовки, *кДж / кг · град*;

$t_1$  і  $t_2$  – відповідно початкова та кінцева температура заготовки, *°C*.

В залежності від типу нагрівального обладнання, його конструктивного виконання, роду палива, степені використання тепла відпрацьованих пічних газів, термічний ККД може коливатися в широких межах (8...35%).

**Порядок проведення роботи.** Робота зводиться до визначення загальної кількості енергії, яка використовується піччю під час нагрівання, і кількості енергії, що іде безпосередньо на нагрівання металу.

Заготовку зважити, у завчасно висвердлений отвір помістити гарячий спай термопар та розмістити в робочій зоні печі.

Ввімкнути піч, автоматичним електронним потенціометром задати певну температуру нагрівання.

Через кожні 5...7 хв реєструвати покази амперметра, вольтметра та мілівольтметра (термометра).

Після того, як температура заготовки досягне заданої, піч вимкнути, зафіксувати час закінчення досліду.

Покази приладів занести до таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Робочі параметри електропечі

| Час,<br>год | Сила струму<br>$I, A$ | Напруга<br>$U, B$ | Потужність<br>$W, кВт$ | Температура, °C |
|-------------|-----------------------|-------------------|------------------------|-----------------|
|-------------|-----------------------|-------------------|------------------------|-----------------|

**Зміст звіту.** По залежностям (2.4) і (2.5) визначити  $Q_m$  та  $Q_m$ . Термічний ККД визначається за залежністю (2.1). На підставі табличних даних побудувати графік потужності печі, яка використовується при нагріванні, і температуру заготовки в функції часу нагрівання  $W = f(\tau)$  та  $t = f(\tau)$ .

Надати електричну принципову схему лабораторної печі.

**Контрольні запитання.**

1. Визначення ефективного та термічного ККД нагрівального обладнання.
2. Термічний ККД та метод оцінки теплоізоляції печі.
3. Способи підвищення ККД печей.

### Лабораторна робота №3

#### Визначення втрат тепла через стінки та вікна електропечі

**Мета роботи.** Визначення втрат тепла через стінки та завантажувально-розвантажувальні вікна стаціонарно працюючої печі, визначення температури на межі вогнетрива та теплоізоляції, на зовнішній поверхні стінки печі.

**Матеріал, інструментарій, обладнання.** Пірометри для вимірювання температури. Лінійки для заміру розмірів вікон. Піч електрична камерна моделі ПЕК02 з робочим об'ємом  $0,35 \text{ м}^2$  та двошаровою стінкою: футерівка та теплоізоляція.

**Теоретичні відомості.** При роботі полумєневих та електричних печей ковальсько-штампувального виробництва частина отриманого нагрівальним обладнанням тепла витрачається через стінки кладки та відкриті вікна під час завантажувально-розвантажувальних операцій.

Щільність теплового потоку, який проходить через стінку печі [1],  $\text{Вт}/\text{м}^2$ :

$$q = \frac{t_n - t_c}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{S_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (3.1)$$

де  $t_n$  – температура на внутрішній поверхні стінки, тобто температура в печі,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$t_c$  – температура навколишнього середовища, тобто температура в цеху,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$\alpha_1$  – зведений коефіцієнт тепловіддачі від пічного середовища до внутрішньої поверхні стінки,  $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$ ;

$n$  – кількість шарів кладки стінки;

$S_i$  – товщина  $i$ -го шару кладки,  $\text{м}$ ;

$\lambda_i$  – коефіцієнт теплопровідності  $i$ -го шару кладки,  $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$ ;

$\alpha_2$  – зведений коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні стінки в навколишнє середовище,  $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$ .

Тоді витрати тепла через стінки печі,  $\text{Вт}$ :

$$Q_{cm} = q \cdot \sum F, \quad (3.2)$$

де  $\sum F$  – сумарна поверхня всіх стінок та склепіння печі,  $m^2$ .

За умов стаціонарного режиму роботи печі легко знайти температуру на межі шарів кладки та температуру на зовнішній поверхні стінки печі.

