Подвижные источники тепла

Группы СПД 31

Лекция 5

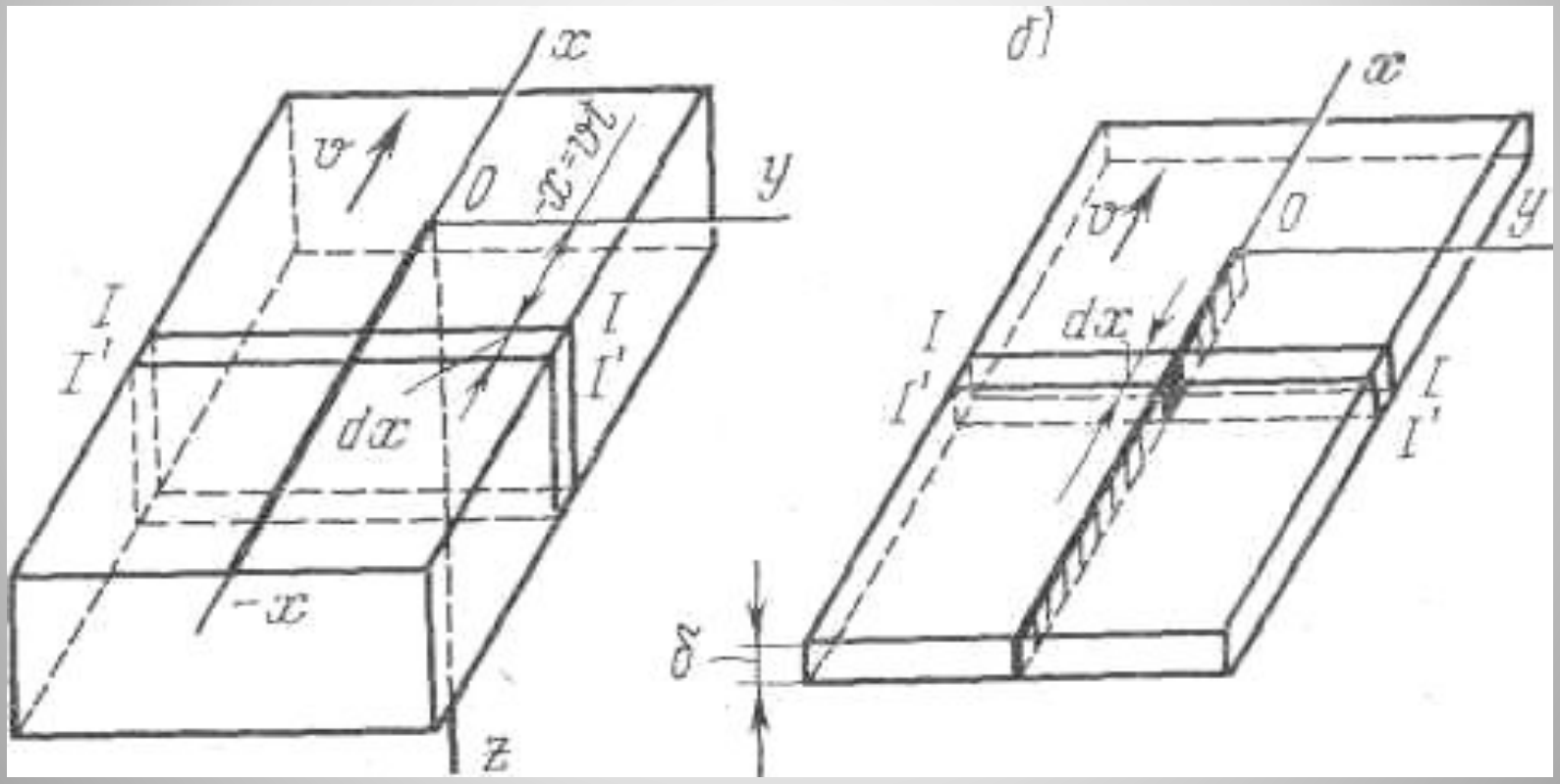
$$T = \frac{q}{2\pi\lambda R} e^{-\frac{v}{2a}(R+x)}$$

$$T = \frac{q}{2\pi\lambda\delta} e^{-\frac{vx}{2a}} K_0\left(\frac{vr}{2a}\sqrt{1+\frac{4ba}{v^2}}\right)$$

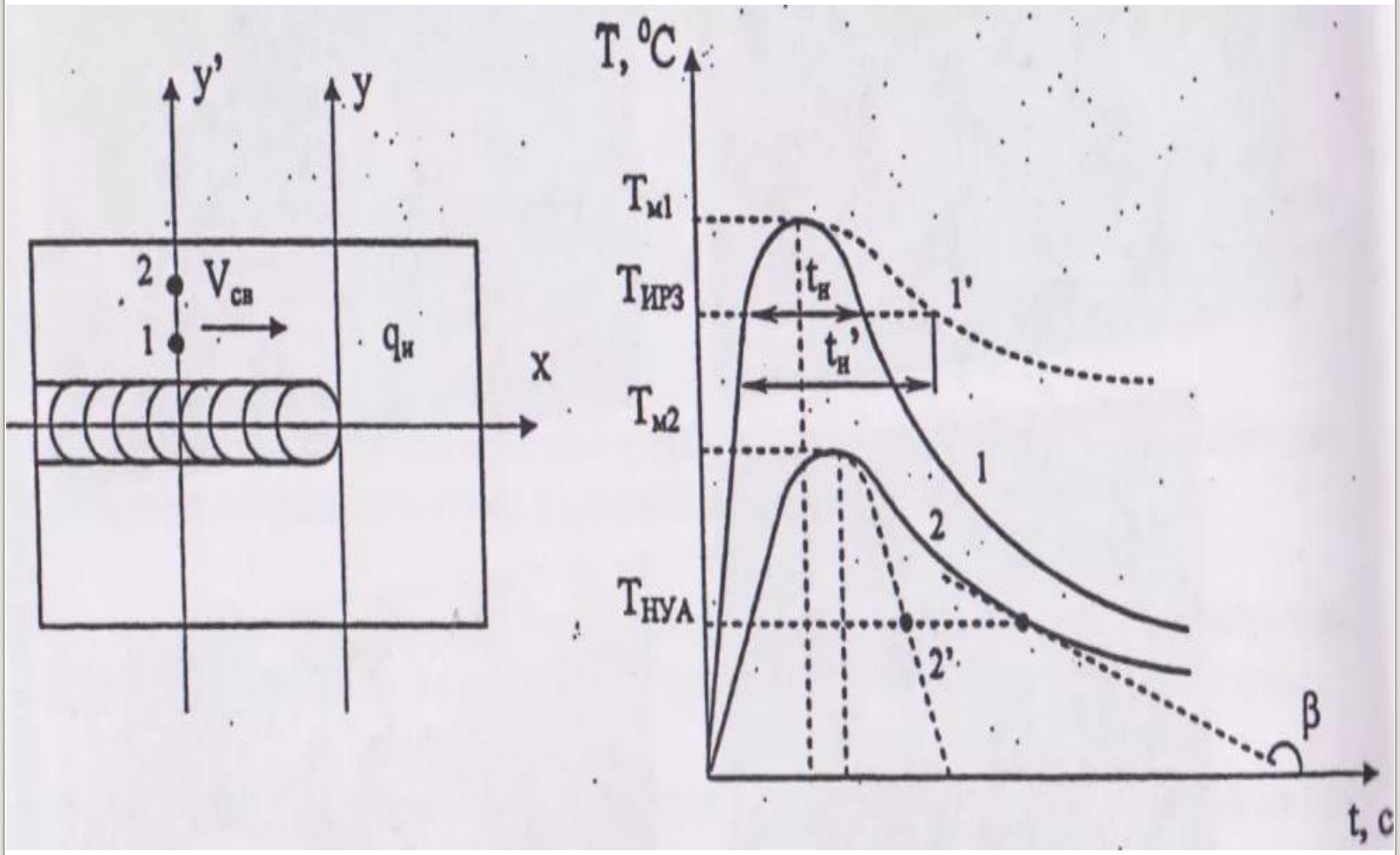
$$T = \frac{qe^{-\frac{vx}{2a}-\frac{v|x|}{2a}\sqrt{1+\frac{4ba}{v^2}}}}{c\gamma F v\sqrt{1+\frac{4ba}{v^2}}}$$

