ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИМ КУЧЕРЕНКО
(ЦНИИСК ИМ КУЧЕРЕНКО) ГОССТРОЯ СССР

Пособие

по расчету и конструированию сварных соединений стальных конструкций (к главе СНиП II-23-81)

Утверждено
приказом ЦНИИСК
им Кучеренко
от 28.II.83 № 372/л

Москва Стройиздат 1984

gost.e-ecolog.ru

УДК 624.078.3.014.2

Пособие по расчету и конструированию сварных соединений стальных конструкций (к главе СНиП II-23-81)/ЦНИИСК им. Кучеренко. — М.: Стройиздат, 1984.—40 с.

Рассмотрены вопросы расчета и конструирования сварных соединений с угловыми швами, позволяющими сократить расход основных видов ресурсов при сварке строительных стальных конструкций без ущерба для надежности и несущей способности соединений и конструкций в целом.

Даны примеры расчета соединений.

Для инженерно-технических работников проектных организаций и заводов-изготовителей строительных конструкций.

Табл. 12, ил. 20.

П $\frac{3202000000\text{-}441}{047(01)\text{-}84}$ **Инструкт.-нормат., I вып.-67-84**

© **Стройиздат, 1984**

ПРЕДИСЛОВИЕ

Пособие составлено к главе СНиП II-23-81. В Пособии приведен ряд новых решений, направленных на экономию основных видов ресурсов, расходуемых при выполнении сварочных работ. Основное внимание уделено рациональному проектированию сварных соединений с угловыми швами, которые составляют по массе наплавленного металла около 90 % от общего количества сварных швов. Поэтому наибольший эффект может быть получен от оптимизации размеров этих швов.

Новые нормы проектирования дают возможность сократить удельный расход наплавленного металла в строительных стальных конструкциях на 35—40 %.

Текст из главы СНиП II-23-81 отмечен в Пособии вертикальной чертой, в скобках указаны соответствующие номера пунктов и таблиц главы СНиП.

Пособие разработано ЦНИИСК им. Кучеренко (канд. техн. наук В. М. Барышев, при участии инж. Ю. А. Новикова).

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. При проектировании сварных соединений следует:

принимать минимально необходимое количество и минимальные размеры сварных швов;

предусматривать применение высокопроизводительных механизированных способов сварки;

предусматривать применение эффективных сварочных материалов (электродов, электродных проволок, защитных газов, флюсов);

предусматривать такое расположение и размеры сварных швов, при которых максимально сокращалась бы необходимость кантовки конструкций при их изготовлении, а также уменьшились бы размеры соединяемых деталей;

обеспечивать свободный доступ к местам наложения швов и удобное пространственное положение с учетом выбранного способа и технологии сварки и принятого метода неразрушающего контроля шва.

1.2. Сокращение массы наплавленного металла при проектировании сварных соединений и элементов конструкций достигается путем повышения расчетных сопротивлений соединений с угловыми швами за счет применения эффективной технологии сварки и электродных материалов; соблюдения требований по назначению минимально допустимых катетов угловых швов, устанавливаемых в зависимости от наибольшей толщины свариваемых элементов, вида сварки и механических свойств стали; применения односторонних угловых швов в поясах сварных двутавров, при приварке ребер жесткости, диафрагм и других деталей, а также уменьшения количества деталей в элементах конструкций или их размеров (применения односторонних ребер жесткости, исключения фасонок в решетчатых конструкциях или уменьшения их размеров в связи с повышением расчетных сопротивлений соединений с угловыми швами и др.).

1.3. При проектировании сварных соединений следует учитывать, что увеличение сечений швов по сравнению с регламентированными в главе СНиП II-23-81 не только не повышает работоспособность конструкций, но в ряде случаев снижает ее.

2. РАСЧЕТНЫЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

2.1 (3.4). Расчетные сопротивления сварных соединений для различных видов соединений и напряженных состояний следует определять по формулам, приведенным в табл. 3 СНиП II-23-81.

2.2. Расчетные сопротивления сварных соединений, определен-

ные по формулам, которые приведены в главе СНиП II-23-81, обеспечиваются при соблюдении следующих условий:

подготовка материалов, сборка конструкций, сварка и контроль качества осуществляются в соответствии с требованиями главы СНиП III-18-75; сварочные материалы для стыковых соединений соответствуют прочности свариваемой стали и условиям эксплуатации конструкций и применяются в соответствии с табл 1 прил. 1;

сварочные материалы для расчетных угловых швов применяются в соответствии с табл. 2 прил. 1 с учетом условий эксплуатации конструкций, указанных в табл. 1 прил. 1.

2.3. Расчетные сопротивления стыковых соединений, выполняемых всеми видами дуговой сварки, принимаются равными расчетным сопротивлениям стального проката при условии физического контроля качества швов в растянутых элементах и соблюдении требований п. 13.42 главы СНиП II-23-81 об обеспечении полного провара соединяемых элементов путем двухсторонней сварки, односторонней с подваркой корня шва или односторонней сварки на подкладке.

В случаях, когда в стыковых соединениях невозможно обеспечить полный провар элементов, рекомендуется принимать $R_{wy}=0{,}7\,R_y$.

2.4. Несущая способность сварных соединений с угловыми швами зависит от ориентации шва относительно направления усилия, действующего на соединение. Однако учет этой зависимости существенно усложняет расчет соединения, в связи с чем расчетные сопротивления соединений с угловыми швами в главе СНиП II-23-81 приняты для наименее благоприятной ориентации (флангового шва) и независимыми от величины угла между продольной осью шва и направлением силового вектора, действующего на него.

2.5. Предельным состоянием для сварных соединений с угловыми швами является опасность разрушения. В связи с этим их расчетные сопротивления установлены по временному сопротивлению металла: для металла шва — в зависимости от нормативного сопротивления металла шва $R_{wf}=f(R_{wun})$; для металла границы сплавления — в зависимости от нормативного сопротивления основного металла $R_{wz}=f(R_{un})$.

Числовые значения расчетных сопротивлений сварных соединений с угловыми швами приведены в табл. 2 и 3 прил. 1.

