

# 1 Расчет сварных соединений

## 1.1 Стыковые швы

Напряжения в прямом сварном шве встык (рисунок 1.1), работающем на растяжение или сжатие, определяются по формуле /4/

$$\frac{N}{t \cdot l_w} \leq R_{wy} \cdot \gamma_c, \quad (1.1)$$

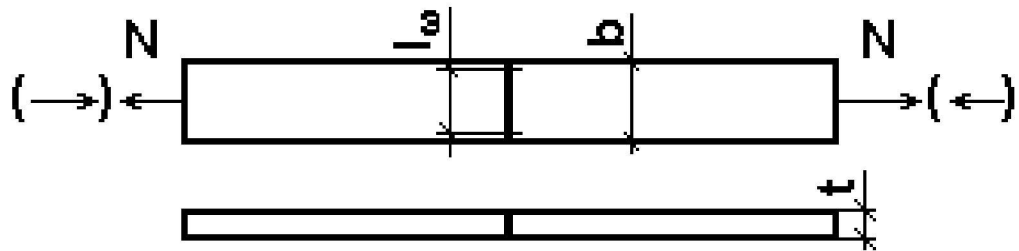


Рисунок 1.1 - Прямой сварной шов встык

где  $R_{wy}$  - расчетное сопротивление стыковых сварных соединений сжатию, растяжению и изгибу по пределу текучести; определяются по

$\gamma_c$  - коэффициент условий работы;

$t$  - наименьшая толщина соединяемых элементов;

$l_w$  - расчетная длина шва, равная полной его длине, уменьшенной на  $2t$  или его полной длине в случае вывода концов шва за пределы стыка.

Напряжения в косом сварном шве встык (рисунок 1.2), работающем на растяжение или сжатие, определяются по формуле /4/

$$\frac{N \cdot \sin \alpha}{t \cdot l_w} \leq R_{wy} \cdot \gamma_c, \quad (1.2)$$

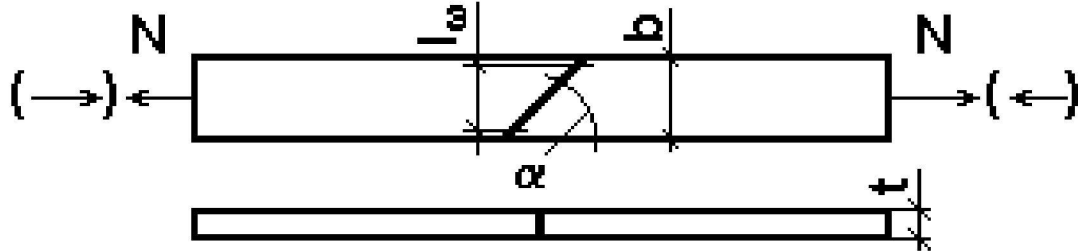


Рисунок 1.2 - Косой сварной шов встык

В косом шве возникают напряжения среза, которые проверяются по формуле

$$\tau = \frac{N \cdot \cos \alpha}{t \cdot l_w} \leq R_{ws} \cdot \gamma_c, \quad (1.3)$$

где  $R_{ws}$  - расчетное сопротивление стыковых сварных соединений сдвигу.

При действии на соединяемые сварным швом элементы изгибающего момента  $M$  напряжения в шве определяются по формуле /4/

$$\frac{M}{W_y} = \frac{6 \cdot M}{t \cdot l_w^2} \leq R_{wy} \cdot \gamma_c. \quad (1.4)$$