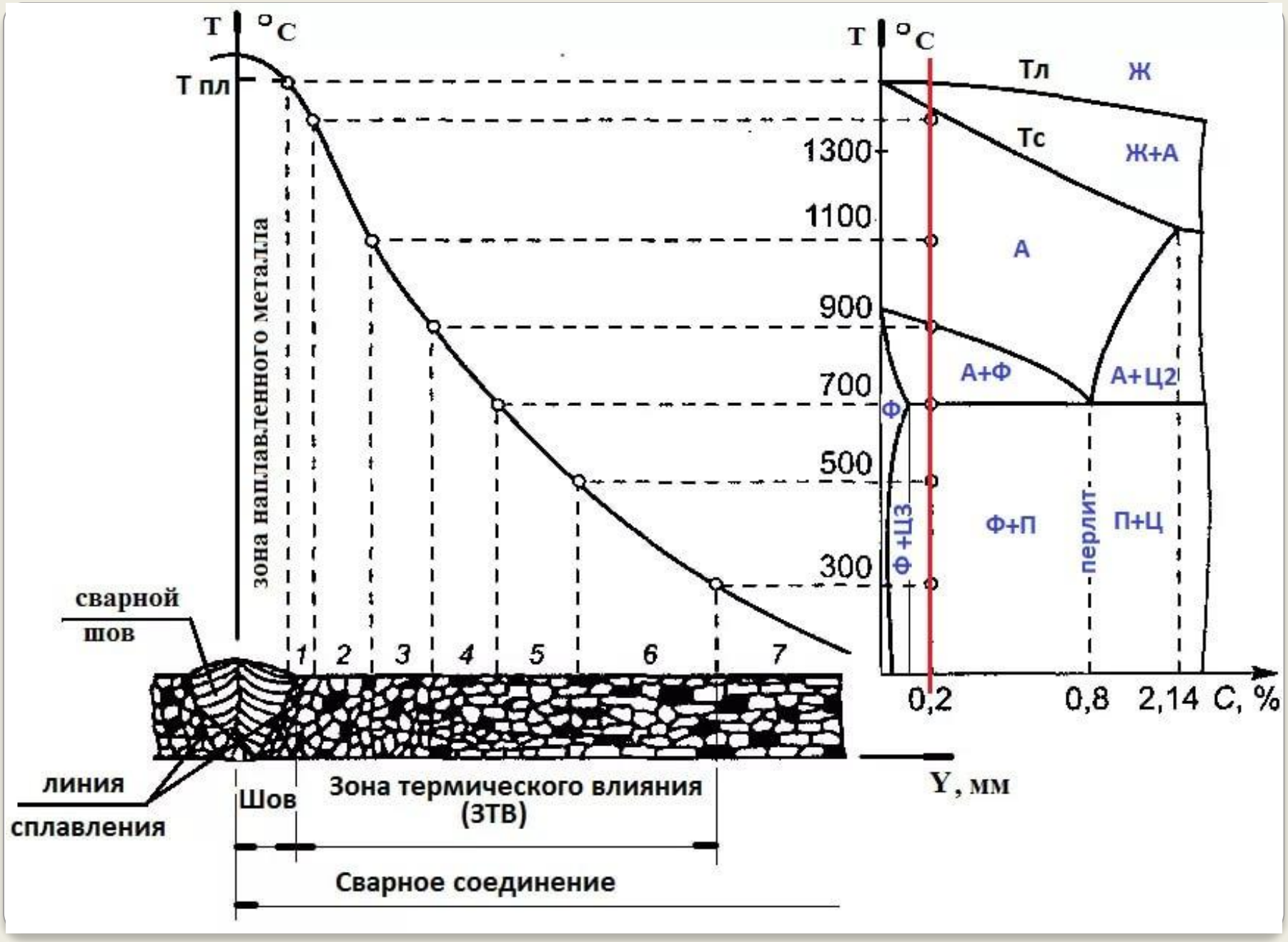
$$T = \frac{q_n}{2\pi\lambda t} e^{-\frac{y^2+z}{4at}}$$