Температура на поверхні межі футеровки та теплоізоляції:

$$t_{\phi} = t_n - q \cdot \frac{S_{\phi}}{\lambda_{\phi}}, \quad (3.3)$$

де  $S_{\phi}$  – товщина першого (внутрішнього) шару стінки печі,  $m$ ;

$\lambda_{\phi}$  – коефіцієнт теплопровідності внутрішнього шару кладки,  $Bm/m^2 \text{ } ^\circ C$ .

Температура на зовнішній поверхні стінки печі:

$$t_{cm} = t_{\phi m} - q \cdot \frac{S_2}{\lambda_2}, \quad (3.4)$$

де  $S_2$  – товщина шару теплоізоляції,  $m$ ;

$\lambda_2$  – коефіцієнт теплопровідності теплоізоляції,  $Bm/m^2 \text{ } ^\circ C$ .

$t_{\phi m}$  – температура на внутрішній стінці печі,  $^\circ C$ .

Втрати тепла через відкриті завантажувально-розвантажувальні вікна,  $Bm$ :

$$Q_e = C_0 \cdot \left[ \left( \frac{T_n}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_c}{100} \right)^4 \right] \cdot k \cdot F, \quad (3.5)$$

де  $C_0 = 5.7 Bm/m^2 \times ^\circ K$  – коефіцієнт випромінювання абсолютно чорного тіла;

$T_n, T_c$  – абсолютна температура в печі та навколишнього середовища,  $^\circ K$ ;

$F$  – площа відкритого вікна,  $m^2$ ;

$k$  – коефіцієнт діафрагмування:

$$k = 0.5 \cdot (1 + \phi), \quad (3.6)$$

де 
$$\varphi = \frac{l}{l+c}, \quad (3.7)$$

$l$  – еквівалентний розмір порожнини вікна,  $m$ :

$$l = \frac{2 \cdot a \cdot b \cdot c}{(a \cdot b + a \cdot c + b \cdot c)}, \quad (3.8)$$

де  $a$  та  $b$  – ширина та висота вікна,  $m$ ;

$c$  – товщина стінки вікна,  $m$ .

**Послідовність проведення роботи.** Електрична піч вмикається в електричну мережу з доведенням в ній температури відповідно 1000; 1100; 1200; 1300  $^{\circ}C$ . При досягненні в печі заданої температури, через 10...15 хв. замірюється температура на поверхні зовнішньої стінки. Визначається щільність теплового потоку, що проходить через піч, за виразом (3.1); втрати тепла через стінки та склепіння (3.2); температури на межі шарів футеровки та теплоізоляції (3.3); температури на зовнішній стінці за формулою (3.4) та витрати тепла через вікна за виразом (3.5). Вихідні дані зведемо в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – Параметри електропечі

| Матеріал футеровки |            |                              | Матеріал теплоізоляції |          |                            | Розміри вікна, $m$ |                |                 |
|--------------------|------------|------------------------------|------------------------|----------|----------------------------|--------------------|----------------|-----------------|
| Марка              | $S_{ф}, m$ | $\lambda_{ф}, Wm/M^{\circ}C$ | Марка                  | $S_2, m$ | $\lambda_2, Wm/M^{\circ}C$ | Ширина, $a, m$     | Висота, $b, m$ | Товщина, $c, m$ |
|                    |            |                              |                        |          |                            |                    |                |                 |

**Зміст звіту.** Згідно з отриманими значеннями витрат тепла через стінки та вікна, а також температур на межі футеровки і теплоізоляції на поверхні зовнішньої стінки будуюмо графіки:  $q(t_n)$ ,  $Q_{cm}(t_n)$ ,  $Q_g(t_n)$ . Робляться відповідні висновки.

**Контрольні запитання.**

1. Причини втрати тепла при нагріванні заготовок.
2. Методи оцінки теплоізоляції печі.
3. Способи підвищення ККД печей.