3. РАСЧЕТ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

3.1. Расчет сварных стыковых соединений на центральное растяжение и сжатие следует проводить в соответствии с п. 11.1 главы СНиП II-23-81.

3.2. С целью повышения эффективности использования наплавленного металла в соединениях с расчетными угловыми швами пре-

дусмотрено применение электродных материалов, обеспечивающих повышенные прочностные свойства металла шва. При этом возникает необходимость проверки прочности соединений по двум опасным сечениям по металлу шва и по металлу границы сплавления.

3.3 (11.2). Сварные соединения с угловыми швами при действии продольной и поперечной сил следует рассчитывать на срез (условный) по двум сечениям.

по металлу шва

$$N/(\beta_f k_f l_w) \leqslant R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c; \qquad (1)[120]$$

по металлу границы сплавления

$$N/(\beta_z k_f l_w) \leqslant R_{wz} \gamma_{wz} \gamma_c. \qquad (2)[121]$$

где l_w — расчетная длина шва, принимаемая меньше его полной длины на 10 мм; β_f и β_z — коэффициенты, принимаемые при сварке элементов из стали. с пределом текучести до 580 МПа (5900 кгс/см²) по табл. 1 (34); с пределом текучести свыше 580 МПа (5900 кгс/см²) независимо от вида сварки, положения шва и диаметра сварочной проволоки $\beta_f=0{,}7$ и $\beta_z=1$, γ_{wf} и γ_{wz} — коэффициенты условий работы шва, равные 1 во всех случаях, кроме конструкций, возводимых в климатических районах I_1, I_2, II_2 и II_3, для которых $\gamma_{wf}=0{,}85$ для металла шва с нормативным сопротивлением $R_{wun}=410$ МПа (4200 кгс/см²) и $\gamma_{wz}=0{,}85$ для всех сталей.

При сварке с использованием технологических приемов, направленных на повышение производительности наплавки, которые сопровождаются снижением глубины проплавления (например, сварка при удлиненном вылете электрода, при прямой полярности постоянного тока, с применением дополнительного присадочного материала и т. п.), значения коэффициентов рекомендуется принимать $\beta_f=0{,}7$ и $\beta_z=1$.

3.4 (11.2). Для угловых швов, размеры которых установлены в соответствии с расчетом, в элементах из стали с пределом текучести до 285 МПа (2900 кгс/см²) следует применять электроды или сварочную проволоку согласно табл 2 прил. 1 настоящего пособия, 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 превышают расчетные сопротивления срезу по металлу границы сплавления R_{wz}, но не превосходят значений $R_{wz}\beta_z/\beta_f$

$$1{,}1R_{wz} < R_{wf} \leqslant R_{wz}\beta_z/\beta_f; \qquad (3)$$

в элементах из стали с пределом текучести свыше 285 МПа (2900 кгс/см²) допускается применять электродные материалы, для которых выполняется условие

$$R_{wz} < R_{wf} \leqslant R_{wz}\beta_z/\beta_f. \qquad (4)$$

Таблица 1 (34)

Вид сварки при диаметре сварочной проволоки d, мм	Положение шва	Коэффициент	Значения коэффициентов β_f и β_z при катетах швов, мм			
			3—8	9—12	14—16	18 и более
Автоматическая при $d=3—5$	**В лодочку**	β_f	1,1			0,7
		β_z	1,15			1
	Нижнее	β_f	1,1	0,9		0,7
		β_z	1,15	1,05		1
Автоматическая и полуавтоматическая при $d=1,4—2$	В лодочку	β_f	0,9		0,8	0,7
		β_z	1,05		1	
	Нижнее, горизонтальное, вертикальное	β_f	0,9	0,8	0,7	
		β_z	1,05	1		
Ручная; полуавтоматическая проволокой сплошного сечения при $d<1,4$ или порошковой проволокой	В лодочку нижнее, горизонтальное, вертикальное, потолочное	β_f	0,7			
		β_z	1			

Примечание. **Значения коэффициентов соответствуют нормальным режимам сварки.**

При выборе электродных материалов следует учитывать группы конструкций и климатические районы, указанные в табл. 55 (В Пособии табл. 1 прил. 1).

3.5. Левая часть выражений (3) и (4) $1,1R_{wz}<R_{wf}$ и $R_{wz}<R_{wf}$ означает необходимость применения электродных материалов, обеспечивающих высокую прочность металла шва. Правая часть этих выражений $R_{wf}<R_{wz}\beta_z/\beta_f$ указывает верхний предел значения R_{wf}, выше которого увеличение прочности металла шва нецелесообразно, поскольку несущую способность соединения будет определять сечение по металлу границы сплавления.

При проектировании сварных соединений возможны исключения из требований, указанных в выражениях (3) и (4), которые определяются дискретностью значений входящих в них параметров, ограниченностью ассортимента сварочных проволок для механизированной сварки и условиями организации производства. Поэтому в ряде случаев для расчетных угловых швов целесообразно применять сварочную проволоку, при которой $R_{wf} > R_{wz}\beta_z/\beta_f$.

Например, проволоку марки Св-08Г2С целесообразно применять при сварке в углекислом газе однопроходных швов ($k_f < 8$ мм) в конструкциях из стали ВСт3, которая обеспечивает минимальный расход наплавленного металла из всех возможных вариантов полуавтоматической и ручной сварки; проволоку марок Св-08А и Св-08ГА — при автоматической сварке под флюсом конструкций из стали ВСт3 (применение проволоки Св-08ГА обосновано в случаях, когда на одном производственном участке одновременно выполняется сварка конструкций из малоуглеродистой и низколегированной стали).

3.6. В зависимости от значений R_{wf}, R_{wz} и β_f, характеризующих соединение с угловыми швами, прочность одного из двух расчетных сечений меньше прочности другого сечения. Поэтому для расчета такого соединения на срез (условный) достаточно произвести проверку менее прочного сечения. Расчетные сечения, по которым следует производить проверку прочности соединения с угловыми швами, в зависимости от параметров R_{wun}, R_{un}, β_f, указаны в табл. 2 (для конструкций во всех климатических районах, кроме I_1, I_2, II_2, II_3) и табл. 3 (для конструкций в климатических районах I_1, I_2, II_2, II_3).