$$T = \frac{q}{v\delta\sqrt{4\pi\lambda c\gamma t}} e^{\frac{y^2}{4at}-bt}$$

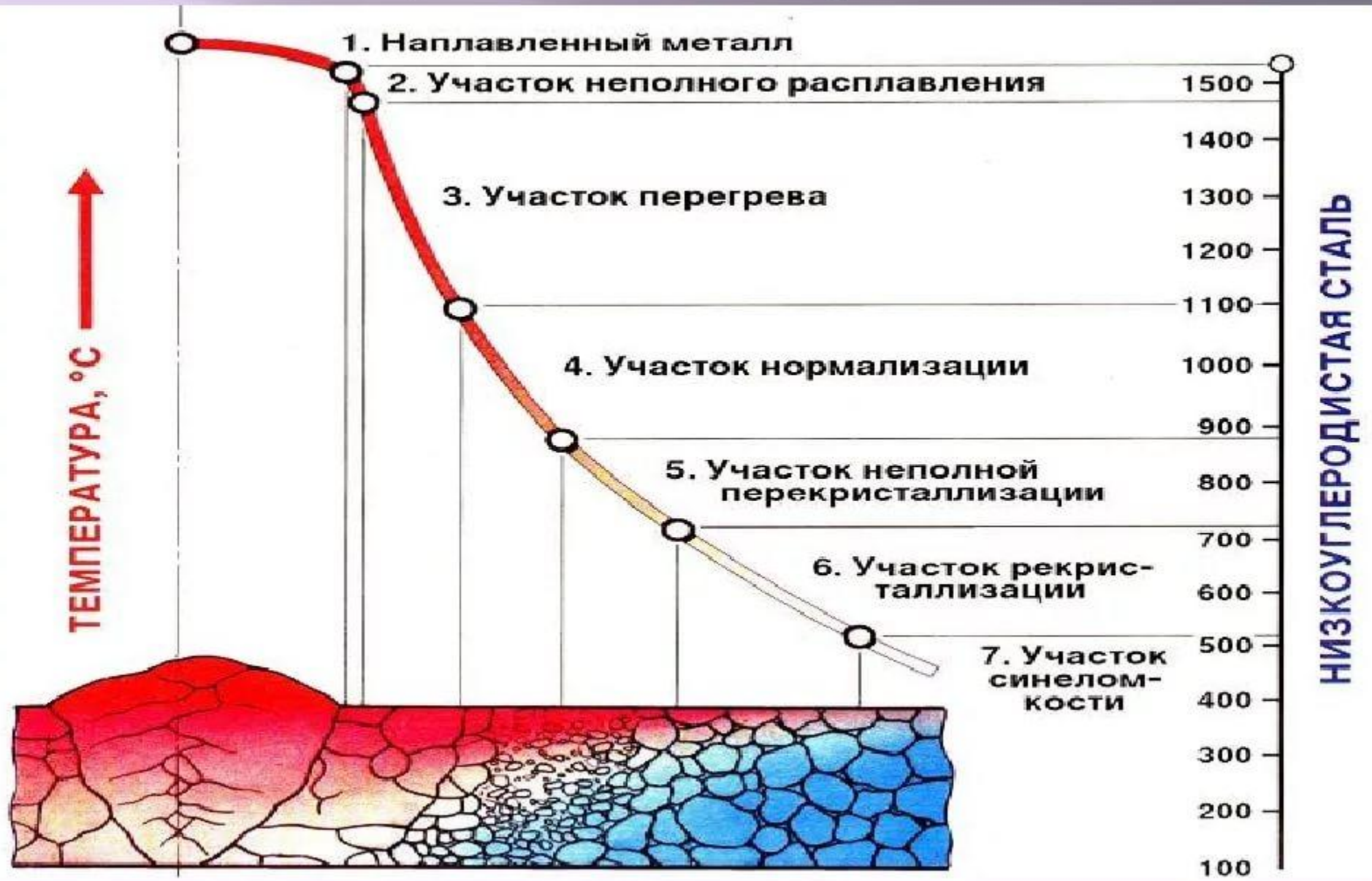


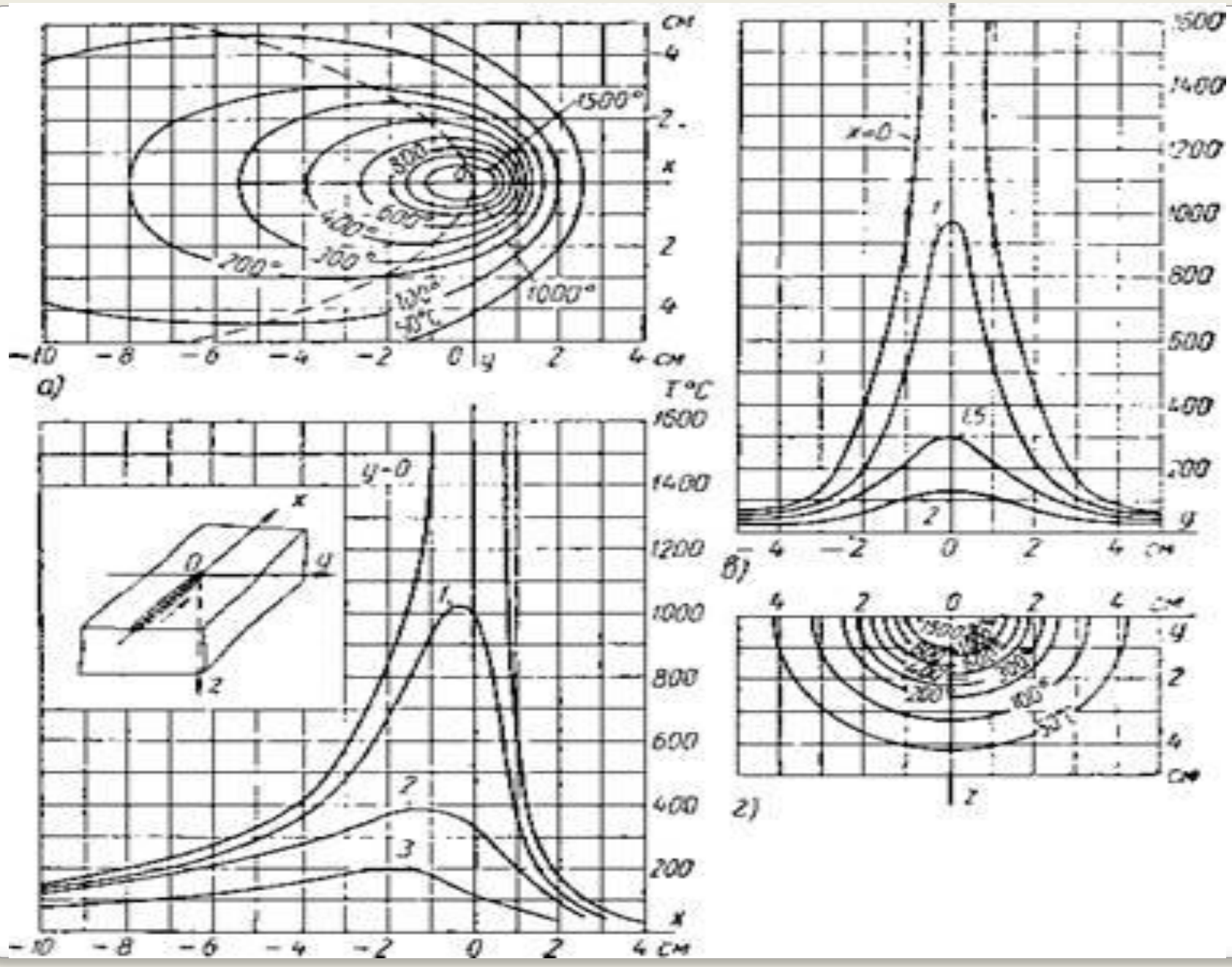
Термические циклы в ОШЗ




T °C
T пл
зона наплавленного металла
1300
1100
900
700
500
300
1
2
3
4
5
6
7
сварной
шов
линия
сплавления
Шов
Зона термического влияния
(ЗТВ)
Сварное соединение
T °C
Тл
Ж
Тс
Ж+А
А
А+Ф
А+Ц2
Ф
Ф +Ц3
Ф+П
перлит
П+Ц
0,2
0,8
2,14
C, %
Y, мм