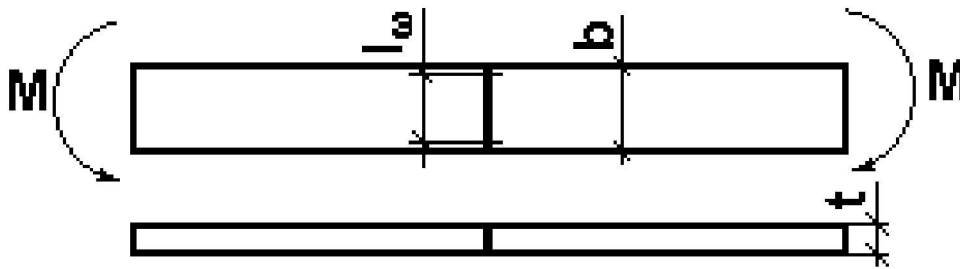


Рисунок 1.3 - К расчету стыкового сварного шва

При работе соединения встык на срез касательные напряжения в сварном шве (рисунок 1.4) определяются по формуле /4/

$$\tau = \frac{Q \cdot S}{I \cdot t} \leq R_{ws} \cdot \gamma_c, \quad (1.5)$$

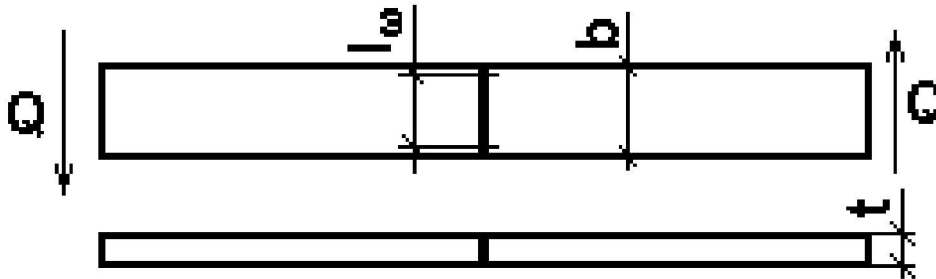


Рисунок 1.4 - К расчету стыкового сварного шва

где  $Q$  - поперечная сила;

$S$  - статический момент сопротивления шва;

$I$  - момент инерции.

Если изгибающий момент действует на соединение совместно с нормальной силой (рисунок 1.5), то напряжения в стыковом шве проверяются по формуле /4/

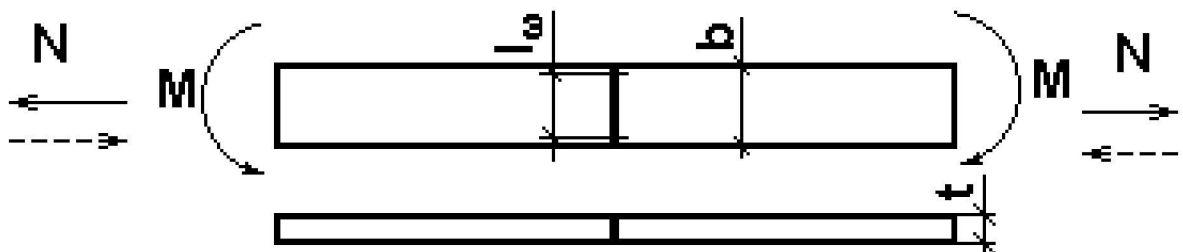


Рисунок 1.5 - К расчету стыкового сварного шва

$$\sigma = \frac{N}{A_w} + \frac{M}{W_w} = \frac{N}{t \cdot l_w} + \frac{6 \cdot M}{t \cdot l_w^2} \leq R_{wy} \cdot \gamma_c. \quad (1.6)$$

При действии изгибающего момента и поперечной силы на стыковое соединение напряжения в шве проверяются по формуле /4/

$$\sqrt{\sigma_{wx}^2 - \sigma_{wx} \cdot \sigma_{wy} + \sigma_{wy}^2 + 3 \cdot \tau_{wxy}^2} \leq 1,15 \cdot R_{wy} \cdot \gamma_c, \quad (1.7)$$

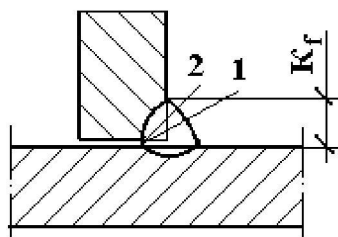
где  $\sigma_{wx}, \sigma_{wy}$  - нормальные напряжения от изгиба, определяемые по формуле (1.4);

$$\tau = \frac{Q}{t \cdot l_w} - \text{среднее касательное напряжение от срезающей силы } Q,$$

определенное из условия равномерного распределения напряжений по сечению.

