

## ПРИКЛАДИ РІШЕННЯ ЗАДАЧ

### *Визначення температури нагріву сталі*

*Задача № 1.* Визначити граничну температуру нагріву злитка доевтектоїдної вуглецевої сталі 15 наступного хімічного складу %: 0,13 C; 0,25 Si; 0,44 Mn; 0,026 S; 0,018 P; 0,07 Cr; 0,17 Ni. Сталь належить до перлітного класу її критичні точки:  $A_{C1} = 735^{\circ} \text{C}$ ;  $A_{C3} = 863^{\circ} \text{C}$ ,  $A_{r3} = 840^{\circ} \text{C}$ ;  $A_{r1} = 685^{\circ} \text{C}$ .

#### *Рішення*

По діаграмі Fe - C (рис. 2) для сталі заданого хімічного складу температура по лінії солідуса  $t_{\text{сол}} = 1460^{\circ}\text{C}$ . По формулі (1.1.) початкова гранична температура:

$$t_{\text{поч}} = t_{\text{сол}} - 200^{\circ} = 1460 - 200 = 1260^{\circ}\text{C}$$

Результати механічних випробувань при високих температурах показують, що сталь 15 володіє найвищою пластичністю в інтервалі  $1200 - 1300^{\circ} \text{C}$  [2].

*Задача № 2.* Визначити граничну температуру нагріву злитка із сталі У7 наступного хімічного складу %: 0,73 C, 0,27 Si, 0,25 Mn, 0,028 S, 0,015 P, 0,08 Cr, 0,25 Ni. Доевтектоїдна сталь У7 відноситься до перлітного класу, її критичні точки:  $A_{C1} = 730^{\circ} \text{C}$ ;  $A_{C3} = 770^{\circ} \text{C}$ ;  $A_{r1} = 700^{\circ} \text{C}$  (в умовах повільного охолодження).

#### *Рішення*

По формулі (1.1):

$$t_{\text{сол}} = 1380^{\circ}\text{C};$$

$$t_{\text{н}} = t_{\text{сол}} - 160^{\circ}\text{C} = 1380 - 160 = 1220^{\circ}\text{C}$$

Результати механічних випробувань [12] показали, що сталь У7 володіє хорошою пластичністю в інтервалі температур  $700 - 1250^{\circ} \text{C}$ .

$$t_{\text{сол}} = 1330^{\circ}\text{C};$$

$$t_{\text{н}} = t_{\text{сол}} - 130^{\circ}\text{C} = 1330 - 130 = 1200^{\circ}\text{C}$$

Задача № 3. Визначити граничну температуру нагріву злитка із сталі 1X21H5T.

### Рішення

Ця сталь двофазна, неіржавіюча ферито - аустенітного класу, яка, згідно рис. 8, має до температури 840° С структуру  $\alpha + \gamma + \sigma$ , а в інтервалі температур 840 - 1200° С зберігає двофазну структуру  $\alpha + \gamma$  в інтервалі 1200 - 1420° С сплав стає однофазним  $\alpha$ . З 1420° С і вище сплав переходить в рідку фазу. Сталь 1X21H5T має підвищені параметри пластичності в інтервалі температур 900 - 1200° С, а саме:  $\delta = 95 \div 143\%$  і  $\psi = 91,0 \div 78\%$ .

Пластичність даної сталі залежить від співвідношення вмісту фериту і аустеніту. Максимальну пластичність сталь має при  $\alpha/\gamma = 4$  ( $\alpha = 80\%$   $\gamma = 20\%$ ; рис. 9 і 10). Отже, температура нагріву злитків повинна бути не нижчим 1200 і не вище 1300°С.

Більш високу температуру нагріву зливка прийняти не можна, оскільки з підвищенням температури нагріву спостерігається зростання зерен фериту, різко знижуються механічні властивості сталі, вона стає крихкою (рис. 11).