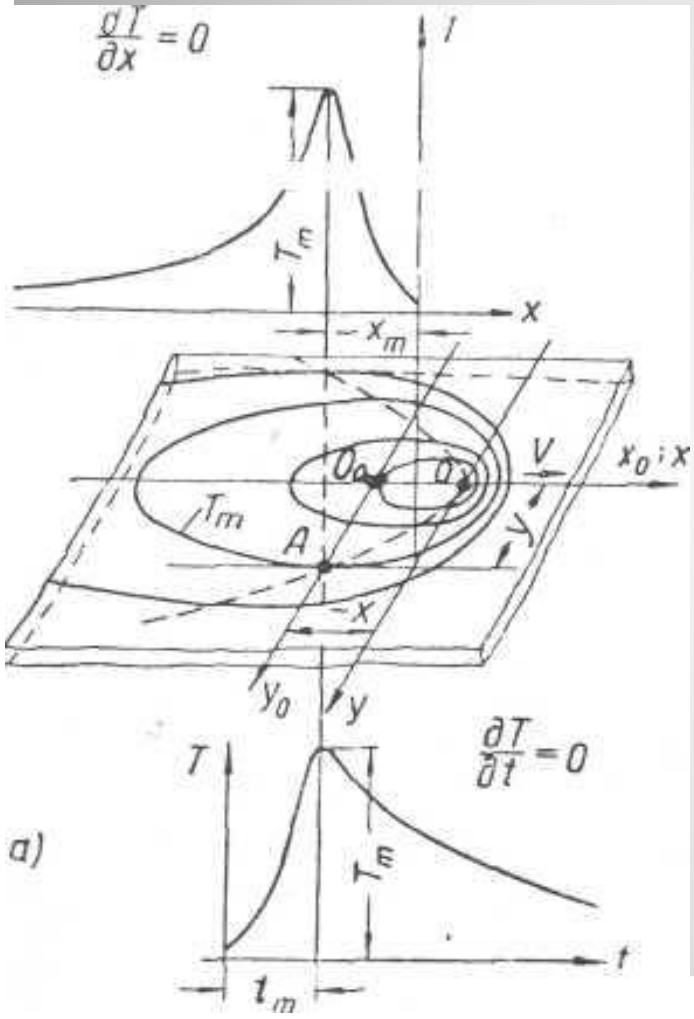
Термический цикл





а)
б)
в)
г)
T °C
y=0
x=0
1500°
1000°
800°
600°
400°
300°
200°
100°
50°C
1
2
3
1.5
x
y
z
0
см

Максимальные температуры в полубесконечном теле

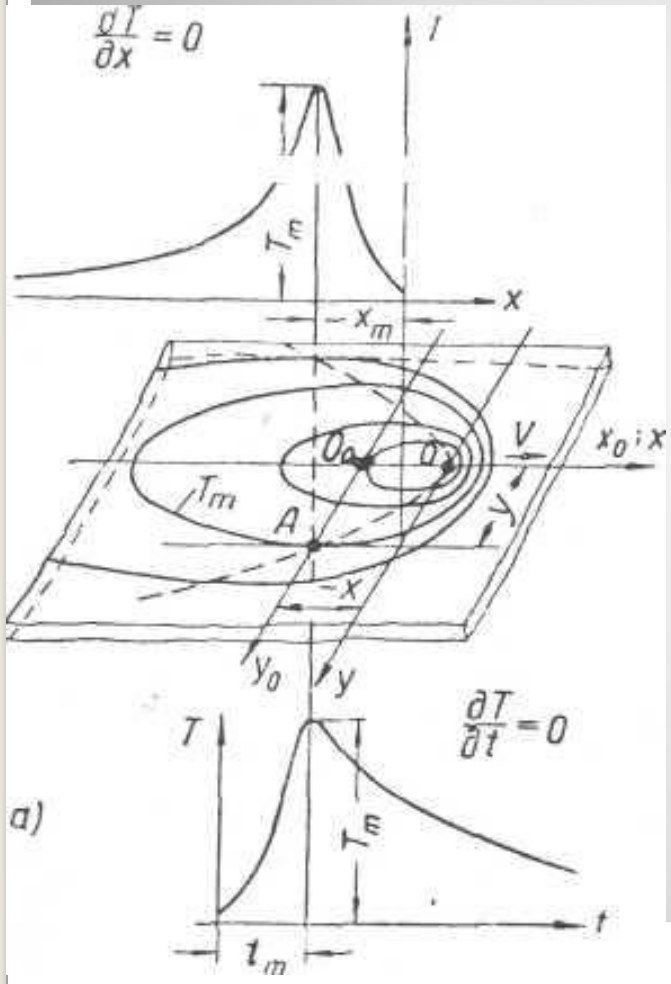


$$T = \frac{q}{2\pi\lambda v t} e^{-\frac{r^2}{4at}}$$

$$\ln T = \ln \frac{q}{2\pi\lambda v} - \ln t - \frac{r^2}{4at}$$

$$\frac{1}{T}\frac{\partial T(t)}{\partial t} = -\frac{1}{t} + \frac{r^2}{4at^2} = \frac{1}{t}\left(\frac{r^2}{4at} - 1\right)$$

Максимальные температуры в полубесконечном теле



$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{T}{t}\left(\frac{r^2}{4at} - 1\right) = 0$$

$$t_{\max} = \frac{r^2}{4a}$$

$$T_m = \frac{q4a}{2\pi\lambda v r^2} e^{-1} = \frac{2q}{\pi e c \gamma v r^2}$$

$$T_{\max} - T_0 = \frac{2q}{\pi e c \gamma v r^2}$$

Максимальные температуры в бесконечной пластине

$$T = \frac{q}{v\delta\sqrt{4\pi\lambda c\gamma t}} e^{-\frac{y^2}{4at} - bt}$$

$$\ln T(t) = \ln\left(\frac{q}{v\delta\sqrt{4\pi x c\gamma}}\right) - \frac{1}{2}\ln t - \frac{y_0^2}{4at} - bt$$

$$\frac{\partial T(t)}{\partial t} = T\left(-\frac{1}{2t_{\max}} + \frac{y_0^2}{4at_{\max}^2} - b\right) = 0$$

$$\frac{1}{T}\frac{\partial T(t)}{\partial t} = -\frac{1}{2t} + \frac{y_0^2}{4at^2} - b$$

