



# 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 10. Термический цикл при многослойной сварке**

**(тема «Нагрев и плавление металла при сварке»)**

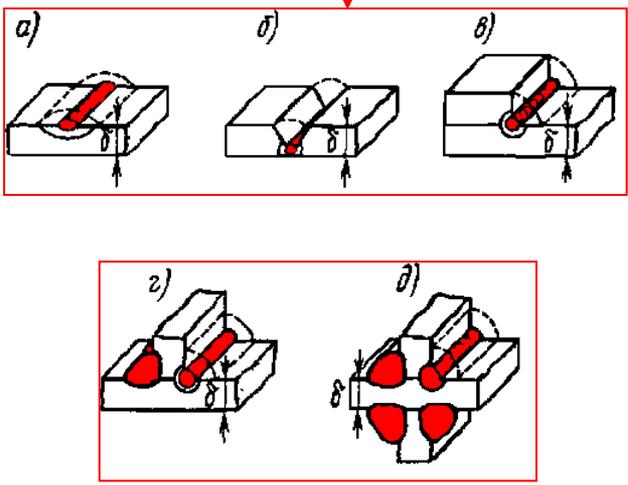
## **План лекции**

- 1. Виды соединений**
- 2. Поправочный коэффициент к погонной энергии**
- 3. Сварка короткими участками**
- 4. Расчетная мощность источника теплоты**
- 5. Расчет длительности пребывания околошовной зоны выше температуры начала мартенситного превращения**

# Виды соединений

Тепловое воздействие на металл при многослойной сварке зависит от того, как осуществляют сварку – длинными или короткими участками.

Виды соединений



Под сваркой длинными участками обычно понимают укладку валика на всю длину завариваемого соединения. При сварке склоных к подкалке сталей скорость охлаждения – один из важных параметров

Наибольшая скорость охлаждения обычно бывает у первого слоя, так как последующие слои, как правило, остывают медленнее вследствие подогрева.

# Поправочный коэффициент к погонной энергии

Для определения скорости охлаждения первого слоя в стыковых (рис. б), нахлесточных (рис. в), тавровых (рис. г) и крестообразных (рис. д) соединениях используют расчетную схему наплавки валика на плоский слой (рис. а) с поправочными коэффициентами

Поправочные коэффициенты для определения расчетной погонной энергии  $(q/v)_{расч}$  и толщины плоского слоя  $\delta_{расч}$

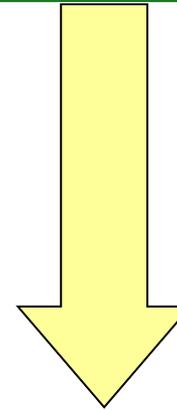
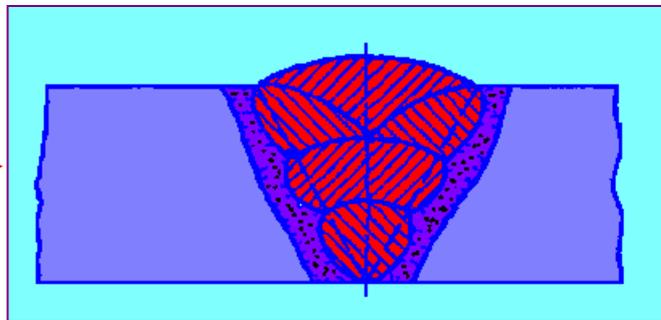


Рисунок	а	б	в	г	д
$\delta_{расч}$	$\delta$	$3\delta/2$	$\delta$	$\delta$	$\delta$
$(q/v)_{расч}$	$q/v$	$3q/(2v)$	$2q(3v)$	$2q(3v)$	$q(2v)$

Поправочный коэффициент к погонной энергии вводится для учета условий распространения теплоты в области, непосредственно прилегающей к месту введения теплоты, а поправочный коэффициент для толщины в стыковом сварном соединении (рис. б) – для учета условий распространения теплоты вдали от источника теплоты. Методика расчета приведена в лк. 9 (1 часть).

## Сварка короткими участками

К многослойной сварке короткими участками прибегают в тех случаях, когда стремятся продлить пребывание металла выше определенной температуры и не допустить быстрого охлаждения его ниже этой температуры.



Тепловые воздействия навариваемых коротких слоев складываются и замедляют скорость охлаждения отдельного слоя.

Режим многослойной сварки включает, помимо прочих, три независимых параметра – погонную энергию  $q/v$ , которая зависит от сечения слоя, длину участка  $l$ , температуру подогрева  $T_n$  поэтому он более гибок, чем режим однопроходной сварки.