Примечание. Коэффициенты β_f и β_z связаны зависимостью $\beta_z = 1{,}41\sqrt{\beta_f^2 - 1{,}41\,\beta_f + 1}$, поэтому в табл. 2 и 3 значения β_z не приводятся.

3.7. Предельные усилия на сварные соединения с угловыми швами для наиболее распространенных сочетаний электродных материалов, условий сварки и катетов швов приведены в табл. 1 и 2 прил. 2.

3.8. Расчет сварных соединений с угловыми швами на действие момента, на одновременное действие сил и момента, а также поясных соединений с угловыми швами в составных двутавровых балках следует производить по двум сечениям в соответствии с требованиями пп. 11.3, 11.5 и 11.16 главы СНиП II-23-81. При этом в общем виде расчетные формулы представляют собой сравнение напряжений, возникающих от действия усилий в расчетном сечении по шву (τ_f) и по металлу границы сплавления (τ_z), с соответствующими расчетными сопротивлениями с учетом коэффициентов условий работы:

$$\tau_f \leqslant R_{wf}\,\gamma_{wf}\,\gamma_c;$$
$$\tau_z \leqslant R_{wz}\,\gamma_{wz}\,\gamma_c.$$

Таблица 2

R_{wun}	R_{un} =345 (3500) R_{un} =355 (3600)				R_{un} =365 (3700) R_{un} =370 (3800)				R_{un} =380 (3900)			
	β_f				β_f				β_f			
	1,1	0,9	0,8	0,7	1,1	0,9	0,8	0,7	1,1	0,9	0,8	0,7
410 (4200)	Г	Ш	Ш	Ш	Г	Ш	Ш	Ш	Г	Ш	Ш	Ш
450 (4600)	Г	Г	Г	Ш	Г	Г	Ш	Ш	Г	Г	Ш	Ш
490 (5000)	Г	Г	Г	Ш	Г	Г	Г	Ш	Г	Г	Г	Ш
590 (6000)	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Ш
⩾685 (7000)	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г

Таблица 2а

R_{wun}	R_{un} =390 (4000) R_{un} =410 (4200)				R_{un} =430 (4400) R_{un} =440 (4500) R_{un} =450 (4600) R_{un} =460 (4700)				R_{un} =470 (4800) R_{un} =480 (4900) R_{un} =490 (5000)			
	β_f				β_f				β_f			
	1,1	0,9	0,8	0,7	1,1	0,9	0,8	0,7	1,1	0,9	0,8	0,7
410 (4200)	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш
450 (4600)	Г	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш
490 (5000)	Г	Г	Ш	Ш	Г	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш
590 (6000)	Г	Г	Г	Ш	Г	Г	Ш	Ш	Г	Ш	Ш	Ш
685 (7000)	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Ш	Г	Г	Г	Ш
835 (8500)	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г

Таблица 2б

R_{wun}	R_{un}=500 (5100) R_{un}=510 (5200)				R_{un}=520 (5300) R_{un}=530 (5400)				R_{un}=540 (5500) R_{un}=570 (5800) R_{un}=590 (6000)			
	β_f				β_f				β_f			
	1,1	0,9	0,8	0,7	1,1	0,9	0,8	0,7	1,1	0,9	0,8	0,7
⩽490 (5000)	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш
590 (6000)	Г	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш
685 (7000)	Г	Г	Ш	Ш	Г	Г	Ш	Ш	Г	Ш	Ш	Ш
835 (8500)	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Ш	Г	Г	Г	Ш

Примечания 1 Значение нормативных сопротивлений R_{un} и R_{wun} указаны в МПа (кгс/см²) 2 Буквы Ш и Г указывают, что при данном сочетании R_{un}, R_{wun} и β_f расчет соединения с угловыми швами должен производиться соответственно по металлу шва или по металлу границы сплавления. 3 Для стального проката с R_{un}= =685 МПа (7000 кгс/см²) расчет соединения с угловыми швами должен производиться по металлу шва.

Таблица 3

R_{wun}	R_{un}=345 (3500) R_{un}=355 (3600) R_{un}=365 (3700)				R_{un}=370 (3800) R_{un}=380 (3900)				R_{un}=390 (4000)			
	β_f				β_f				β_f			
	1,1	0,9	0,8	0,7	1,1	0,9	0,8	0,7	1,1	0,9	0,8	0,7
410 (4200)	Г	Ш	Ш	Ш	Г	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш
450 (4600)	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Ш	Г	Г	Г	Ш
⩾490 (5000)	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г

Таблица 3а

R_{wun}	R_{un} =410 (4200) R_{un} =430 (4400)				R_{un} =440 (4500)				R_{un} =450 (4600) R_{un} =460 (4700) R_{un} =470 (4800) R_{un} =480 (4900)			
	β_f				β_f				β_f			
	1,1	0,9	0,8	0,7	1,1	0,9	0,8	0,7	1,1	0,9	0,8	0,7
410 (4200)	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш
450 (4600)	Г	Г	Г	Ш	Г	Г	Г	Ш	Г	Ш	Ш	Ш
490 (5000)	Г	Г	Г	Ш	Г	Г	Г	Ш	Г	Г	Ш	Ш
590 (6000)	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Ш	Г	Г	Г	Ш
⩾685 (7000)	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г

Таблица 3б

R_{wun}	R_{un} =490 (5000)				R_{un} =500 (5100) R_{un} =510 (5200)				R_{un} =520 (5300) R_{un} =530 (5400)			
	β_f				β_f				β_f			
	1,1	0,9	0,8	0,7	1,1	0,9	0,8	0,7	1,1	0,9	0,8	0,7
410 (4200)	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш
450 (4600)	Г	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш
490 (5000)	Г	Ш	Ш	Ш	Г	Ш	Ш	Ш	Г	Ш	Ш	Ш
590 (6000)	Г	Г	Г	Ш	Г	Г	Ш	Ш	Г	Г	Ш	Ш
685 (7000)	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Ш
835 (8500)	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г

Таблица 3в

R_{wun}	R_{un} =540 (5500) R_{un} =570 (5800)				R_{un} =590 (6000)			
	β_f				β_f			
	1,1	0,9	0,8	0,7	1,1	0,9	0,8	0,7
⩽490 (5000)	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш
590 (6000)	Г	Ш	Ш	Ш	Г	Ш	Ш	Ш
685 (7000)	Г	Г	Г	Ш	Г	Г	Ш	Ш
835 (8500)	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г

Примечания: 1. Обозначения даны в табл. 2 а, б. 2. Таблица составлена с учетом коэффициентов γ_{wf} и γ_{wz}, значения которых указаны в п. 11.2 главы СНиП II-23-81. 3. Для стального проката с R_{un}=685 МПа (7000 кгс/см²) расчет соединения с угловыми швами должен производиться по металлу шва.

