



ТЕОРІЯ ПРОЦЕСІВ ЗВАРЮВАННЯ

(Теория сварочных процессов: Учеб. для вузов по спец. «Оборуд. и технология сварочн. пр-ва» // В.Н. Волченко, В.М. Ямпольский, В.А. Винокуров и др.; Под ред. В.В. Фролова. – М.: Высш. Шк., 1988. – 559 с.)

Автор: д. т. н. Лузан С.О.

Лекция 9. **Нагрев и плавление металла при сварке**

План лекции

1. Размер зоны нагрева
2. Термический цикл при однопроводной сварке.
Максимальные температуры.
3. Мгновенная скорость охлаждения при
данной температуре
4. Длительность пребывания металла выше
данной температуры

Размер зоны нагрева

Для оценки термического влияния на свариваемый металл бывает необходимо определить ширину $2l$ зоны, приращение температуры которой выше заданного ΔT ,

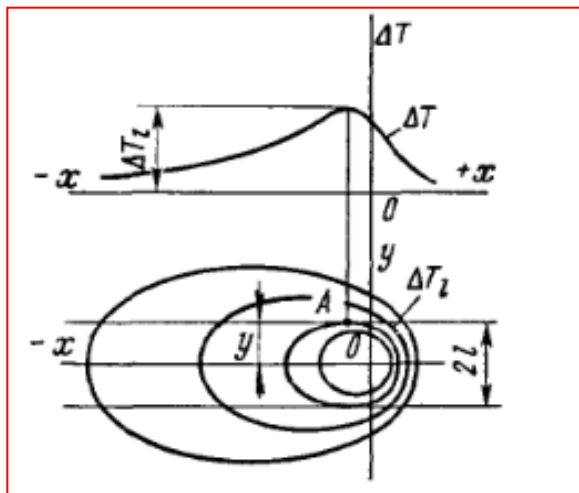


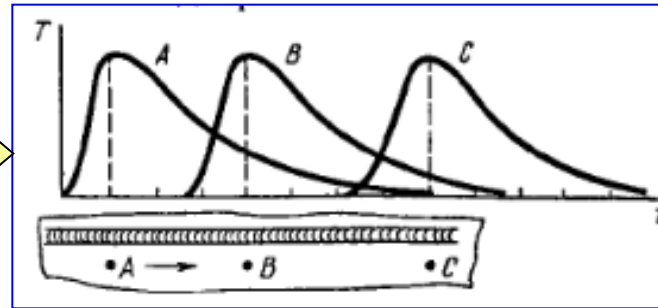
Схема определения ширины $2l$ зоны, приращение температуры в которой превосходило ΔT_l

В общем случае ширина зоны нагрева выше ΔT_l , равная $2l$, будет найдена, если определить координату y точки A . Точка A , во-первых, находится на изотерме и, следовательно, $\Delta T = \Delta T_l$, во-вторых, в точке A достигается максимальное приращение температуры на расстоянии $y=l$, т.е. $\partial T / \partial x = 0$.



Термический цикл при однопроходной сварке. Максимальные температуры.

В процессе однопроходной сварки источник теплоты перемещается в теле и вместе с ним перемещается температурное поле. Температуры точек тела непрерывно изменяются



Вначале температура повышается, достигает максимального значения, а затем снижается.

Изменение температуры
в точках тела A , B , C
со временем

В более удаленных точках температура повышается медленнее и позже достигает максимального значения. Восходящая ветвь температурной кривой называется стадией нагрева, нисходящая – стадией остывания.



Термический цикл при однопроводной сварке. Максимальные температуры.

Максимальные температуры, достигаемые отдельными точками, определяются достаточно просто, если известно температурное поле. В точке максимальной температуры первая производная по времени или по расстоянию равна нулю:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = 0; \quad \frac{\partial T}{\partial x} = 0$$

Производная по времени или по расстоянию берется в зависимости от того, какую координату содержит выражение для температурного поля. Время t и координата x , как известно, связаны между собой скоростью сварки.

Время t и координата x , как известно, связаны между собой скоростью сварки.



Термический цикл при однопроводной сварке. Максимальные температуры.