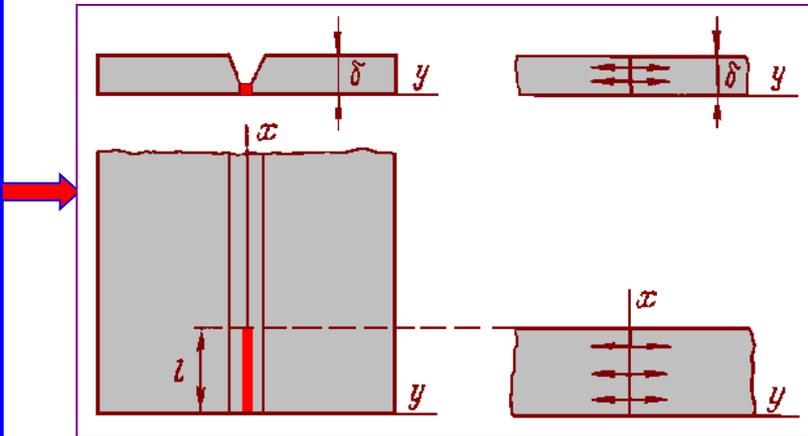
## Сварка короткими участками

Условия сварки короткими участками выбирают такими, чтобы температура охлаждения первого слоя к моменту подогрева вторым слоем не падала ниже определенной температуры  $T_e$  и чтобы длительность пребывания околошовной зоны  $t_e$  выше температуры  $T_e$  соответствовала условиям завершения распада аустенита. В качестве температуры  $T_e$  принимают температуру начала мартенситного превращения (500...650 K) или температуру наиболее вероятного образования холодных трещин (350...500 K).

Температура  $T_e$ , до которой охлаждается первый слой, зависит от длины завариваемого участка  $l$ , погонной энергии сварки  $q/v$  и температуры подогрева  $T_H$ .

# Сварка короткими участками

В качестве расчетной схемы примем схему мгновенного выделения теплоты на завариваемом участке  $l$  в начальный момент сварки; при этом также примем, что теплота выделяется равномерно по толщине металла  $\delta$ , распространяется только в направлении  $y$  и теплоотдача отсутствует.



Температура  $T$  точек, расположенных на оси  $x$  изменяется во времени:

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

Когда околошовная зона охладится до 500...600 К, то температура по сечению успевает выравняться, и поэтому несущественно, какое распределение теплоты принято в начальный момент времени.

# Сварка короткими участками

Поставим условие, что за период времени сварки одного слоя  $t_c$  на участке  $l$  температура  $T$  понизится до  $T_B$ . Тогда:

$$t_{c1} = \frac{q^2}{4\pi\lambda c\delta^2 v^2 (T_B - T_H)^2}$$

(1)

Время сварки  $t_{c1} = t_r + t_n$  складывается из времени чистого горения дуги  $t_r = l/v$  и перерывов  $t_n$ , где  $v$  – скорость сварки. Вводя коэффициент чистого горения дуги  $k_r = t_r/t_{c1}$ , находим:

$$t_{c1} = l/(v k_r)$$

(2)

# Сварка короткими участками

Подставляя в уравнение (1) уравнение (2), численные значения  $\lambda$  и  $c_p$  и вводя поправочный коэффициент  $k_3$ , находим (3)

$$l = 0,04 \frac{k_3^2 k_r q^2}{\delta^2 \nu (T_B - T_H)^2} \quad (3)$$

Длина участка, найденная по формуле (3), обеспечивает пребывание первого слоя при температуре выше  $T_e$  к моменту начала сварки второго слоя шва.

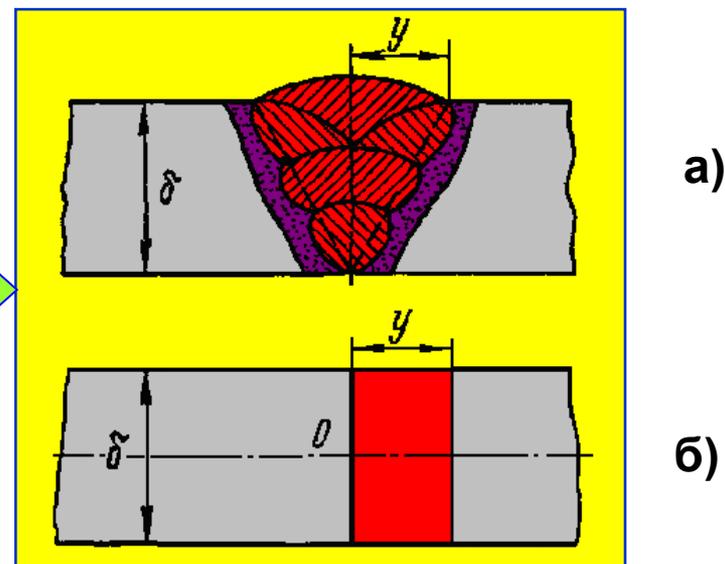
Для ручной многослойной сварки коэффициент  $k_r=0,6...0,8$ , для автоматической многодуговой сварки  $k_r=1$ ; поправочный коэффициент  $k_3$ , найденный опытным путем, равен 1,5 для соединения встык; 0,9 — для соединений втавр и внахлестку; 0,8 — для крестового соединения.