Примеры расчета соединений приведены в прил. 3 (примеры 1—4).

3.9. Расчет таврового соединения с разделкой кромок элемента с неполным его проваром (рис. 1) на действие продольной и поперечной сил рекомендуется производить по двум сечениям по формулам:

по металлу шва

$$N/(2,6hl_w) \leqslant R_{wf}\gamma_{wf}\gamma_c; \qquad (5)$$

по металлу границы сплавления

$$N/(2,8hl_w) \leqslant R_{wz}\gamma_{wz}\gamma_c, \qquad (6)$$

где h — глубина разделки кромок, значения которой следует принимать согласно соответствующему стандарту на основные типы, конструктивные элементы и размеры сварных соединений; l_w — расчетная длина шва, равная полной его длине, уменьшенной на t_m, или полной его длине в случае вывода концов шва за пределы стыка.

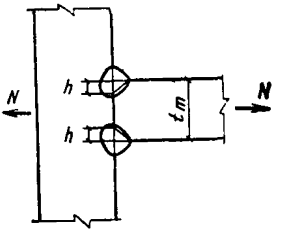
В формулах (5) и (6) учтено наличие двух швов в соединении.

Тавровые соединения с разделкой кромок (рис. 1) целесообразно применять в случаях, когда катеты швов должны быть $k_f > 14$ мм. При этом назначение разделки кромок должно производиться с учетом технологических возможностей производства.

Пример расчета соединения в соответствии с рекомендациями настоящего пункта приведен в прил. 3 (пример 5).

3.10. Тавровые соединения с лобовыми угловыми швами, рассчитываемые на действие растягивающей силы (пп. 3.3 и 3.9) по двум сечениям, следует рассчитывать также на растяжение по основному

Рис. 1. К расчету **таврового соединения** с разделкой кромок **элемента и неполным** его проваром



металлу в сечении, перпендикулярном направлению действия силы (рис. 2, сечение *3—3*).

В соединении с двухсторонним швом без разделки кромок (рис. 2*а*) расчет по сечению *3—3* следует производить по формуле

$$N/(2{,}8\beta_f k_f l_w) \leqslant R_{th}\gamma_c; \qquad (7)$$

в соединении с двухсторонним швом и k-образной разделкой кромок расчет по сечению *3—3* следует производить по формулам:

при полном проваре прикреплямого элемента (рис. 2, *б*)

$$N/(1{,}3tl_w) \leqslant R_{th}\gamma_c; \qquad (8)$$

при частичном проваре прикрепляемого элемента (рис. 2, *в*)

$$N/[2\,(h+0{,}15t)\,l_w] \leqslant R_{th}\gamma_c; \qquad (9)$$

в соединении с односторонним швом и разделкой кромок при полном проваре прикрепляемого элемента (рис. 2, *г*) расчет по сечению *3—3* следует производить по формуле

$$N/(1{,}15tl_w) \leqslant R_{th}\gamma_c. \qquad (10)$$

В формулах (7)—(10): l_w — длина шва, принимаемая равной его полной длине; t — толщина прикрепляемого элемента; h — глубина разделки кромок; R_{th} — расчетное сопротивление растяжению в направлении толщины проката, которое следует принимать $R_{th}=0{,}5\,R_u$.

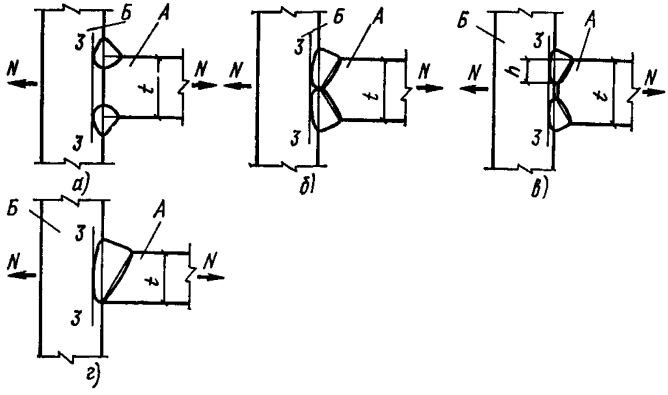


Рис. 2. К расчету таврового соединения по основному металлу в сечении, перпендикулярном направлению растягивающей силы

Расчет соединений по сечению *3—3* не следует производить в следующих случаях:

в соединениях с двухсторонним угловым швом без разделки кромок (рис. 2, *а*), а также с разделкой кромок и частичным проваром прикрепляемого элемента (рис. 2, *в*) — при соблюдении соотношения между значениями временного сопротивления свариваемых элементов $R^{А}_{un} \leqslant R^{Б}_{un}$;

в соединениях с двухсторонним угловым швом и k-образной разделкой кромок (рис. 2, *б*) — при соблюдении соотношения значений характеристик прочностных свойств $R^{А}_{yn} \leqslant 0{,}65\, R^{В}_{un}$.

4. КОНСТРУИРОВАНИЕ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

4.1. Общие требования к конструкции сварных соединений, направленные на повышение их надежности и работоспособности, а также технологичности, изложены в пп. 12.2—12.3 и 12.6—12.8 главы СНиП II-23-81.