## Лабораторна робота №4

### Експлуатація та характеристика ковальського індукційного нагрівача

**Мета роботи.** Ознайомлення з принципом дії і конструкцією ковальського індукційного нагрівача в лабораторних умовах.

Визначення часу нагрівання та необхідної потужності для нагрівання циліндричних заготовок з вуглецевої сталі в КНі.

**Обладнання, матеріали, інструмент.** Електричний силовий ланцюг ковальського індукційного нагрівача, який складається з генератора струмів високої та підвищеної частоти, конденсаторів, контактів та комплекту вимірювальних приладів:

1. Високочастотний генератор служить для живлення індукційного обладнання. Найбільш широко розповсюджені машинні генератори, які складаються з електродвигуна трьохфазного струму (асинхронного або синхронного), який вмикається в мережу промислової частоти. На одному валу з двигуном монтується генератор, який складається із зубчастого ротора, що обертається в середині статора. В обмотках останнього індуюється змінний струм підвищеної частоти.

2. Індуктор є основним елементом КНУ. Від геометричних розмірів і конструкції його в значній мірі залежить ККД та експлуатаційні характеристики усього обладнання. Форма індуктора, в залежності від розмірів та форми заготовок, може бути циліндричною, овальною, квадратною та щілинною. Індуктор складається з дроту (мідна трубка квадратного перерізу, яка охолоджується водою), укладеного спіраллю, тепло- та електроізоляції, напрямних штаб та системи охолодження. Вказані елементи розміщені в корпусі з листової сталі.

3. Конденсаторна батарея в КНі служить для підвищення коефіцієнта потужності ( $\cos \varphi$ ). Якщо індуктор виконує роль своєрідного акумулятора електромагнітної енергії, то конденсатори по суті є накопичувачами електростатичної енергії. Це призводить до підвищення номінальної активної потужності генератора і ККД усього обладнання; вольтметр, амперметр, ваттметр і фазометр, які входять в комплект вимірювальних приладів КНУ; виштовхувачі (пневматичні, гідравлічні та механічні) для подачі і виштовхування заготовок з

індуктора; спеціальні пристрої (бункерного або лоткового типу) для завантаження заготовок в ковальський індукційний нагрівач; оптичні або фотоелектричні пірометри для вимірювання температури заготовок, що нагріваються в індукторі КІНу.

**Теоретичні відомості.** Один із самих прогресивних видів нагрівання металу перед штампуванням – нагрівання струмом високої та промислової частот в ковальських індукційних нагрівачах [2].

Суть індукційного нагрівання полягає в тому, що металева заготовка, яка укладається в змінне магнітне поле, нагрівається за рахунок тепла, яке виникає в ній внаслідок індукційних віхрьових струмів. Електрорушійна сила і струм розподіляються за перерізом заготовки нерівномірно і підлягають експоненціальному закону від поверхні до центру заготовки.

Товщину ( $\Delta$ ) поверхневого шару заготовки, по якому проходить змінний високочастотний струм, називають глибиною проникнення струму і визначають за формулою:

$$\Delta = 5030 \cdot \sqrt{\frac{\rho}{\mu \cdot f}}, \quad (4.1)$$

де  $\rho$  - питомий електричний опір,  $10^{-6}$  Ом·м;

$\mu$  – магнітна проникність;

$f$  – частота струму, Гц.

Процес нагрівання металу в індукторі можна розглядати так:

1. Нагрівання металу, шар якого знаходиться в межах глибини проникнення струму, відбувається безпосередньо за рахунок проходження електричного струму.

2. Нагрівання металу, який розташований в центрі заготовки, за межами глибини проникнення струму, відбувається за рахунок теплопровідності з поверхневих шарів.

Необхідна для нагрівання потужність ( $\kappa Bm$ ):

$$N = \frac{C \cdot t_{\max} \cdot q \cdot n}{\tau}, \quad (4.2)$$

де  $C$  – середня теплоємність сталі при температурі нагрівання,  $\kappa Дж/(кг \cdot град)$ ;

$t_{\max}$  – максимальна температура нагрівання, °C;

$q$  – маса заготовки, що нагрівається, кг;

$n$  – кількість заготовок, що нагріваються одночасно;

$\tau$  – час нагрівання, с.