## 1.2 Угловые швы

При действии продольной и поперечной силы сварные соединения с угловыми швами рассчитывают на срез (условный) по двум сечениям (рисунок 1.2):



1 - сечение по металлу шва; 2 - сечение по металлу границы сплавления

Рисунок 1.2 - Схема расчетных сечений сварного соединения с угловым швом

по металлу шва (сечение 1)

$$\frac{N}{\beta_f \cdot k_f \cdot l_w} \leq R_{wf} \cdot \gamma_{wf} \cdot \gamma_c, \quad (1.8)$$

по металлу границы сплавления (сечение 2)

$$\frac{N}{\beta_z \cdot k_f \cdot l_w} \leq R_{wz} \cdot \gamma_{wz} \cdot \gamma_c, \quad (1.9)$$

где  $l_w$  - расчетная длина шва, принимаемая меньше его полной длины на 10 мм;

$k_f$  - высота катета шва;

$\beta_f$  и  $\beta_z$  - коэффициенты, принимаемые при сварке элементов из стали с пределом текучести до 580 МПа по таблице /4/; для стали с пределом текучести выше 580 МПа  $\beta_f = 0,7$ ,  $\beta_z = 1$ ;

$\gamma_{wf}$  и  $\gamma_{wz}$  - коэффициенты условий работы шва, равные 1 во всех случаях, кроме конструкций, возводимых в климатических районах I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub>, II<sub>2</sub>, III<sub>3</sub>, для которых эти коэффициенты равны 0,85.

Для угловых швов, размеры которых установлены в соответствии с расчетом, в элементах из стали с пределом текучести до 285 МПа следует применять электроды или сварочную проволоку, для которых расчетные сопротивления срезу по металлу шва  $R_{wf}$  должны быть более  $R_{wz}$ , а при ручной сварке – не менее чем в 1,1 раза превышать расчетные сопротивления срезу по металлу границы сплавления  $R_{wz}$ , но не превышать значений  $R_{wz} \cdot \beta_z / \beta_f$ ; в

элементах из стали с пределом текучести свыше 285 МПа допускается применять электроды или сварочную проволоку, для которых выполняется условие

$$R_{wz} < R_{wf} \leq R_{wz} \cdot \beta_z \cdot \beta_f.$$

При выборе электродов или сварочной проволоки следует учитывать группы конструкций и климатические районы, указанные в таблице 55\* /4/.

Расчет сварных соединений с угловыми швами на действие момента в плоскости, перпендикулярной плоскости расположения швов, следует производить по двум сечениям по формулам:

по металлу шва

$$\frac{M}{W_f} \leq R_{wf} \cdot \gamma_{wf} \cdot \gamma_c; \quad (1.10)$$

по металлу границы сплавления

$$\frac{M}{W_z} \leq R_{wz} \cdot \gamma_{wz} \cdot \gamma_c, \quad (1.11)$$

где  $W_f$  – момент сопротивления расчетного сечения по металлу шва;

$W_z$  – то же, по металлу границы сплавления.

Расчет сварных соединений с угловыми швами на действие момента в плоскости расположения этих швов следует производить по двум сечениям по формулам:

по металлу шва

$$\frac{M}{J_{fx} + J_{fy}} \cdot \sqrt{x^2 + y^2} \leq R_{wf} \cdot \gamma_{wf} \cdot \gamma_c; \quad (1.12)$$

по металлу границы сплавления

$$\frac{M}{J_{zx} + J_{zy}} \cdot \sqrt{x^2 + y^2} \leq R_{wz} \cdot \gamma_{wz} \cdot \gamma_c, \quad (1.13)$$

где  $J_{fx}$  и  $J_{fy}$  – моменты инерции расчетного сечения по металлу шва относительно его главных осей;

$J_{zx}$  и  $J_{zy}$  – то же, по металлу границы сплавления;

$x$  и  $y$  – координаты точки шва, наиболее удаленной от центра тяжести расчетного сечения швов, относительно главных осей этого сечения.