4.2. Одним из наиболее важных условий сокращения удельного расхода наплавленного металла в конструкциях при выполнении конструктивных и слабонагруженных угловых швов является назначение минимальных катетов швов в соответствии с табл. 38 главы СНиП II-23-81, размеры которых зависят от толщины свариваемых элементов, предела текучести стали, вида сварки и вида соединения.

4.3. При проектировании сварных соединений с угловыми швами необходимо учитывать, что количество наплавленного металла пропорционально квадрату катета шва. Поэтому завышение k_f даже на 1 мм приводит к значительному перерасходу наплавленного металла. Например, увеличение массы наплавленного металла в швах $k_f = 10$ мм по сравнению с $k_f = 9$ мм составляет почти 20 %, а в швах $k_f = 6$ мм по сравнению с $k_f = 5$ мм — более 40 %.

Из двух расчетных угловых швов с одинаковым расчетным сечением экономичнее по расходу наплавленного металла тот, который имеет меньший катет (и соответственно большую длину).

4.4 (12.9). Для прикрепления ребер жесткости, диафрагм и поясов сварных двутавров допускается применять односторонние угловые швы, катеты которых k_f следует принимать по расчету, но не менее указанных в табл. 38 главы СНиП II-23-81.

Применение односторонних угловых швов не допускается в конструкциях:

группы 1; эксплуатируемых в среднеагрессивной и сильноагрессивной средах; возводимых в климатических районах I_1, I_2, II_2 и II_3.

Указанные ограничения не распространяются на односторонние угловые швы, выполненные с проваром на всю толщину прикрепляемого элемента.

Общие положения о применении односторонних угловых швов в элементах конструкций изложены ниже в данном разделе пособия, примеры применения приведены в прил. 4.

4.5 (12.10). Для расчетных и конструктивных угловых швов в проекте должны быть указаны вид сварки, электроды или сварочная проволока, положение шва при сварке.

Положение шва при сварке необходимо указывать для расчетных угловых швов, так как оно определяет величину коэффициентов β_f и β_z, входящих в расчетные формулы. В случае когда на стадии проектирования положение шва неизвестно, оно должно быть указано предположительно, а при разработке деталировочных чертежей (КМД) уточнено с соответствующей корректировкой величины k_f углового шва.

4.6. При применении прерывистых швов и электрозаклепок в соответствии с п. 12.13 главы СНиП II-23-81 расстояние между соседними концами участков прерывистого шва должно составлять не более $18t$ для сжатых элементов и не более $24t$ для растянутых элементов (t — толщина наиболее тонкого из свариваемых элементов).

Конструкции сварных соединений в фермах

4.7 (13.9). Расстояние между краями элементов решетки и пояса в узлах сварных ферм с фасонками следует принимать равным $a=6t-20$ мм, но не более 80 мм (t — толщина фасонки, мм) (рис. 3 Пособия).

4.8 (13.9). Между торцами стыкуемых элементов поясов ферм, перекрываемых накладками, следует оставлять зазор a не менее 50 мм (рис. 4 Пособия).

4.9. Сварные швы, прикрепляющие элементы решетки фермы к фасонкам, следует выводить на торец элемента на длину 20 мм (рис. 5). Лобовые швы по торцам элементов решетки применять не рекомендуется, поскольку из-за увеличения остаточных сварочных напряжений ухудшаются условия эксплуатации фасонки.

4.10 (13.10). В узлах ферм с поясами из тавров, двутавров и одиночных уголков крепление фасонок к полкам поясов встык следует осуществлять с проваром на всю толщину фасонки (рис. 6 Пособия).

В конструкциях группы 1, а также эксплуатируемых в климатических районах I_1, I_2, II_2 и II_3 стыковые швы, прикрепляюшие фасонки к полкам поясов, следует выполнять согласно рис. 6*б*.

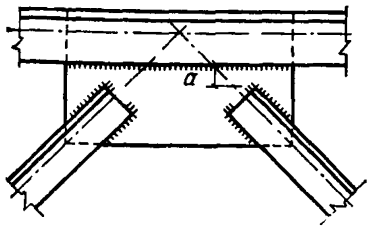


Рис. 3. Узел фермы с фасонками

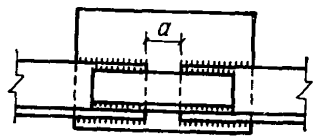


Рис. 4. Стык поясов ферм с накладками

Рис. 5. Схемы выведения швов на торец элемента

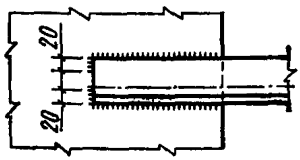
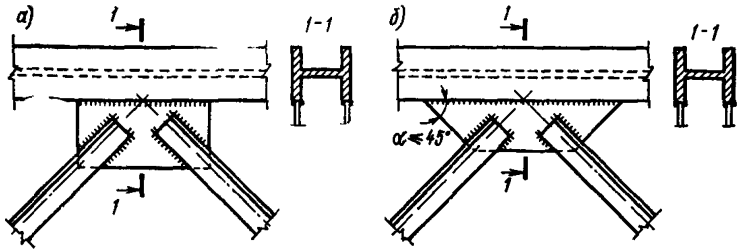


Рис. 6. Узел фермы с фасонкой, привариваемой встык к элементу сечения пояса

а — для климатических районов II_4 и II_5; *б* — для климатических районов I_1, I_2, II_2, II_3



4.11. В узлах ферм с поясами из двутавров, тавров и одиночных уголков, в которых фасонки прикреплены к полкам поясов стыковыми швами, допускается пересечение угловых швов нахлесточных соединений раскосов со стыковыми швами.

Конструкции сварных соединений в колоннах

4.12. В центрально-сжатых колоннах и стойках двутаврового сечения допускается применять односторонние поясные швы. При этом в узлах крепления связей, балок, распорок и других элементов в зоне передачи усилия следует применять двухсторонние поясные швы, выходящие за контуры прикрепляемого элемента (узла) на длину $30k_f$ с каждой стороны (рис. 7).