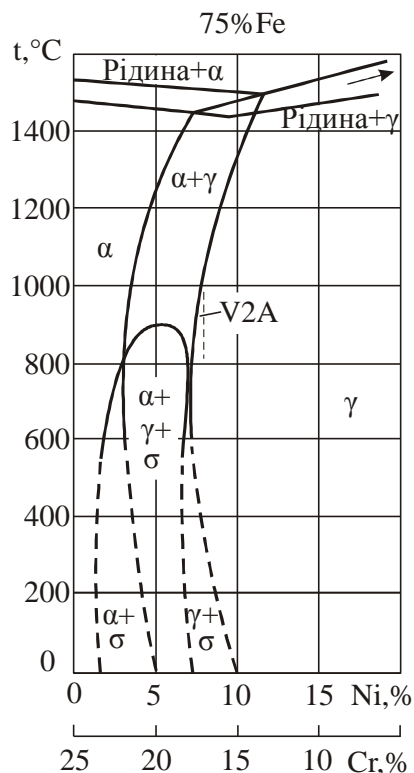


Рисунок 8 - Діаграма стану Fe - Cr – Ni

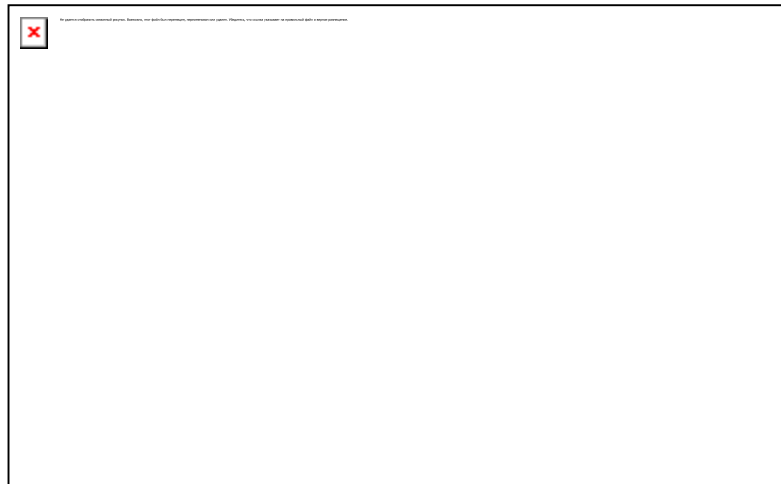


Рисунок 9 - Вплив температури на число скручувань та мікроструктуру зразків різних плавів при крутіння (по Шину Р.Г.)

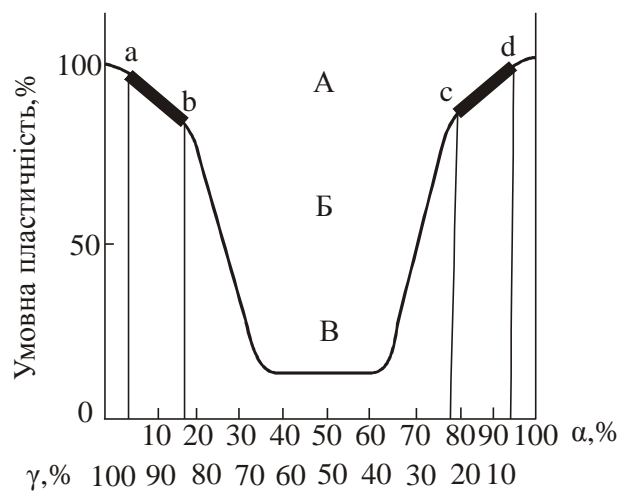


Рисунок 10 - Змін пластичних властивостей сталі в залежності від відношення аустеніту у і фериту а в металі (за даними А.А. Бабакова):

ab - структурна область сталей аустеніто - феритного класу при високих температурах; cd - структурна область двофазних сталей ферито – аустенітного класу при високих температурах; А - область задовільної пластичності;

Б - область зниженої пластичності; В - область поганої пластичності.

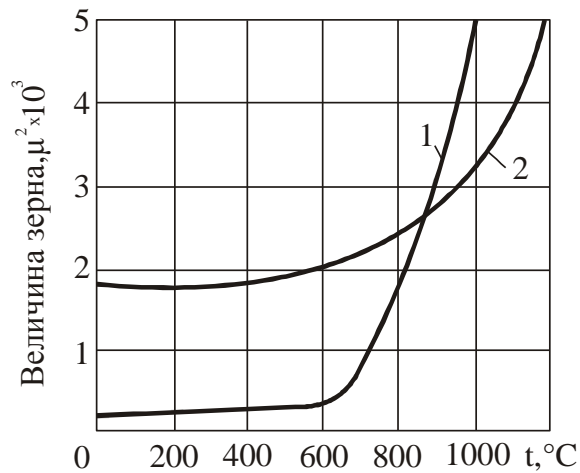


Рисунок 11 - Змін величини зерна феритних (1) і аустенітних (2) сталей в залежності від температури

*Задача № 4.* Заготовку круглого перетину діаметром 200 мм з м'якої вуглецевої сталі нагрівають в печі при температурі газу  $t_r = 1250^\circ \text{C}$ . Початкова температура металу  $t_0 = 0^\circ \text{C}$ . Визначити температуру поверхні і середини заготовки, якщо метал в печі нагрівають в продовж  $\tau = 30$  хвилин.

*Рішення*

Фізичні параметри сталі:

$$\lambda = 51,17 \text{ Вт/(м}\cdot\text{град)} \cdot [44 \text{ ккал/(м}^2\cdot\text{Г}\cdot\text{град.)}];$$

$$a = 0,0446 \text{ м}^2/\text{Г};$$

$$\alpha = 249,4 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{град)} [215 \text{ ккал/(м}\cdot\text{Г}\cdot\text{град.)}];$$

$$\frac{\alpha S}{2\lambda} = \frac{249,4 \cdot 0,2}{2 \cdot 51,17} = \frac{215 \cdot 0,2}{2 \cdot 44} \approx 0,5$$

$$\frac{4a\tau}{S^2} = \frac{4 \cdot 0,0446 \cdot 0,5}{0,2^2} = 2,23.$$

Із рис. 5 по значенням  $aS/2\lambda$ , і  $4a\tau/S^2$  знаходимо, що  $\frac{t_{II} - t_r}{t_0 - t_r} = 0,15$ .