Аналитическое определение максимальной температуры в массивном теле и в пластине, если за исходные брать формулы (2) и (5), приведенные в лекции 7,:

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

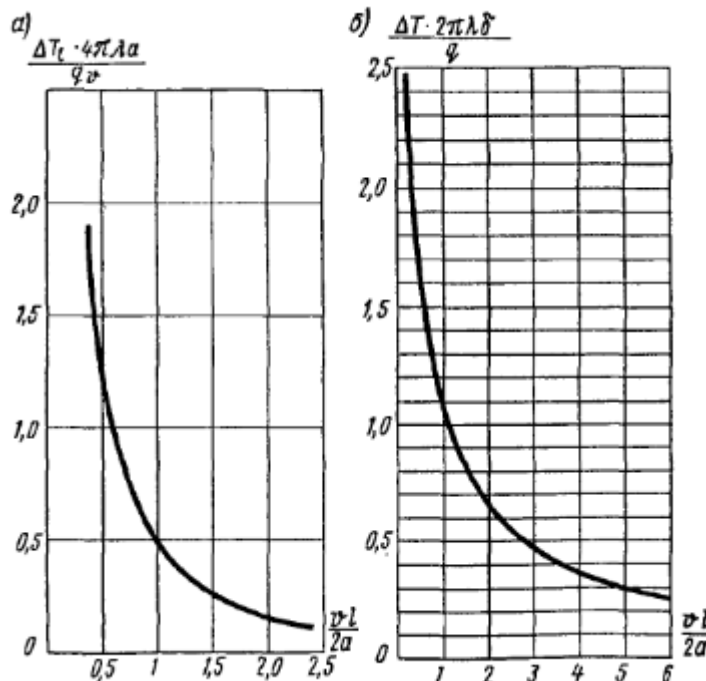
$$\Delta T_{np} = \frac{q}{4\pi\lambda\delta} e^{-vx/2a} K_0\left(\frac{vr}{2a} \sqrt{1 + \frac{4ba}{v^2}}\right)$$

сопряжено с трудностями. Максимальную температуру аналитически выразить не удастся.



Термический цикл при однопроходной сварке. Максимальные температуры.

Другой путь
определения
максимальной
температуры
состоит в
использовании
номограмм



Номограммы
для опреде-
ления ширины
зоны нагрева $2l$
движущимся
источником
теплоты

Вычисляют значение $vl/2a$, где $l=y_0$, находят величину параметра на вертикальной оси, а затем определяют максимальную температуру $T_{max}=\Delta T_c+T_n$. Необходимо иметь в виду, что кривая на рис. 3, б вычислена по формуле (5, лк. 7) без учета теплоотдачи, т.е. при $b=0$.



Термический цикл при однопроводной сварке. Максимальные температуры.

Кроме этого, возможно определение максимальной температуры в предположении, что источник нагрева быстро движущийся

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

Для точечного источника теплоты на поверхности массивного тела путем использования формул

$$\frac{\partial T}{\partial t} = 0; \quad \frac{\partial T}{\partial x} = 0$$

где $b=2\alpha/c\rho\delta$

получаем:

$$T_{\max} - T_n = \frac{2q}{\pi e\nu c\rho r_0^2}$$

где $r_0^2 = y_0^2 + z_0^2$



Термический цикл при однопроводной сварке. Максимальные температуры.

Для линейного источника теплоты в пластине из формул

$$T_0 = \frac{q}{v\delta\sqrt{4\pi\lambda c\rho t}} e^{-y^2/4at-bt} + T_n$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} = 0; \quad \frac{\partial T}{\partial x} = 0$$

находим:

$$T_{\max} - T_n = \frac{q}{\sqrt{2\pi v c \rho} \delta y_0} \left(1 - \frac{by_0}{2a}\right)$$

где y_0 – расстояние от данной точки до оси шва.

При сварке в условиях нормальной температуры, хотя подогрев как таковой отсутствует, $T_n \approx 290-300$ К.



Мгновенная скорость охлаждения при данной температуре

Мгновенная скорость охлаждения w является первой производной температуры по времени

$$w = \partial T / \partial t \quad (1)$$

Скорости охлаждения обычно определяют только для оси шва ввиду их незначительного отличия от скоростей охлаждения околошовных зон

$$T - T_n = q / 2\pi\lambda vt \quad (2)$$

Температуры точек оси шва при наплавке валика на массивное тело

$$T - T_n = q / v\delta\sqrt{4\pi\lambda c\rho t} \quad (3)$$

Температуры точек оси шва при наплавке однопроходной сварке пластин встык



Мгновенная скорость охлаждения при данной температуре

Если по формуле (1) вычислить производные от выражений (2) и (3) (сл.10), т.е.