Максимальные температуры в бесконечной пластине

$$\frac{y_0^2}{4at_{\max}} = \frac{1}{2} + bt_{\max} \qquad bt_{\max} << \frac{1}{2} \qquad \frac{y_0^2}{4at_{\max}^2} = -\frac{1}{2}$$

$$t_{\max} = \frac{y_0^2}{2a}$$

$$T_{\max} = \frac{q\sqrt{2a}}{\nu\delta y_0\sqrt{4\pi\lambda c\gamma}} e^{-\frac{1}{2}-\frac{by_0^2}{2a}}$$

$$T_{\max} = \frac{q\sqrt{\frac{2}{\pi e}}}{2\nu\delta y_0 c\gamma} e^{-\frac{by_0^2}{2a}} = \frac{0.484q}{2\nu\delta c\gamma y_0}\left(1-\frac{by_0^2}{2a}\right)$$

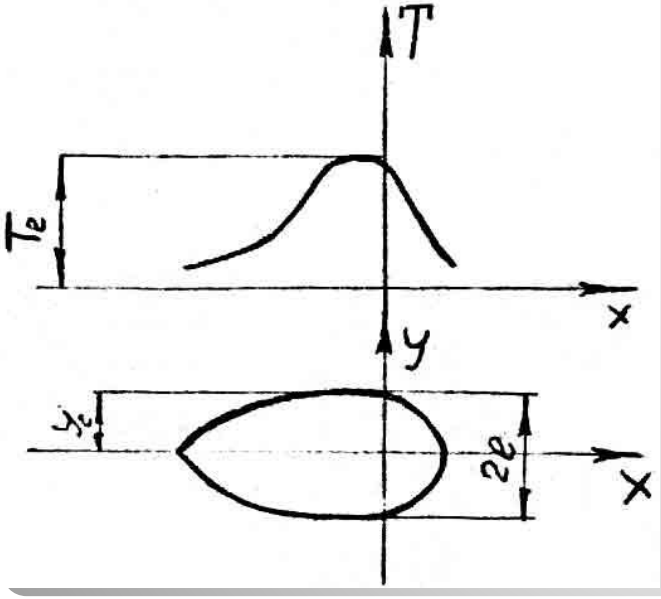
Ширина зоны нагрева

Полубесконечное тело.

$$T = \frac{q}{2\pi\lambda v t} e^{-\frac{y^2+z^2}{4at}}$$

$$y^2 = -4at$$

$$2l = \sqrt{\frac{8q}{\pi e v c \gamma T e}}$$



Бесконечная пластина.

$$T = \frac{q}{v\delta\sqrt{4\pi\lambda c\gamma t}} e^{-\frac{y^2}{4at}}$$

$$t_{\max} = \frac{y_0^2}{2a}$$

$$2l = \frac{q\sqrt{\frac{2}{\pi e}}}{v c \gamma \delta T_e}$$

Мгновенная скорость охлаждения при данной температуре

наплавку валика на массивное тело

$$T(r,t) - T_0 = \frac{q}{2\pi\lambda v t} e^{-\frac{r^2}{4at}}$$

$$T(0,t) - T_0 = \frac{q}{2\pi\lambda v t}$$

$$\frac{dT}{dt} = -\frac{q}{2\pi\lambda v t^2}$$

Мгновенная скорость охлаждения при данной температуре

наплавку валика на массивное тело

$$\frac{1}{t} = \frac{2\pi\lambda v(T - T_0)}{q}$$

$$\frac{dT}{dt} = -\frac{q}{2\pi\lambda v} \cdot \frac{(2\pi\lambda v)^2 (T - T_0)^2}{q^2} = -\frac{2\pi\lambda v (T - T_0)^2}{q}$$

$$w = 2\pi\lambda \frac{(T - T_0)^2}{q / v}$$

Мгновенная скорость охлаждения при данной температуре

сварку тонких листов встык

$$T(y,t) - T_0 = \frac{q}{v\delta\sqrt{4\pi\lambda c\gamma t}} e^{\frac{y^2}{4at} - bt}$$

$$T(0,t) - T_0 = \frac{q}{v\delta\sqrt{4\pi\lambda c\gamma t}}$$

$$\frac{dT}{dt} = -\frac{q}{2v\delta\sqrt{4\pi\lambda c\gamma t^3}}$$

Мгновенная скорость охлаждения при данной температуре

сварку тонких листов встык

$$\frac{1}{\sqrt{t}} = \frac{v\delta\sqrt{4\pi\lambda c\gamma}\,(T - T_0)}{q}$$

$$\frac{dT}{dt} = -\frac{q}{2v\delta\sqrt{4\pi\lambda c\gamma}} \cdot \frac{v^3\delta^3(4\pi\lambda c\gamma)^{3/2}(T - T_0)^3}{q^3} = -\frac{2v^2\delta^2\pi\lambda c\gamma(T - T_0)^3}{q^2}$$

$$w = 2\pi\lambda c\gamma\,\frac{(T - T_0)^3}{(q / v\delta)^2}$$

Длительность пребывания металла выше заданной температуры

наплавки металла на массивное тело

$$\frac{T-T_0}{T_m-T_0}=\frac{\frac{q}{2\pi\lambda vt}e^{-\frac{r^2}{4at}}}{\frac{2q}{\pi evc\gamma r^2}}=\frac{ec\gamma r^2}{4\lambda t}e^{-\frac{r^2}{4at}}=\frac{r^2}{4at}e^{1-\frac{r^2}{4at}}$$