Тоді 
$$\frac{t_{II} - 1250}{0 - 1250} = 0,15,$$

Звідки 
$$t_{II} = 0,15(0 - 1250) + 1250 = 1080^\circ\text{C}.$$

Із рис. 6 знаходимо, що 
$$\frac{t_C - t_r}{t_0 - t_r} = 0,20.$$

$$\text{Тоді } \frac{t_c - 1250}{0 - 1250} = 0,20 \text{ або } t_c = 0,20(0 - 1250) + 1250 = 1000^\circ\text{C}$$

Отже, через 30 хвилин температура на поверхні заготовки буде  $t_n = 1080^\circ\text{C}$ , а в центрі  $t_{ц} = 1000^\circ\text{C}$ . Різниця температур між поверхнею і центром буде  $\Delta t = 1080 - 1000^\circ\text{C} = 80^\circ\text{C}$ .

### ***Приклади рішення задач за визначенням тривалості нагріву сталі***

*Задача № 5[4].* Визначити тривалість нагріву зливків розмірами 680x680x2000 мм із сталі 20 до температури поверхні  $1280^\circ\text{C}$ . Початкова температура зливка  $20^\circ\text{C}$ . Умови нагріву в рекуперативних колодязях наступні:

1. Нагрів двоступеневий: перший період - при постійній тепловій потужності; другий період - при постійній температурі печі.

2. Середні теплові потоки і зміни тепловмісту металу: в перший період  $q_1 = 93,02 \text{ кВт/м}^2$  ( $80000 \text{ ккал/м}^2\cdot\text{г}$ ) і  $\Delta i = 582,12 \text{ кДж/кг}$  ( $138,6 \text{ ккал/кг}$ ); в другий період  $q_2 = 37,82 \text{ кВт/м}^2$  ( $32600 \text{ ккал/м}^2\cdot\text{г}$ ) і  $\Delta i_2 = 292,32 \text{ кДж/кг}$  ( $696 \text{ ккал/кг}$ ).

#### *Рішення*

Квадратний перетин зливка замінюють круглим рівновеликій площі. Радіус кола в цьому випадку дорівнює:

$$R = \frac{\sqrt{0,68 \cdot 0,68}}{\pi} = 0,384 \text{ м}$$

Загальну тривалість нагріву зливка визначають за формулою (1.3):

$$\tau = \frac{R_p (\Delta i_1 + \Delta i_2)}{2q_1 q_2}$$

де  $\rho = 7800 \text{ кг/м}^3$ .

В одиницях системи СІ ( $1 \text{ Дж} = 2,78 \cdot 10^{-4} \text{ Вт}\cdot\text{г}$ ):

$$\tau = \frac{0,384 \cdot 7800 (582120 \cdot 2,78 \cdot 10^{-4} + 292320 \cdot 2,78 \cdot 10^{-4})}{2 \cdot 93020 \cdot 37820} = 5,79 \text{ с}$$

*Задача № 6.* В нагрівальних колодязях нагрівають зливки сталі з 0,7% С. Розміри зливка 680x680x2000 мм. Початкова температура зливка 20° С;  $\rho = 7750 \text{ кг/м}^3$ . Визначити тривалість нагріву зливка (по періодах). Нагрів триступеневий. Перший період - з обмеженою швидкістю до 500° С в середині; другий період - при постійному зростанні теплової потужності; третій період - при постійній температурі печі. Визначити час нагріву зливка до кінцевої температури поверхні  $t_{п.к.} = 1250^\circ \text{ С}$ .

#### *Рішення*

Повну тривалість нагріву зливка визначають по формулі (1.4), в якій  $k = 1$  для квадратного перетину. Відомо, що:  $\Delta i_1 = 352,00 \text{ кДж/кг}$  (83,9 ккал/кг);  $\Delta i_2 = 223,00 \text{ кДж/кг}$  (53,2 ккал/кг);  $\Delta i_3 = 261,4 \text{ кДж/кг}$  (62,4 ккал/кг);  $q_1 = 36,19 \text{ кВт/м}$  (31 200 ккал/м·г);  $q_2 = 48,72 \text{ кВт/м}^2$  (42 000 ккал/м<sup>2</sup>·г);  $q_3 = 26,91 \text{ кВт/м}^2$  (23 200 ккал/м<sup>2</sup>·г).