4.13 (13.13). Угловые швы, прикрепляющие фасонки соединительной решетки к колоннам внахлестку, следует назначать по расчету и располагать с двух сторон фасонки вдоль колонны в виде

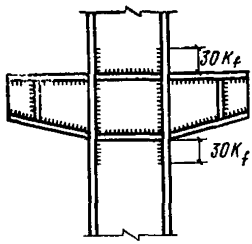


Рис. 7. Расположение двухстороннего поясного шва в колонне в узле примыкания балки

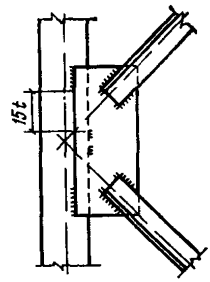


Рис. 8. Расположение швов, прикрепляющих фасонку соединительной решетки колонны

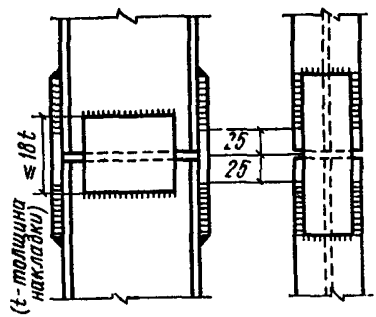


Рис. 9. Монтажный стык колонны с накладками

отдельных участков в шахматном порядке; при этом расстояние между концами таких швов не должно превышать 15 толщин фасонки (15*t*, рис. 8 Пособия).

В конструкциях, возводимых в климатических районах I_1, I_2, II_2 и II_3, а также при применении ручной дуговой сварки швы должны быть непрерывными по всей длине фасонки.

4.14. При прикреплении колонн к опорным плитам толщиной более 80 мм катеты угловых швов следует устанавливать по табл. 38 главы СНиП II-23-81, принимая толщину плиты равной 80 мм.

4.15. В монтажных стыках колонн, выполняемых на накладках со сварными швами, швы следует не доводить до стыка на 25 мм с каждой стороны (рис. 9) или обеспечить зазор в стыке не менее 50 мм. Накладки рекомендуется применять прямоугольной формы.

Конструкции сварных соединений в балках

4.16 (13.25). Поясные швы сварных балок, а также швы, присоединяющие к основному сечению балки вспомогательные элементы (например, ребра жесткости), должны выполняться непрерывными. При этом допускается применение односторонних поясных швов в сварных двутавровых балках, несущих статическую нагрузку, и швов, прикрепляющих вспомогательные элементы.

4.17. При применении односторонних поясных швов в сварных двутавровых балках должны быть выполнены следующие требования:

расчет устойчивости стенок балок должен быть произведен в соответствии с требованиями пп. 7.2 и 7.3 главы СНиП II-23-81;

расчетная нагрузка должна быть приложена симметрично относительно поперечного сечения балки (СНиП II-23-81, п. 13.26);

устойчивость сжатого пояса балки должна быть обеспечена в соответствии с п. 5.16а главы СНиП II-23-81, а именно путем применения сплошного жесткого настила, непрерывно опирающегося на сжатый пояс балки и надежно с ним связанного (плиты железобетонные, плоский и профилированный металлический настил, волнистая сталь и т. п.);

в местах приложения к поясу балки сосредоточенных нагрузок, включая нагрузки от ребристых железобетонных плит, должны быть установлены поперечные ребра жесткости (СНиП II-23-81, п. 13.26).

В ригелях рамных конструкций у опорных узлов следует применять двухсторонние поясные швы, протяженность которых должна быть не менее высоты сечения ригеля (рис. 10).

В балках и ригелях рамных конструкций, рассчитываемых согласно требованиям пп. 5.18—5.23 главы СНиП II-23-81 (с учетом развития пластических деформаций), применение односторонних поясных швов не допускается.

4.18 (13.28). В сварных двутавровых балках конструкций групп 2—4 следует, как правило, применять односторонние ребра жесткости с расположением их с одной стороны балки.

Расчет устойчивости одностороннего ребра жесткости следует производить согласно требованиям пп. 7.10—7.13 главы СНиП II-23-81.

В балках с односторонними поясными швами ребра жесткости на стенке следует располагать со стороны, противоположной расположению односторонних поясных швов (рис. 11).

4.19 (13.27). Ребра жесткости сварных балок должны быть удалены от стыков стенки на расстояние не менее 10 толщин стенки. В местах пересечения стыковых швов стенки балки с ребром жест-

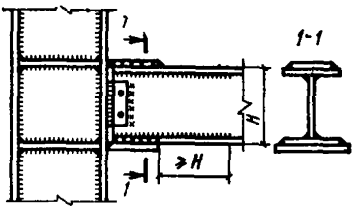


Рис. 10. Расположение двухстороннего поясного шва в опорном узле ригеля

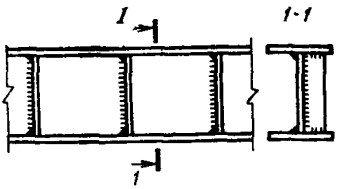


Рис. 11. Расположение односторонних ребер жесткости в балке с односторонними поясными швами

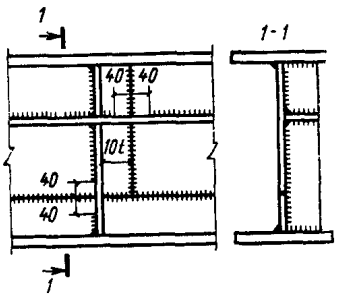


Рис. 12. Взаимное расположение стыковых швов и ребер жесткости на стенке балки

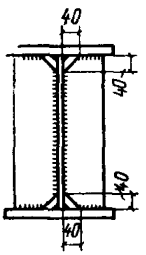


Рис. 13. Примыкание ребер жесткости к элементам сечения сварной балки

кости швы, прикрепляющие ребро к стенке, следует не доводить до стыкового шва на 40 мм (рис. 12 Пособия).

4.20. Торцы вертикальных ребер жесткости сварных балок в местах примыкания их к поясам [(за исключением нижних торцов опорных ребер, а также ребер, располагаемых со стороны, противоположной односторонним поясным швам (см. рис. 11)] должны иметь скосы, размеры которых рекомендуется принимать 40×40 мм (рис. 13).