# Сварка короткими участками

Длительность пребывания зоны термического влияния выше определенной температуры  $T_b$  определяется примерно из тех же расчетных предпосылок, что и в предыдущем случае, однако с учетом теплоотдачи в воздух.

Предполагается, что в течение всего процесса заполнения разделки валиками (рис. а) действует плоский неподвижный источник теплоты в сечении с координатой  $y=0$  (рис. б). Теплота распространяется вдоль оси  $Oy$ .

Расчетная схема определения продолжительности нагрева околошовной зоны многослойного стыкового шва



# Расчетная мощность источника теплоты

Расчетная мощность  
источника теплоты

$$q_p = k_r k_q q,$$

где  $q$  – эффективная мощность дуги;  
 $k_r$  – коэффициент горения дуги;  
 $k_q$  – коэффициент приведения  
мощности дуги, учитывающий тип  
соединения, для стыкового  
соединения  $k_q=1$ , для таврового  
соединения и нахлестки 0,67,  
для крестового соединения 0,6.

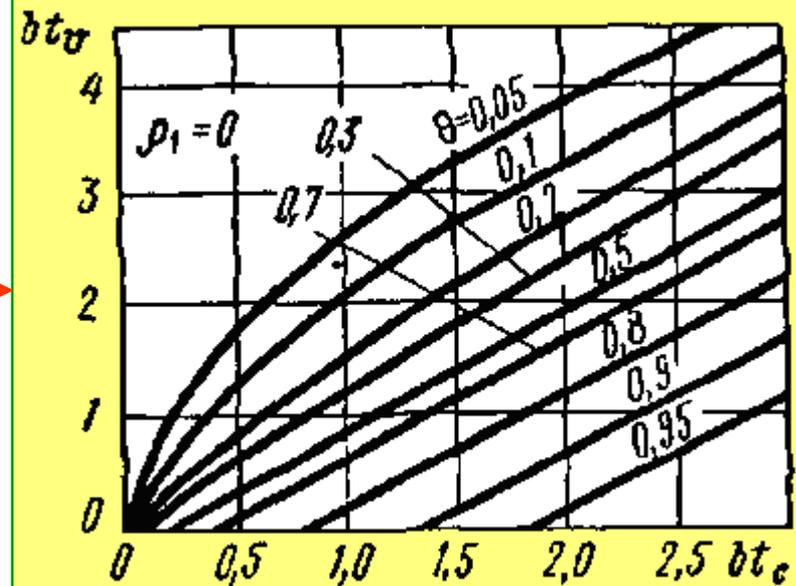
Расчетная площадь  
поперечного сечения  
стержня

$$F = \delta l$$

где  $l$  – длина завариваемого участка  
 $\delta$  – толщина завариваемого участка

# Расчет длительности пребывания околошовной зоны

Длительность пребывания околошовной зоны первого слоя при температуре выше  $T_b$  находят по номограммам, приведенным на рис. – в зависимости от длительности сварки всех слоев  $t_c$ , безразмерного параметра  $\theta$ , коэффициента температуротдачи  $b$  и безразмерного расстояния  $\rho_1$  до рассматриваемой точки околошовной зоны



Значения этих величин определяют по следующим формулам:

$$\rho_1 = |y| \sqrt{\frac{b}{a}}; \quad b = \frac{2\alpha}{c\rho\delta_{np}}; \quad \delta_{np} = \frac{F}{p/2},$$

$$t_c = \frac{\ln}{\nu k_c};$$

$$\theta = \frac{2\lambda\delta l}{q_p} (T_a - T_w) \sqrt{b/a}$$

где  $F = \delta l$  – расчетная площадь поперечного сечения;  $\rho/2$  – половина периметра;  $n$  – число слоев по сечению разделки;  $|y|$  – расчетное расстояние от околошовной зоны до плоского источника теплоты, для стыковых швов равно половине ширины разделки в верхней части, а для угловых – половине катета шва.

## Расчет длительности пребывания околошовной зоны выше температуры начала мартенситного превращения

Продолжительность  $(t_B)_п$ , пребывания околошовной зоны последнего слоя выше температуры  $T_B$ , можно приближенно определить из соотношения

$$(t_B)_п \approx t_B - [t_c - l/(vk_r)]$$

# 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](mailto:khadi.luzan@gmail.com)**

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

**Тел. 097-174-19-15**