При расчете сварные соединения с угловыми швами на одновременное действие продольной и поперечной сил и момента должны быть выполнены условия

$$\tau_f \leq R_{wf} \cdot \gamma_{wf} \cdot \gamma_c \text{ и } \tau_z \leq R_{wz} \cdot \gamma_{wz} \cdot \gamma_c,$$

где  $\tau_f$  и  $\tau_z$  – напряжения в расчетном сечении соответственно по металлу шва и по металлу границы сплавления, равные геометрическим суммам напряжений, вызываемых продольной и поперечной силами и моментом.

## Примеры к разделу 1:

**Задача 1.1.** Рассчитать соединение встык ручной сваркой двух полос из стали 10Г2С1 толщиной  $t = 12$  мм, шириной  $b = 200$  мм на действие растягивающих сил  $N = 56$  т.

Для сварки принимаем электроды типа Э42. По таблице 8 при расчете стыковых швов  $R_{wy} = 0,85 \cdot R_y$ . Для стали 10Г2С1 (по таблице 6 это соответствует стали С375 по ГОСТ 27772-88) определяем (по таблице 7 /4/)  $R_y = 345$  МПа.

Тогда  $R_{wy} = 0,85 \cdot 345 = 293$  МПа.

Напряжение в сварном шве определяем по формуле:

$$\frac{N}{t \cdot l_w} = \frac{560000}{12 \cdot (200 - 2 \cdot 12)} = 265 \text{ МПа} < \sigma_{wy} \cdot \gamma_c = 293 \cdot 1,0 = 293 \text{ МПа},$$

где  $l_w$  - расчетная длина шва, уменьшенная на  $2t$ .

Вывод: прямой стык обеспечивает прочность соединения.

**Задача 1.2.** Какое растягивающее усилие могут выдержать листы из стали Вст3кп2 сечением  $250 \times 12$  мм, соединенные косым швом встык под углом  $\alpha = 45^\circ$  к оси при ручной сварке?

По таблице 8 при расчете стыковых швов

$$R_{wy} = 0,85 \cdot R_y = 0,85 \cdot 230 = 195,5 \text{ МПа}; \quad R_{ws} = 0,58 \cdot \frac{R_{yn}}{\gamma_m} = 0,58 \cdot \frac{235}{1,025} = 133 \text{ МПа}.$$

Для стали Вст3кп2 (по таблице 6 /4/ - С235) по таблице 7 /4/  $R_y = 230$  МПа;  $R_{yn} = 235$  МПа; по таблице 4 /4/  $\gamma_m = 1,025$  - коэффициент надежности по материалу.

$$\text{Длина сварного шва } l_w = \frac{250}{0,707} - 10 = 344 \text{ мм}.$$

Максимальное растягивающее усилие для листов

$$N_L = R_y \cdot l_w \cdot t = 230 \cdot 250 \cdot 12 = 690000 \text{ Н} = 690 \text{ кН}.$$

Максимальное растягивающее усилие для шва

$$N = 195,5 \cdot \frac{344 \cdot 12}{0,707} = 1141477 \text{ Н} = 1141,5 \text{ кН}.$$

Максимальное усилие при расчете шва на срез

$$N_s = R_{ws} \cdot \frac{l_w \cdot t}{\cos 45^\circ} = 133 \cdot \frac{344 \cdot 12}{0,707} = 776554 \text{ Н} = 776,6 \text{ кН}.$$

Расчетным является максимальное усилие для листов (т.к. для шва выше).

**Задача 1.3.** Требуется определить снижение несущей способности элемента прокатного листа из стали Вст3псб толщиной  $t = 10$  мм при сварке его встык с полным проваром стенок ручной сваркой с обычными методами контроля качества шва по сравнению с целым прокатным листом.

Расчетное сопротивление для прокатного профиля из стали Вст3псб (С255) для толщин от 4 до 10 мм  $R_y = 240$  МПа.