Тоді

$$\tau = \frac{0,384 \cdot 7750 (352000 \cdot 2,78 \cdot 10^{-4})}{2 \cdot 36190} + \frac{223000 \cdot 2,78 \cdot 10^{-4}}{48720} + \frac{261400 \cdot 2,78 \cdot 10^{-4}}{26900} = 9,82.$$

По формулах (1.4) визначаємо:  $\tau_1 = 3,97 \text{ г}$ ;  $\tau_2 = 1,89 \text{ г}$ ;  $\tau_3 = 4 \text{ г}$ , тоді

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 = 3,97 + 1,89 + 4,0 = 9,86 \text{ г}.$$

*Задача № 7* [4]. Визначити тривалість нагріву зливка вуглецевої сталі із вмістом 0,3% С при гарячому посаді в осередок рекуперативних колодязів. Розміри зливка  $\frac{690 \times 600}{595 \times 505} \times 1800$  мм. Початкова температура поверхні зливка  $t_{пх} = 850^\circ \text{ С}$ , кінцева  $t_{к.п.}^0 = 1250^\circ \text{ С}$  при перепаді  $\Delta t = 50^\circ \text{ С}$ . Температура повітря  $t_{пов} = 20^\circ \text{ С}$ . При рішенні приймають наступні кінцеві результати теплотехнічних розрахунків, виконаних Н. Ю. Тайцем стосовно умов даної задачі [4]:

1) тепловий потік охолодження  $q_0 = 86,65 \text{ кВт/м}$  (74 700 ккал/м·г)

$$q_0 = \alpha_0 (t_{п} - t_{в}) = \frac{90(850 - 20)}{860} = 86,65 \text{ кВт/м}^2 \text{ (74700 ккал/г)}$$

де  $\alpha_0$  - коефіцієнт тепловіддачі охолодження знаходиться по графіку рис. 12;

2) тепловий потік першого періоду нагріву  $q_1 = 63,8 \text{ кВт/м}^2$  (5500 ккал/м<sup>2</sup>·Г);

3) тепловий потік другого періоду  $q_2 = 12,6 \text{ кВт/м}^2$  (10800 ккал/м<sup>2</sup>·Г);

4) початкова температура середини зливка  $t = 1200^\circ\text{C}$ ;

5) середня температура на початку посадки  $t_{\text{п}} = 1025^\circ\text{C}$ ;

6) температура поверхні зливка в першому періоді  $t_{\text{п1}} = 1115^\circ\text{C}$ .

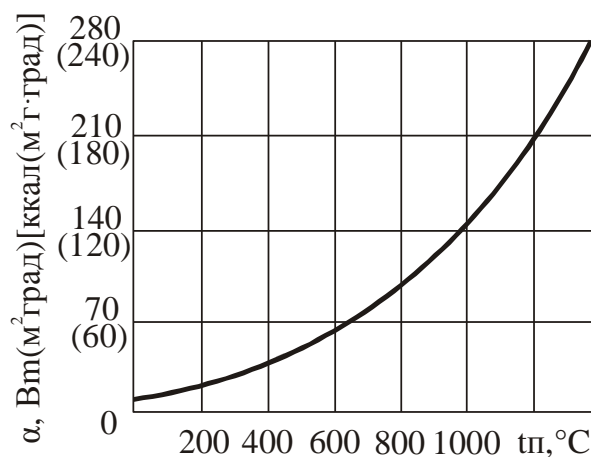


Рисунок 12 - Змін коефіцієнта тепловіддачі при охолодженні тіла на повітрі

### Рішення

1. Розрахунковий радіус зливка:

$$R = \frac{\sqrt{0,69 \cdot 0,60 + 0,595 \cdot 0,505}}{2\pi} = 0,338 \text{ м}$$

2. Тривалість першого періоду нагріву зливка:

$$\text{а) } \frac{q_1}{q_2} = \frac{63,8}{86,65} = 0,735;$$

$$\text{б) } \frac{(t_{\text{п}} - t_c)2\lambda}{q_0 R} = \frac{(1388 - 1473) \cdot 41,7}{86,65 \cdot 1000 \cdot 0,338} = -\frac{7089}{29287} = 0,244;$$

де  $\lambda = 41,7 \text{ Вт/м} \cdot \text{град}$ . (36,3 ккал/м · Г°С) для вуглецевої сталі при 1000°С;

в) з рис. 13 за отриманими даними визначаємо:

$$\frac{\alpha \tau_1}{R^2} = 0,04,$$

$$\text{Тоді } \tau_1 = \frac{0,04 R^2}{a} = \frac{0,04 \cdot 0,338^2}{0,028} = 0,163 \text{ години},$$

де  $a = 0,028 \text{ м}^2/\text{г}$  - коефіцієнт температуропровідності.