В табл. 1 и 2 в скобках указаны марки проволок, рекомендуемых в дополнение к табл. 55 главы СНиП II-23-81.

Звездочкой * отмечены марки проволок, которые рекомендуется применять при специальном обосновании.

Материалы для сварных соединений и расчетные сопротивления сварных соединений

Таблица 1 (55). Материалы для сварки, соответствующие маркам стали

Группы конструкций в климатических районах	Марка стали	Материалы для сварки			
		под флюсом		в углекислом газе (по ГОСТ 8050—76)	покрытыми электродами
		Марки			
		флюсов (по ГОСТ 9087—81)	сварочной проволоки (по ГОСТ 2246—70*)		тип электродов (по ГОСТ 9467—75)
2, 3 и 4 во всех районах, кроме I_1, I_2, II_2, II_3	18сп, 18пс, 18кп, 18Гсп, 18Гпс, ВСт3сп, ВСт3пс, ВСт3кп, ВСт3Гпс, 20, ВСтТпс	АН-348-А, АН-60	(Св-08) Св-08А, Св-08ГА	Св-08Г2С (Св-07ГС), Св-08Г2СЦ	Э42, Э46
	09Г2С, 09Г2, 10Г2С1, 14Г2, 15ХСНД, 10ХНДП, 10ХСНД	АН-47, АН-43, АН-17М, АН-348-А[1]	Св-10НМА, Св-10Г2[2], Св-08ГА[2], Св-10ГА[2], Св-08ХМ*	Св-08Г2С, Св-08Г2СЦ, Св-08ХГСМА*, Св-10ХГ2СМА*	Э46, Э50
	18Г2АФпс, 16Г2АФ, 15Г2СФ, 15Г2АФДпс, 14Г2АФ		Св-10НМА, Св-08ХМ[3]*	Св-08Г2С Св-08ХГСМА Св-10ХГ2СМА Св-08Г2СЦ	Э50, Э60
1 во всех районах; 2, 3 и 4 в районах I_1, I_2, II_2, II_3	18сп, 18Гпс, 18Гсп, ВСт3сп, ВСт3пс, ВСт3Гпс, 20, ВСтТпс	АН-348-А	Св-08А Св-08ГА	Св-08Г2С, Св-08Г2СЦ, (Св-07ГС)	Э42А, Э46А
	09Г2С, 09Г2, 10Г2С1, 14Г2, 15ХСНД, 10ХНДП, 10ХСНД	АН-47, АН-43, АН-348-А[1]	Св-10НМА Св-08ХМ[3]*	Св-08Г2С, Св-08Г2СЦ	Э46А, Э50А

Продолжение табл 1(55)

Группы конструкций в климатических районах	Марки стали	Материалы для сварки			
		под флюсом		в углекислом газе (по ГОСТ 8050—76)	покрытыми электродами
		Марки			
		флюсов (по ГОСТ 9087—81)	сварочной проволоки (по ГОСТ 2246—70*)		тип электродов (по ГОСТ 9467—75)
1 во всех районах; 2, 3 и 4 в районах I_1, I_2, II_2, II_3	18Г2АФпс, 16Г2АФ, 15Г2АФДпс, 14Г2АФ	АН-47, АН-17М, АН-348-А[1]	Св-10НМА Св-08ХМ[3]*	Св-08Г2С, Св-08Г2СЦ, Св-08ХГСМА Св-10ХГ2СМА	Э50А Э60
	12ГН2МФАЮ, 12Г2СМФ	АН-17М	Св-08ХН2ГМЮ	Св-10ХГ2СМА	Э70

[1] Применение флюса АН-348-А требует проведения дополнительного контроля механических свойств металла шва при сварке соединений элементов всех толщин для конструкций климатических районов I_1, I_2, II_2, II_3 и толщиной более 32 мм для конструкций остальных климатических районов.

[2] Не применять в сочетании с флюсом АН-43

[3] Применять только в сочетании с флюсом АН-47.

Примечания. 1 Флюс марки АН-47 поставляется по ТУ 14-1-1353-75, марки АН-43 — по ТУ 14-1-753-73, марки АН-17М — по ЧМТУ 1-1017-70 Проволока марки Св-08Г2СЦ поставляется по ТУ 14 4-791-76; Св 07ГС — по ТУ 14-1-2964 80.

2 При соответствующем технико-экономическом обосновании для сварки конструкций разрешается использовать сварочные материалы (проволоки, флюсы, защитные газы), не указанные в настоящей таблице При этом механические свойства металла шва, выполняемого с их применением, должны быть не ниже свойств, обеспечиваемых применением материалов согласно настоящей таблице.

Таблица 2 (56). Нормативные и расчетные сопротивления металла швов сварных соединений с угловыми швами

Сварочные материалы		R_{wun}, МПа (кгс/см²)	R_{wf}, МПа (кгс/см²)
тип электрода по ГОСТ 9467—75	марки проволоки		
Э42, Э42А	Св-08, Св-08А	410 (4200)	180 (1850)

Продолжение табл. 2(56)

Сварочные материалы		R_{wun}, МПа (кгс/см²)	R_{wf}, МПа (кгс/см²)
тип электрода по ГОСТ 9467—75	марки проволоки		
Э46, Э46А	Св-08ГА (Св-07ГС)	450 (4600)	200 (2050)
Э50, Э50А	Св-10ГА, Св-08Г2С, Св-08Г2СЦ, ПП-АН8, ПП-АН3 (Св-07ГС [1])	490 (5000)	215 (2200)
Э60	Св-08Г2С [2], Св-08Г2СЦ [2], Св-10НМА, Св-10Г2	590 (6000)	240 (2450)
Э70	Св-10ХГ2СМА, Св-08ХН2ГМЮ (Св-08Г2С) [3]	685 (7000)	280 (2850)
Э85	—	835 (8500)	340 (3450)

[1] $R_{uf}=215$ МПа (2200 кгс/см²) только для швов $k_f \leqslant 8$ мм в конструкциях из стали с пределом текучести 305 МПа (3100 кгс/см²) и более (рекомендуется в дополнение к табл. 56 главы СНиП II-23-81).