$$\tau_{3H}=\frac{4at}{r^2}$$

$$\theta=\frac{T-T_0}{T_m-T_0}$$

$$\frac{T-T_0}{T_m-T_0}=\frac{1}{\tau_{3H}}e^{1-\frac{1}{\tau_{3H}}}$$

Длительность пребывания металла выше заданной температуры

линейный источник в пластине

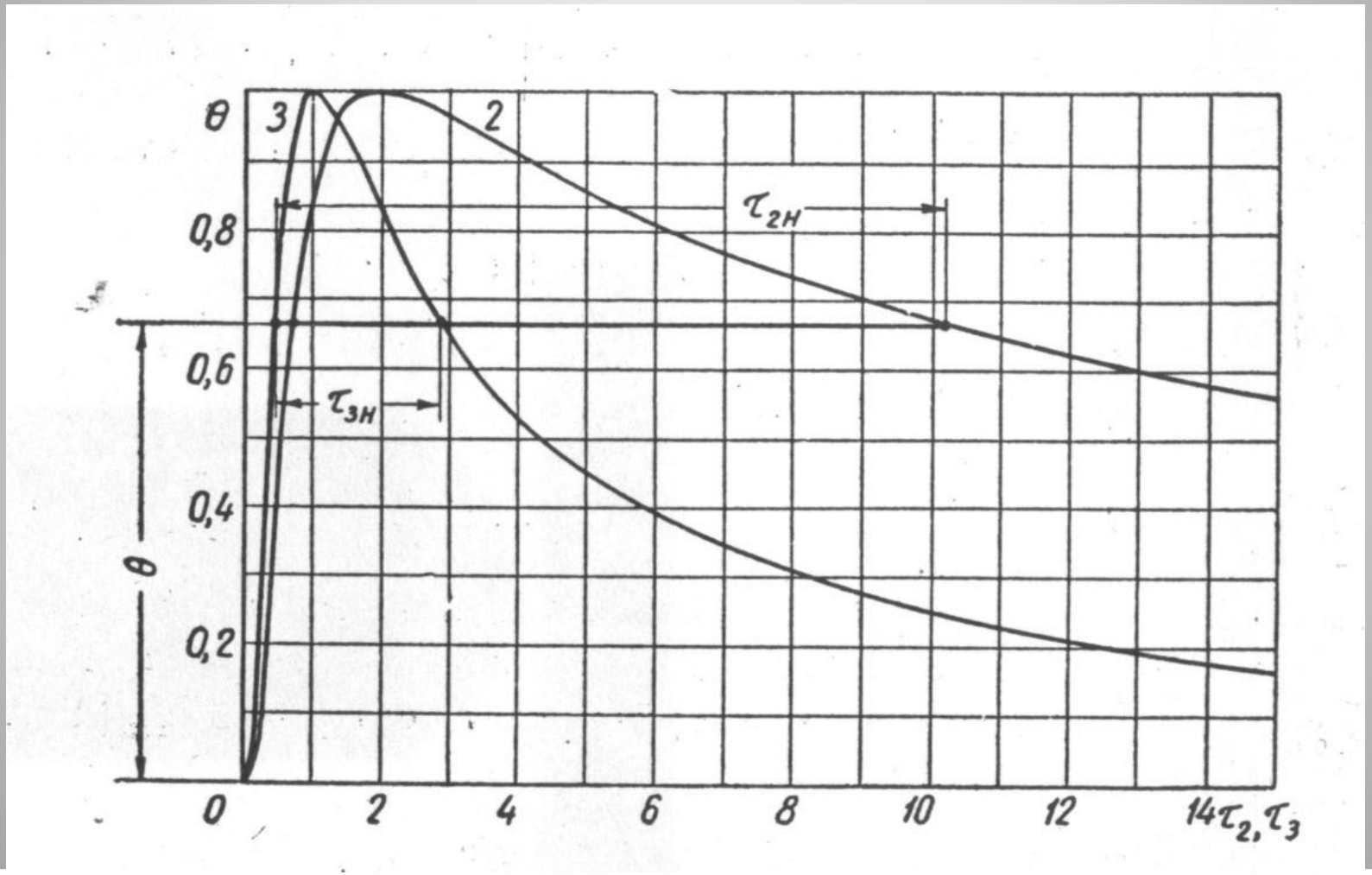
$$\frac{T-T_0}{T_m-T_0}=\frac{\frac{q}{v\delta\sqrt{4\pi\lambda c\gamma t}}e^{-\frac{y^2}{4at}}}{\frac{q}{v\delta\sqrt{2\pi e}}yc\gamma}=\sqrt{2e}\,\frac{yc\gamma}{\sqrt{4\lambda c\gamma t}}e^{-\frac{y^2}{4at}}$$

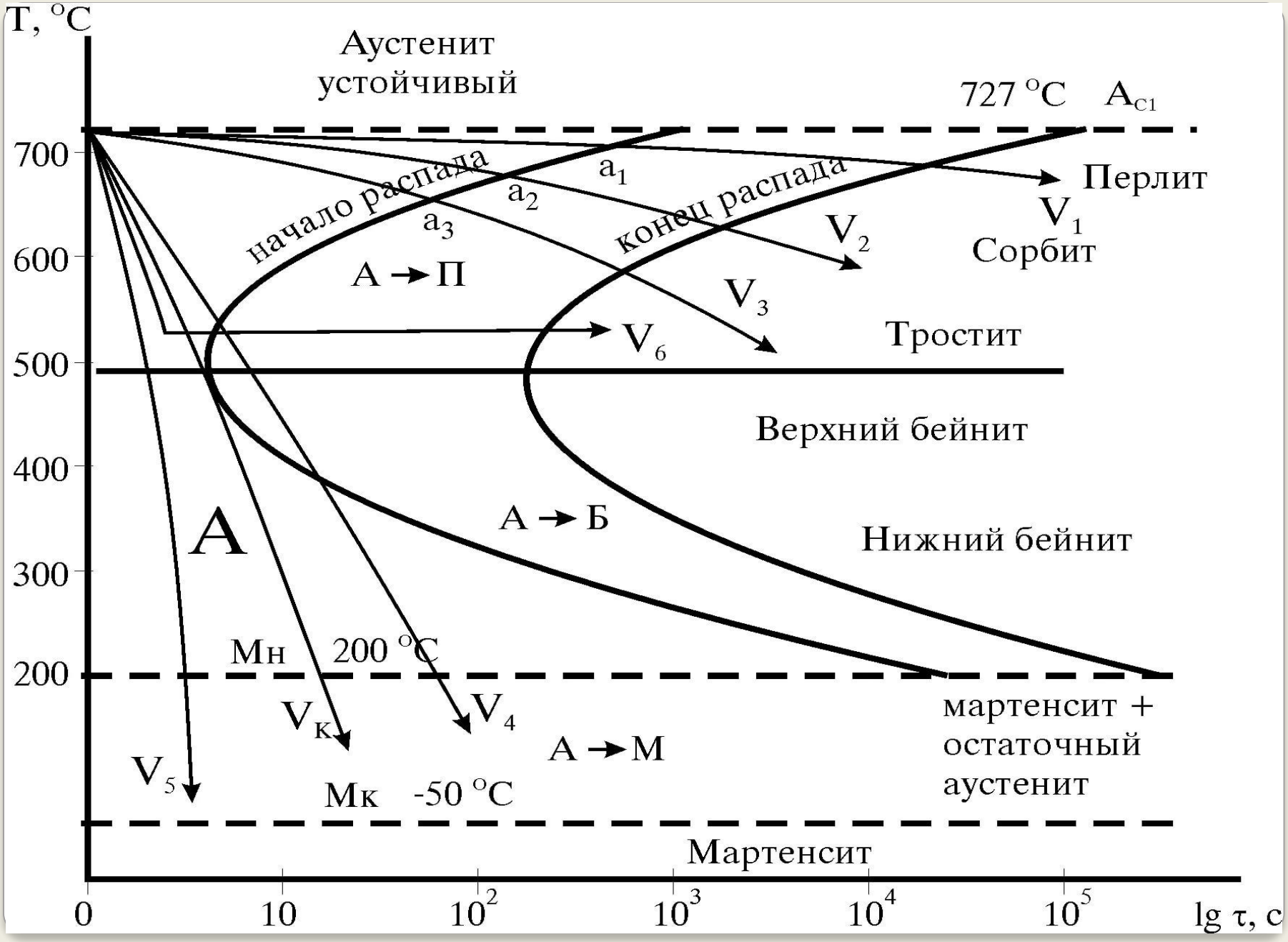
$$\frac{T-T_0}{T_m-T_0}=\sqrt{2e}\,\frac{y}{\sqrt{4at}}e^{-\frac{y^2}{4at}}=\sqrt{2e}\,\frac{1}{\sqrt{\tau_{2H}}}e^{-\frac{1}{\tau_{2H}}}$$