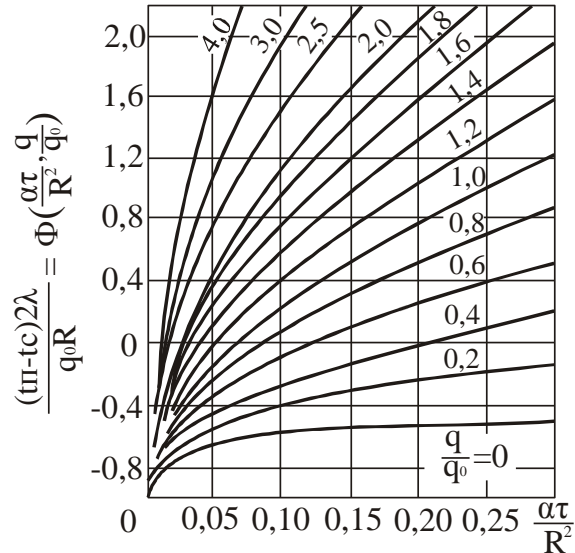


Рисунок 13 - Відносна температура  $(t_n^q - t_{cp}) 2\lambda/q_0 R = \Phi(\alpha\tau/R^2; q/q_0)$  поверхні циліндра при постійному тепловому потоці  $q$  при наявності температурного градієнту в початковий момент

3. Температуру осі зливка  $t_{oc}$  за даними  $q_1 / q_0$  і  $\alpha\tau / S^2$  визначаємо з рис.

14:  $\Phi = -0,2$ , звідки:

$$t_{o.c.} = t_c - \Phi \frac{q_0 R}{2\lambda} = 1200 - 0,2 \frac{86650 \cdot 0,338}{2 \cdot 41,7} = 1130^\circ\text{C}$$

4. Середня температура зливка:

$$t_1 = t_H + \frac{2q_1 \tau_1}{R_\rho c_\rho} = 1025 + \frac{2 \cdot 63800 \cdot 0,163}{0,338 \cdot 7500 \cdot 695 \cdot 2,78 \cdot 10^{-4}} = 1067^\circ\text{C}$$

де  $C_p = 695 \text{ дж/кг}\cdot\text{град}$  (167 кал/кг·град).

5. Тепловміст  $i_1$  знаходять по табл. 5; при  $t_1 = 1067^\circ\text{C}$   $i_1 = 745,8 \text{ кДж/кг}$  (178 ккал/кг).



6.  $\Delta i_2 = i_2 - i_1 = 860,19 - 745,8 - 114,39$  кДж/кг (27,3 ккал/кг), де  $i_2$  знаходиться з табл. 5 по середній температурі другого періоду нагріву зливків, дорівнює

$$t_2 = t_{п2} - \frac{1}{2} \Delta t_2 = 1250 - 25 = 1225^\circ \text{C}.$$

7. Середній тепловий потік:

$$q_2 = \frac{q_1 - q_2}{\ln q_1 / q_2} = \frac{63,8 - 12,6}{\ln 63,8 / 12,6} = 31,0 \text{ кВт/м}^2 \text{ (27000 ккал/ м}^2 \cdot \text{Г)}$$

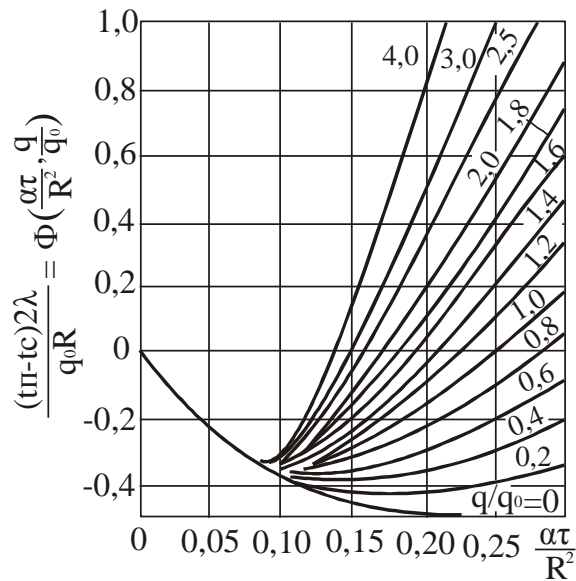


Рисунок 14 - Відносна температура  $(t_{cp} - t_0) \times 2\lambda/q_0R = \Phi(\alpha\tau/R^2; q/q_0)$  по осі циліндра при постійному тепловому потоці та при наявності температурного градієнту в початковий момент

8. Тривалість нагріву за другий період

$$\tau_2 = \frac{\Delta i_2 R \rho}{2q_2} = \frac{114390 \cdot 2,78 \cdot 10^{-4} \cdot 0,338 \cdot 7500}{2 \cdot 31000} = 1,28 \text{ години.}$$

9. Загальна тривалість нагріву

$$\tau = 0,163 + 1,28 = 1,443 \text{ години.}$$

Задача № 8 [4]. Визначити тривалість нагріву заготовки із сталі Ст.3 квадратного перетину розмірами 140 x 140 мм, завдовжки 1,45 м до кінцевої температури поверхні заготовки  $t_{кп} = 1250^\circ \text{C}$  в методичній дворядній печі, що працює по двозонному температурному режиму. Продуктивність печі  $G = 55$

т/г; початкова температура поверхні заготовки  $t_n = 0^\circ\text{C}$ , кінцевий перепад температур по перетину заготовки  $\Delta t 40^\circ\text{C}$ .