Расчетное сопротивление сварного шва растяжению (таблица 8 /4/)

$$R_{wy} = 0,85 \cdot R_y = 0,85 \cdot 240 = 204 \text{ МПа.}$$

Снижение несущей способности составляет

$$\frac{R_y - R_{wy}}{R_y} \cdot 100\% = \frac{240 - 204}{240} \cdot 100\% = 15\%.$$

**Задача 1.4.** Проверить монтажное соединение встык двух частей колонны, выполненное из сварных двутавров № 17 ( $A_w = 283 \text{ см}^2$ ;  $W_w = 7980 \text{ см}^3$ ) из стали марки Вст3кп2, нагруженных сжимающей силой  $N = 425 \text{ т}$  и изгибающим моментом  $M_x = 400 \text{ кН}\cdot\text{м}$ .

Для сварки принимаем электроды типа Э42 с расчетным сопротивлением при работе на сжатие  $R_{wy} = 205 \text{ МПа}$ .

Напряжения в сварном шве определяем по формуле (1.6)

$$\sigma = \frac{N}{A_w} + \frac{M}{W_w} = \frac{4250000 \cdot 10^{-6}}{283 \cdot 10^{-4}} + \frac{400000 \cdot 10^{-6}}{7980 \cdot 10^{-6}} = 200 \text{ МПа}$$

$$< R_{wy} \cdot \gamma_c = 205 \cdot 1,0 = 205 \text{ МПа.}$$

Прочность соединения обеспечена.

**Задача 1.5.** Рассчитать соединение встык ручной сваркой двутавровой балки № 40 ( $A_w = 72,6 \text{ см}^2$ ;  $W_w = 953 \text{ см}^3$ ) из стали марки Вст3псб, нагруженной изгибающим моментом  $M_x = 174 \text{ кН}\cdot\text{м}$  и поперечной силой  $Q = 25,2 \text{ т}$ .

Принимаем для сварки электроды типа Э42 с расчетным сопротивлением  $R_{wy} = 0,85 \cdot R_y = 0,85 \cdot 240 = 204 \text{ МПа}$ .

Нормальные напряжения в шве равны по формуле:

$$\sigma_x = \frac{M_x}{W_x} = \frac{174000 \cdot 10^{-6}}{953 \cdot 10^{-6}} = 183 \text{ МПа.}$$

Средние касательные напряжения в шве равны:

$$\tau_{x\div} = \frac{Q}{A_w} = \frac{252000 \cdot 10^{-6}}{72,6 \cdot 10^{-4}} = 34,7 \text{ МПа.}$$

Приведенные напряжения в соединении по формуле (1.7) (здесь  $\sigma_y = 0$ ;  $\tau_y = 0$ )  $\sigma_{\text{рц\%}} = \sqrt{\sigma_x^2 + 3 \cdot \tau_x^2} = \sqrt{183^2 + 3 \cdot 34,7^2} = 193 \text{ МПа} < 1,15 \cdot R_{wy} \cdot \gamma_c = 1,15 \cdot 204 \cdot 1,0 = 235 \text{ МПа}$ .

**Задача 1.6.** Рассчитать соединение встык нижнего пояса фермы из труб сечением диаметром 159 мм ( $\delta = 4,5 \text{ мм}$ ,  $A = 21,8 \text{ см}^2$ ) из стали марки 15Г2СФ т.о. Растягивающее усилие в поясе  $N = 72 \text{ т}$ .

Сварку ведем электродами типа Э50А с применением физических методов контроля (по таблице 8 /4/  $R_{wy} = R_y$ , а значение  $R_y$  для стали 15Г2СФ т.о. равно 430 МПа).

Определяем напряжение в сварном шве

$$\sigma_w = \frac{N}{A_w} = \frac{720000 \cdot 10^{-6}}{21,8 \cdot 10^{-4}} = 330 \text{ МПа.}$$

Проверяем несущую способность трубы в месте соединения:

$$N = R_{wy} \cdot \gamma_c \cdot A_w = 430 \cdot 1,0 \cdot 21,8 = 937400 \text{ Н} = 93,74 \text{ т.}$$