$$dT / dt = -q / 2\pi\lambda vt^2 \quad (4)$$

$$dT / dt = q / 2v\delta\sqrt{4\pi\lambda c\rho t^3} \quad (5)$$

и в уравнения (4) и (5) подставить значения t из уравнений (2) и (3), то получим скорости охлаждения:

$$w = -2\pi\lambda \frac{(T - T_n)^2}{q/v} \quad (6)$$

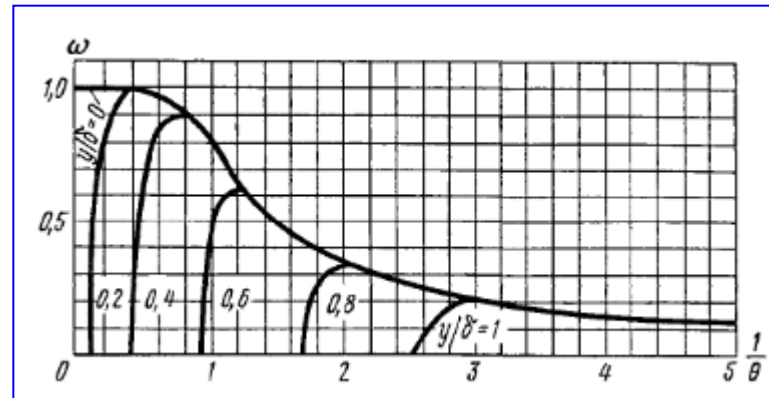
$$w = -2\pi\lambda c\rho \frac{(T - T_n)^3}{(q/v\delta)^2} \quad (7)$$

Знак минус в уравнениях (6) и (7) показывает, что происходит остывание металла. Скорость охлаждения зависит от формы изделия (массивное тело, пластина), эффективной погонной энергии q/v и температуры подогрева T_n . Температура подогрева T_n практически позволяет в большей степени регулировать скорость охлаждения, чем эффективная погонная энергия.



Мгновенная скорость охлаждения при данной температуре

При сварке по плоскому слою скорость охлаждения также целесообразно определять для точек на оси шва, т.е. для $y=0$, $z=0$.



Скорость охлаждения определяют при помощи номограммы

Расчетный график для определения мгновенной скорости охлаждения при наплавке валика на лист



Мгновенная скорость охлаждения при данной температуре

Вначале необходимо определить критерий

$$\frac{1}{\theta} = \frac{2q/v}{\pi\delta^2 c\rho(T - T_n)}$$

Т.е. значение аргумента на номограмме, а затем по кривой найти численное значение функции – безразмерного критерия ω .

Скорость охлаждения точек плоского слоя определяется по формуле:

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

При значениях критерия $1/\theta > 2,5$ скорости охлаждения точек плоского слоя, расположенных по оси движения источника теплоты, почти совпадают со скоростью охлаждения точек пластины, а при $1/\theta < 0,4$ – со скоростью охлаждения точек полубесконечного тела.



Длительность пребывания металла выше данной температуры

Длительность пребывания металла выше некоторой температуры T выражается на рис. отрезком t_H .

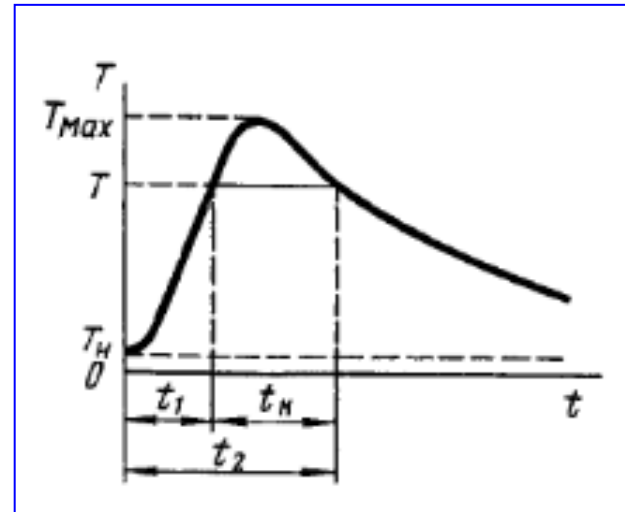


Схема термического цикла при однопроходной сварке

Зависимость t_H от параметров режима сварки для наплавки на массивное тело

$$t_{3H} = \tau_{3H} r^2 / 4a \quad \text{где} \quad \tau_{3H} = 4at_{3H} / r^2$$

Зависимость t_H от параметров режима сварки для однопроходной сварки встык

$$t_{2H} = \tau_{2H} y^2 / 4a \quad \text{где} \quad \tau_{2H} = 4at_{2H} / y^2$$



Задание для самостоятельного изучения:

Термический цикл и максимальные температуры

Теория сварочных процессов: Учеб. для вузов по спец. «Оборуд. и технология сварочн. пр-ва» // В.Н. Волченко, В.М. Ямпольский, В.А. Винокуров и др.; Под ред. В.В. Фролова. – М.: Высш. Шк., 1988. – (С. 133-136 с.)



Кафедра технології металлов и матеріалознавства

Лузан Сергей Алексеевич

E-mail: khadi.luzan@gmail.com

г. Харьков, ул. Петровского, 25, ХНАДУ, КАФЕДРА ТМ и М

Тел. 097-174-19-15