$$\tau_{2H}=\frac{4at}{y^2}$$

$$\theta=\frac{T-T_0}{T_m-T_0}$$

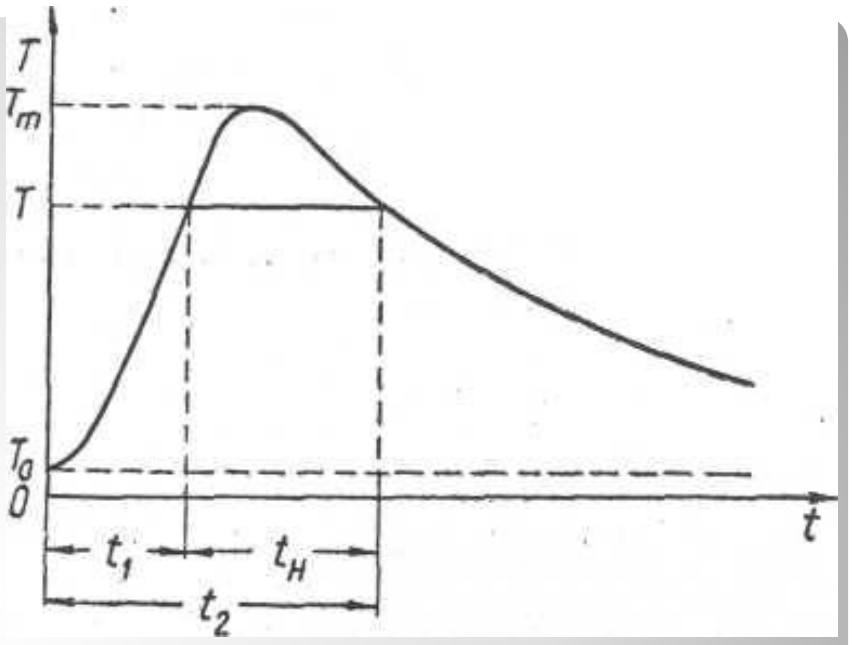
Длительность пребывания металла выше заданной температуры




T, °C
Аустенит
устойчивый
727 °C
A_{C1}
700
600
500
400
300
200
начало распада
конец распада
a_1
a_2
a_3
Перлит
V_1
Сорбит
V_2
V_3
А → П
V_6
Тростит
Верхний бейнит
А → Б
Нижний бейнит
А
Мн 200 °C
$V_к$
V_4
V_5
А → М
мартенсит +
остаточный
аустенит
Мк -50 °C
Мартенсит
0
10
10^2
10^3
10^4
10^5
lg τ, с

$$1/2\pi\lambda = 0{,}67 - 5\cdot 10^{-4} T_A$$

$$\delta_k = \sqrt{\frac{a}{2\lambda} q_n \frac{N_2^2}{N_3}\left(\frac{1}{500 - T_A} + \frac{1}{800 - T_A}\right)}$$



$$t_{8/5} = \frac{q_n}{2\pi\lambda} N_3\left(\frac{1}{500 - T_A} - \frac{1}{800 - T_A}\right)$$

$$a/4\pi\lambda^2 = 0{,}043 - 4{,}3\cdot 10^{-5} T_A$$

$$t_{8/5} = \frac{a}{4\pi\lambda^2\delta^2} q_n^2 N_2\left(\frac{1}{(500 - T_A)^2} - \frac{1}{(800 - T_A)^2}\right)$$

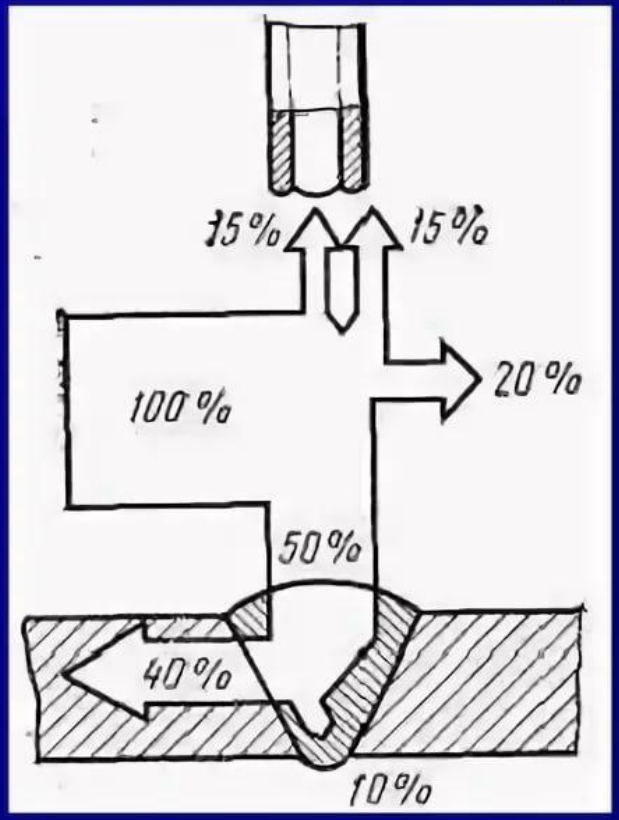
ТЕПЛОВАЯ МОЩНОСТЬ СВАРОЧНОЙ ДУГИ

Полная тепловая мощность сварочной дуги равна эквиваленту ее электрической мощности.