### Рішення

#### 1. Загальний час нагріву

$$\tau_{\text{заг}} = \frac{F_{\text{акт}} 2S\rho}{G} = \frac{78,5 \cdot 0,14 \cdot 7800}{55000} = 1,56 \text{ години.}$$

де  $F_{\text{акт}}$  - площа активного череня печі, дорівнює:

$$F_{\text{акт}} = \frac{G}{H} = \frac{55000}{700} = 78,5 \text{ м}^2$$

$2S = 140$  мм - товщина заготовки;

$H = 700$  кг/м<sup>2</sup>·г - напруженість активного череня печі.

#### 2. Час нагріву металу в томильній печі з монолітним черенем

$$\tau_3 = \frac{L_{\text{св}} 2Sl\rho n}{G} = \frac{4,5 \cdot 0,14 \cdot 1,45 \cdot 7800 \cdot 2}{55000} = 0,26$$

де  $n = 2$  - число заготовок по ширині печі.

#### 3. Час нагріву металу в зварювальній зоні з двостороннім нагрівом:

$$\tau_2 = \frac{\Delta i_2 S \rho}{k_1 q_2} = \frac{470000 \cdot 2,78 \cdot 10^{-4} \cdot 0,07 \cdot 7800}{1 \cdot 92600} = 0,77 \text{ години.}$$

Розрахунок зміни тепловмісту  $\Delta i_2$  і середнього теплового потоку  $q_2$  є приведений в роботі Н. Ю. Тайца і Ю. Н. Розенгарта [20].

#### 4. Час нагріву в методичній зоні

$$\tau_1 = \tau - (\tau_2 + \tau_3) = 1,56 - (0,26 + 0,77) = 0,535 \text{ години.}$$

*Задача № 9* [4]. Визначити тривалість нагріву круглих зливків діаметром 412 мм і заввишки 1800 мм із сталі марки D до  $t_{\text{п.к.}} = 1280^\circ\text{C}$  за наступних умов: початкова температура металу  $t_n = 20^\circ\text{C}$ , кінцева різниця температур  $\Delta t_{\text{к}} = 60^\circ\text{C}$  продуктивність печі  $G = 35$  т/г.

Зміни тепловмісту: в методичній зоні  $\Delta i_1 = 388,92$  кДж/кг (92,6 ккал/год.), в зварювальній зоні  $\Delta i_2 = 491,4$  кДж/кг (117 ккал/г).

Середні теплові потоки: в методичній зоні  $q_1 = 66,81$  кВт/м (57 600 ккал/м<sup>2</sup> · г) в зварювальній зоні  $q_2 = 48,95$  кВт/м (42 200 ккал/м<sup>2</sup> · г). Значення  $\Delta i_1$ ,  $\Delta i_2$ ,  $q_1$  і  $q_2$  є прийнятий за даними Н. Ю. Тайца [4].

### Рішення

1. Тривалість нагріву в методичній зоні при односторонньому нагріві

$$\tau_1 = \frac{\Delta i_1 2R\rho}{k_1 q_1} = \frac{388920 \cdot 2,78 \cdot 10^{-4} \cdot 2 \cdot 0,206 \cdot 7500}{2 \cdot 66810} = 2,5 \text{ години,}$$

2. Тривалість нагріву в зварювальній зоні

$$\tau_2 = \frac{\Delta i_2 2R\mu\rho}{k_1 q_2} = \frac{491400 \cdot 2,78 \cdot 10^{-4} \cdot 2 \cdot 0,206 \cdot 7500}{2 \cdot 48950} = 3,2 \text{ Г,}$$

де  $\mu = 0,75$  коефіцієнт несиметричної нагріву.

3. Загальна тривалість нагріву:  $\tau_{\text{заг}} = \tau_1 + \tau_2 = 2,48 + 3,22 = 5,70$  годин

4. Питома тривалість нагріву:  $t = \frac{60\tau_{\text{заг}}}{2R} = \frac{5,70 \cdot 60}{2 \cdot 20,6} = 8,3$  хв./см.

*Задача № 10* [4]. Визначити тривалість нагріву в кільцевій печі заготовки діаметром  $d = 250$  мм, завдовжки 5,0 м із сталі марки D до  $t_{\text{п.к.}} = 1250^\circ \text{C}$  при  $\Delta t_{\text{к}} = 30^\circ \text{C}$ , виходячи з таких даних  $\Delta i_1 = 505,68$  кДж/кг (120,4 ккал/кг);

$\Delta i_2 = 36372$  кДж/кг (86,6 ккал/кг);  $q_1 = 51$  кВт/м<sup>2</sup> (44 000 ккал/м<sup>2</sup> · г);  $q_2 = 49,3$  кВт/м<sup>2</sup> (42 500 ккал/м<sup>2</sup>);  $\rho = 7800$  кг/м<sup>3</sup>.