Для того, щоб індукційне нагрівання було ефективним та економічно доцільним, треба мати найбільш високий ККД нагрівального обладнання. Із формули (4.1) витікає, що для одного і того ж матеріалу заготовки, глибина проникнення струму в основному залежить від його частоти. Практично, вибір частоти вважається задовільним, якщо відношення діаметра заготовки, що нагрівається, до глибини проникнення струму лежить в межах 2,5...6,0.

При визначенні часу нагрівання в КІНі, наприклад з частотою струму 2500 Гц, беруться заготовки з вуглецевої сталі довжиною 200 мм та  $\varnothing$  30, 50, 70, 90 мм (по 3 одиниці кожного перерізу).

**Порядок проведення роботи.** Вивчити принцип дії, призначення та конструктивні особливості системи високочастотний генератор – ковальський індукційний нагрівач в лабораторних або заводських умовах. Визначити параметри головних елементів КІНу. Вивчити положення інструкції з експлуатації індукційного нагрівача.

Зважити заготовки.

Для визначення часу нагрівання заготовок в індукторі, застосуємо, наприклад, оптичний пірометр. Його разташовують нерухомо на підставці так, щоб його оптична вісь перетиналась з центром торця встановленої в індуктор заготовки. Одночасно з вмиканням індуктора вмикається секундомір.

При досягненні заданої, в залежності від марки сталі, температури нагрівання, яка контролюється пірометром, вимкнути КІН і зафіксувати час. По заміряній температурі і часу нагрівання відповідно (4.2) знайти потужність, яка необхідна для нагрівання заготовок.

Результати вимірювань та розрахунків занести до таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Параметри заготовки при нагріванні

| Діаметр заготовки<br><i>мм</i> | Маса заготовки,<br><i>кг</i> | Температура нагрівання,<br>°C | Час нагрівання,<br><i>с</i> | Необхідна потужність нагрівання,<br><i>кВт</i> |
|--------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|--|
|--------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|--|

**Зміст звіту.** Скласти силову електричну схему ковальського індукційного нагрівача.

Скласти технічну характеристику КІНу за формою (таблиця 4.2).

Таблиця 4.2 – Технічна характеристика КІНа

| Параметр                                   | Значення |
|--|----------|
| Діаметр заготовки, <i>мм</i>               |          |
| Довжина заготовки, <i>мм</i>               |          |
| Час нагрівання, <i>с</i>                   |          |
| Температура нагрівання, $^{\circ}\text{C}$ |          |
| Форма індуктора                            |          |
| Внутрішній діаметр, <i>мм</i>              |          |
| Активна довжина, <i>мм</i>                 |          |
| Тип генератора                             |          |
| Частота струму, <i>Гц</i>                  |          |
| Напруга, <i>В</i>                          |          |
| Потужність, <i>кВт</i>                     |          |
| Тип конденсаторних батарей                 |          |
| Частота струму, <i>Гц</i>                  |          |
| Напруга, <i>В</i>                          |          |
| Ємність, <i>мкф</i>                        |          |
| Реактивна потужність, <i>квар</i>          |          |
| Кількість банок, <i>од</i>                 |          |

Подати графічну залежність терміну нагрівання та необхідної потужності в функції діаметра заготовок:  $N = f(d_3)$ ,  $\tau_n = f(d_3)$  при  $t_{\max} = \text{const}$ .

**Контрольні запитання.**

1. Яка фізична картина нагрівання металів струмом високої частоти?
2. Який режим роботи КІНу?
3. У чому полягають особливості нагрівання феромагнітних, діамагнітних та парамагнітних металів?

## Література

1. Колесник Ф.И. Нагрев и нагревательные устройства, сб. "Машины и технология обработки металлов давлением".- К.:Вища школа, 1987 - с. 112...124.
2. Краснокутський П.Г., Колесник Ф.І. Теплотехнічні процеси і конструкції нагрівальних печей. - К.:Вікол,1995 – 246 с.