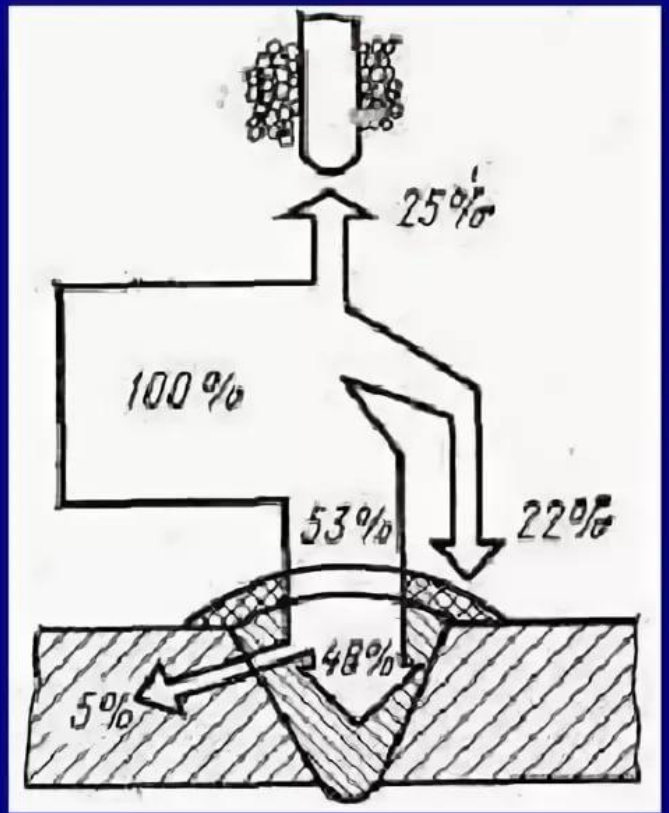
$$Q = U \cdot I_{CB}, \ \text{Дж/с}$$

Тепловой баланс: $Q=Q_1+Q_2+Q_3+Q_4$,
где
Q_1 – 55% - поглощение основного металла;
Q_2 – 25% - перенос с каплями расплавленного металла;
Q_3 – 15% - плавление флюса (обмазки);
Q_4 – 5% - потеря на разбрызгивание.

Тепловой баланс сварочной дуги



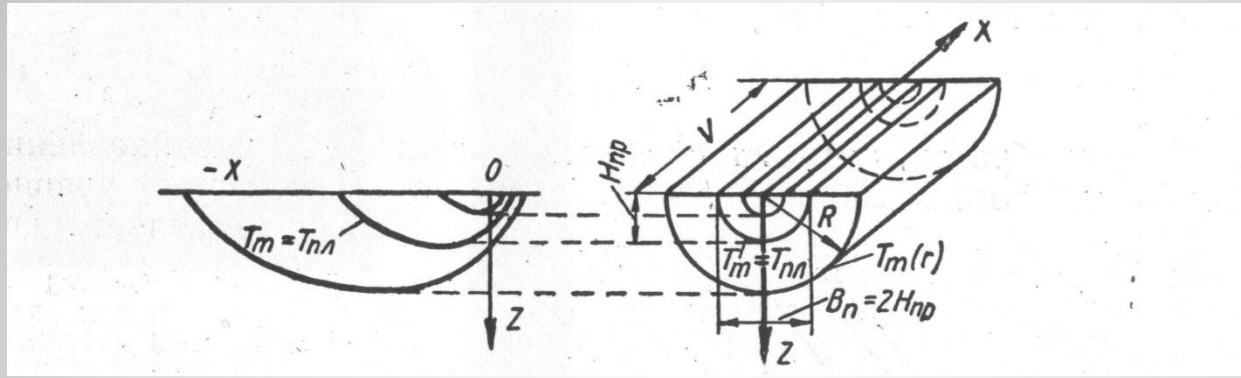
Сварка покрытым электродом



Автоматическая сварка под флюсом

Термический к.п.д.

Наплавка валика на массивное изделие мощной быстродвижущейся дугой



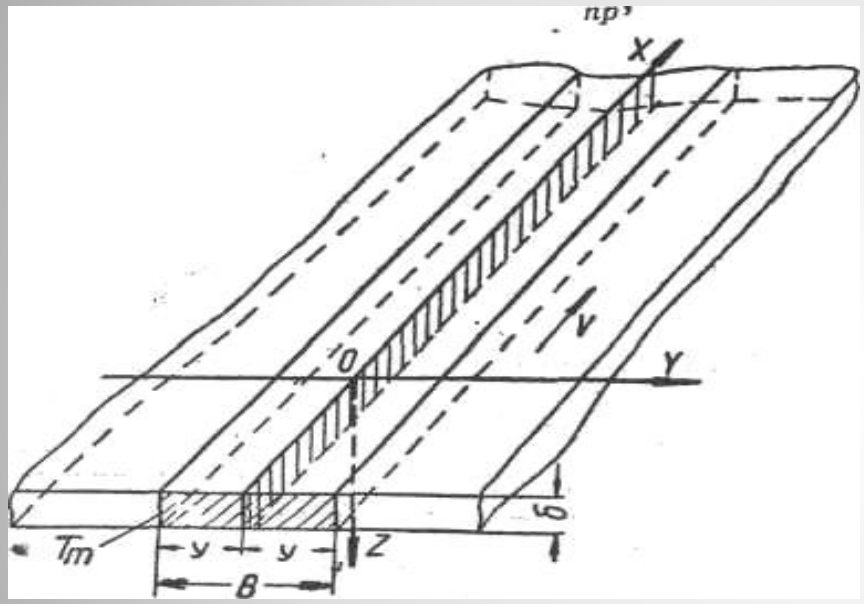
$$T_m(r) = \frac{1}{e} \cdot \frac{q}{vc\gamma \frac{\pi r^2}{2}}$$

$$v \frac{\pi}{2} H_{пр}^2 c\gamma T_{пл} = \frac{1}{e} q$$

$$\eta_t = \frac{v \frac{\pi}{2} H_{пр}^2 c\gamma T_{пл}}{q} = \frac{1}{e} = 0{,}368$$

Термический к.п.д.

Сварка листов встык мощной быстродвижущейся дугой



$$T_m(y) = \sqrt{\frac{2}{\pi e}} \cdot \frac{q}{v c \gamma \delta \cdot 2y}$$

$$v\delta B c \gamma T_{пл} = \sqrt{\frac{2}{\pi e}} q$$

$$\eta_t = \frac{v\delta B c \gamma T_{пл}}{q} = \sqrt{\frac{2}{\pi e}} = 0{,}484$$