### Рішення

1. Час нагріву в методичній зоні

$$\tau_1 = \frac{\Delta i_1 1,1R\rho}{k_1 q_1} = \frac{505680 \cdot 1,1 \cdot 0,125 \cdot 2,78 \cdot 10^{-4} \cdot 7800}{2 \cdot 51000} = 1,78 \text{ Г}$$

2. Тривалість нагріву в зварювальній зоні

$$\tau_2 = \frac{\Delta i_{\text{свар}} 1,1R\rho}{k_1 q_2} = \frac{363720 \cdot 2,78 \cdot 10^{-4} \cdot 1,1 \cdot 0,125 \cdot 7800}{2 \cdot 48300} = 1,1 \text{ години.}$$

де  $R_{PACЧ} = 2\mu R = 2 \cdot 0,54R \approx 1,1R$  - розрахунковий радіус з урахуванням коефіцієнта несиметричності нагріву  $\mu = 0,54$  (за даними Н. Ю. Тайца).

3. Повна тривалість нагріву:  $\tau = 1,47 + 1,1 = 2,57$  години

4. Питома тривалість нагріву:  $z = \frac{2,57 \cdot 60}{25} = 6,17$  хв./см.

*Задача №11* [5]. Метал круглого перетину діаметром 200 мм з м'якої вуглецевої сталі знаходяться в печі з температурою  $t_n - 1250^\circ \text{C}$ . Визначити, скільки буде потрібно часу, щоб поверхня заготовки нагрілася до  $1000^\circ \text{C}$ . Початкова температура металу  $0^\circ \text{C}$ .

### Рішення

(по методиці Л. М. Марієнбаха).

1. Знаходять фізичні параметри, приведені в табл. 3.

Таблиця 3. Фізичні параметри

t, °C	$\lambda$		Cp		P, кг/м <sup>3</sup>	$a = \frac{\lambda}{c_p P}, \text{ м}^2/\text{Г}$
	вт/м·град	(ккал м·Г·град)	кДжк·град	ккал к·град		
0	60,48	52 36	0,46	0,110	7850	0,0596
1000	41,87	44	0,68	0,163	7530	0,0297
середня			-	-	-	0,0446

2. Коефіцієнт теплопередачі визначають по емпіричній формулі Шака з поправкою Хейлінгенштедта:

$$a = 50 + 0,3 (t_r - 700^\circ \text{C}) = 50 + 0,3 (1250^\circ \text{C} - 700^\circ \text{C}) = 250,1 \text{ вт/м}^2\text{град}$$

$$(215 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{Г} \cdot \text{град}).$$

3. Критерій:

$$\frac{aS}{2\lambda} = \frac{250,1 \cdot 0,2}{2 \cdot 51,18} = 0,5$$

$$\frac{t_n - t_r}{t_0 - t_r} = \frac{1000 - 1250}{0 - 1250} = 0,2$$

4. По графіку Шака (рис. 5) знаходять, що точка перетину осей (0,50; 0,2) потрапляє на криву  $4a\tau/S^2 = 2$ .

5. З рівняння 
$$\frac{4a\tau}{S^2} = \frac{4 \cdot 0,0446\tau}{0,2^2} = 2$$

знаходять, що  $\tau = 0,45$  години 27 хвилин, звідки  $z = 27/20 = 1,35$  хв./см.

Таким чином через 27 хвилин поверхня заготовки нагрівається до  $1000^\circ \text{C}$ .

*Задача №12* [6]. Визначити тривалість нагріву вуглецевої заготовки квадратного перетину розмірами 120x120x1350 мм до температури поверхні металу  $t_{\text{пов}} = 1250^\circ \text{C}$  за наступними даними: піч дворядна; активна довжина печі  $l_{\text{акт}} = 26,4$  м; довжина камери підігріву  $l_{\text{під}} = 13,8$  м; довжина зварювальної камери  $l_{\text{св}} = 6,8$  м; довжина камери томління  $l_{\text{том}} = 5,8$  м; продуктивність печі  $G = 36\,500$  кг/г.

### Рішення

(по методиці М.М. Іцковича).

1. Одноразове завантаження печі

$$G_{\text{піч}} = 21_{\text{заг}} \cdot \rho \cdot l_{\text{акт}} = 2 \cdot 1,35 \cdot 0,12 \cdot 7800 \cdot 26,4 = 67000 \text{ кг.}$$

2. При  $G = 36\,500$  кг/г час нагріву складе:

$$\tau = \frac{G_{\text{піч}}}{G} = \frac{67000}{36500} = 1,85 \text{ години.}$$

3. Тривалість нагріву металу в кожній зоні печі дорівнює:

$$\tau_{\text{ПОД}} = \tau \frac{l_{\text{ПОД}}}{l_{\text{АКТ}}} = 1,85 \frac{13,8}{26,4} = 0,965 \text{ г.}$$

$$\tau_{\text{СВАР}} = \tau \frac{l_{\text{СВАР}}}{l_{\text{АКТ}}} = 1,85 \frac{6,8}{26,2} = 0,475 \text{ г.}$$

$$\tau_{\text{ТОМ}} = \tau \frac{l_{\text{ТОМ}}}{l_{\text{АКТ}}} = 1,85 \frac{5,8}{26,4} = 0,410 \text{ г.}$$

$$\tau = \tau_{\text{ПОД}} + \tau_{\text{СВ}} + \tau_{\text{ТОМ}} = 0,965 + 0,475 + 0,410 = 1,85 \text{ години.}$$

4. Питома тривалість або швидкість нагріву

$$z = \frac{1,85 \cdot 60}{25} = 9,25 \text{ хв./см.}$$

*Задача № 13*[6]. За умов нагріву, приведених в задачі № 12, визначити тривалість нагріву вуглецевої заготовки квадратного перетину розмірами 120x120x1350 мм з урахуванням перерахованих нижче даних.

Приріст тепловмісту металу: в камері підігріву  $\Delta i_{\text{год.}} = 327,6$  кДж/кг (78 ккал/кг); в зварювальній камері  $\Delta i_{\text{звар}} = 424,2$  кДж/кг (101 ккал/кг); в камері томління  $\Delta i_{\text{том}} = 71,4$  кДж/кг (17 ккал/кг). Температура газів  $T_{\text{відх.}}$ , що йдуть = 800° С. Різниця температур по перетину заготовки: в зоні підігріву  $\Delta i_1 = 78^\circ$  С; в зварювальній зоні  $\Delta i_2 = 170^\circ$  С; в зоні томління  $\Delta i_3 = 27^\circ$  С.

Визначимо тривалість нагріву заготовки в кожній зоні печі по формулах (1.7):

$$\tau_{\text{ПОД}} = \frac{287 \Delta i_{\text{ПОД}} S \sqrt{S}}{(T_{\text{уход}}/100)^2 \sqrt{\Delta t_1}} = \frac{287 \cdot 327600 \cdot 2,78 \cdot 10^{-4} \cdot 0,12 \sqrt{0,12}}{(10,73)^2 \sqrt{78}} = 0,93$$

$$\tau_{\text{СВАР}} = \frac{35,6 \Delta i_{\text{СВАР}} S^2}{\sqrt{\Delta t_1 \cdot \Delta t_2}} = \frac{35,6 \cdot 424200 \cdot 2,78 \cdot 10^{-4} \cdot 0,12^2}{\sqrt{78 \cdot 170}} = 0,46 \text{ Г}$$

$$\tau_{\text{ТОМ}} = \frac{112,5 \Delta i_{\text{ТОМ}} S^2}{\sqrt{\Delta t_2 \cdot \Delta t_3}} = \frac{112,5 \cdot 71400 \cdot 2,78 \cdot 10^{-4} \cdot 0,12^2}{\sqrt{170 \cdot 27}} = 0,46 \text{ Г}$$

Загальна тривалість нагріву  $\tau = 0,93 + 0,46 + 0,41 = 1,80$  години.

Метод визначення  $\Delta i$  і  $\Delta t$  достатньо детально є викладений в роботі [20].

### ***Визначення часу нагріву по напівемпіричних формулах***

*Задача № 14.* Визначити тривалість нагріву в нагрівальних колодязях зливка вуглецевої сталі вмістом  $C = 0,3\%$  і розмірами:  $\frac{600 \times 600}{595 \times 505} \times 1800$  мм,

якщо температура зливка при посадці в колодязі дорівнює  $t - 850^\circ$  С.

### ***Рішення***

Тривалість нагріву зливка до температури прокатування визначаємо по формулі (1.14):

$$\tau = kS - 0,006 (t - 200^\circ\text{C}) = 0,1 \cdot 69 - 0,006 (850^\circ\text{C} - 200^\circ\text{C}) = 3 \text{ години.}$$

*Задача № 15.* Визначити тривалість нагріву сталевого зливка розмірами 680x680x2000 з 0,7% С до температури прокатування. Зливки садять в піч при  $t_0 = 20^\circ\text{C}$ .

*Рішення*

По формулі Н. Ю. Тайца (1.10) час нагріву зливка:

$$\tau = (7,5 + 0,05S) S = (7,5 + 0,05 \cdot 68) \cdot 68 = 741,2 \text{ хв.} = 12,35 \text{ години.}$$

Питома тривалість нагріву:  $z = \frac{12,35 \cdot 60}{62} = 10,9 \text{ хв./см.}$

По формулі М. М. Доброхотова (1.8):

$$\tau = kD\sqrt{D} = 20 \cdot 0,68\sqrt{0,68} = 11,2 \text{ годин.}$$

$$z = \frac{12,35 \cdot 60}{62} = 10,9 \text{ хв./см.}$$