[2] $R_{wf}=240$ МПа (2450 кгс/см²) только для швов $k_f \leqslant 8$ мм в конструкциях из стали с пределом текучести 440 МПа (4500 кгс/см²).

[3] $R_{wf}=280$ МПа (2850 кгс/см²) только для швов $k_f \leqslant 8$ мм в конструкциях из стали с пределом текучести 590 МПа (6000 кгс/см²) рекомендуется в дополнение к табл. 56 главы СНиП II-23-81.

Таблица 3. Расчетные сопротивления срезу (условному) металла границы сплавления сварных соединений с угловыми швами

R_{un}	R_{wz}	R_{un}	R_{wz}	R_{un}	R_{wz}
МПа (кгс/см²)		МПа (кгс/см²)		МПа (кгс/см²)	
345 (3500)	155 (1600)	430 (4400)	195 (2000)	500 (5100)	225 (2300)
355 (3600)	160 (1600)	440 (4500)	200 (2050)	510 (5200)	230 (2350)
365 (3700)	165 (1650)	450 (4600)	205 (2100)	520 (5300)	235 (2400)
370 (3800)	165 (1700)	460 (4700)	205 (2100)	540 (5500)	245 (2500)
380 (3900)	170 (1750)	470 (4800)	210 (2150)	570 (5800)	255 (2600)
390 (4000)	175 (1800)	480 (4900)	215 (2200)	590 (6000)	265 (2700)
410 (4200)	185 (1900)	490 (5000)	220 (2250)	685 (7000)	310 (3150)

Несущая способность соединений с угловыми швами

Таблица 1. Предельные усилия на сварные соединения с угловыми швами для конструкций во всех климатических районах, кроме I_1, I_2, II_2, II_3

Вид сварки, диаметр электрода, положение шва	Марка сварочной проволоки, тип электрода	R_{un} свариваемой стали, МПа	Предельные усилия, кН/см, на соединение при катете шва, мм								
			4	5	6	7	8	10	12	14	16
Полуавтоматическая, диаметр 1,4—2 мм; нижнее, горизонтальное, вертикальное	Св-08Г2С	345	6,5	8,1	9,8	11,4	13	15,5	18,6	21,1	24,1
		355	6,7	8,4	10	11,7	13,4	16	19,2	21,1	24,1
		365	6,9	8,6	10,3	12,1	13,8	16,4	19,7	21,1	24,1
		370	7	8,7	10,5	12,2	14	16,6	19,9	21,1	24,1
		380	7,2	9	10,8	12,6	14,4	17,1	20,5	21,1	24,1
		390	7,4	9,2	11,1	12,9	14,8	17,3	20,7	21,1	24,1
		Св. 400 до 570	7,7	9,7	11,6	13,6	15,5	17,3	20,7	21,1	24,1
Полуавтоматическая, диаметр проволоки сплошного сечения менее 1,4 мм; порошковой проволокой любого диаметра; во всех положениях	Св-08Г2С	Св. 340 до 570	6	7,5	9	10,5	12,1	15,1	18,1	21,1	24,1
	ПП-АН8, ПП-АН3	То же									
Ручная; во всех положениях	Э46, Э46А	Св. 340 до 390	5,5	6,9	8,3	9,7	11,1	13,9	16,6	19,4	22,2
	Э50, Э50А	Св. 340	6	7,5	9	10,5	12,1	15,1	18,1	21,1	24,1
	Э60	Св. 370	6,7	8,4	10,1	11,8	13,4	16,8	20,2	23,5	26,9

Автоматическая; диаметр 3—5 мм; в лодочку	Св-08, Св-08А, Св-08ГА	345	7,1	8,9	10,7	12,5	14,2	17,9	21,4	25,0	28,5
		355	7,3	9,2	11	12,9	14,6	18,4	22,1	25,7	29,4
		365	7,5	9,4	11,3	13,2	15	18,9	22,7	26,4	30,2
		370	7,6	9,5	11,5	13,4	15,3	19,1	23	26,8	30,6
		380	7,8	9,8	11,8	13,8	15,7	19,6	23,6	27,5	31,5
	Св-08ГА	390	8	10	12,1	14,1	16,1	20,2	24,1	28,2	32,3
		410	8,5	10,6	12,7	14,8	16,9	21,2	25,4	29,7	34
		Св. 420	8,7	10,9	13,1	15,2	17,4	21,8	26,1	30,5	34,8
	Св-10ГА	440	9,1	11,4	13,6	15,9	18,2	22,8	27,3	31,9	36,4
		450	9,3	11,6	14	16,3	18,6	23,3	27,9	32,6	37,2
		Св. 450	9,5	11,9	14,2	16,7	19	23,7	28,5	33,2	37,9
	Св-10НМА, Св-10Г2	470	9,7	12,1	14,6	17	19,4	24,3	29,1	34	38,8
		480	9,9	12,4	14,9	17,4	19,9	24,8	29,8	34,8	39,7
		490	10,1	12,7	15,2	17,7	20,3	25,3	30,4	35,5	40,6
		500	10,3	12,9	15,5	18,1	20,7	25,9	31,1	36,2	41,4
		Св. 500	10,6	13,2	15,8	18,5	21,1	26,4	31,7	37	42,2

Примечания к табл. 1 и 2. В таблицах указаны предельные усилия для наиболее опасного сечения, установленного с помощью табл. 2 настоящего Пособия. Усилия рассчитаны по формулам (120) и (121) главы СНиП II-23-81, в которых значения R_{wf}, R_{wz}, β_f, β_z приняты соответственно по табл. 3 и 34 главы СНиП II-23-81; в табл. 7 принято: $\gamma_{wf}=\gamma_{wz}=\gamma_c=1$; в табл. 8 принято: $\gamma_{wf}=0{,}85$ для металла шва с $R_{wun}=410$ МПа, $\gamma_{wz}=0{,}85$ для всех сталей, $\gamma_c=1$.

Таблица 2. Предельные усилия на сварные соединения с угловыми швами для конструкций в климатических районах I_1, I_2, II_2, II_3

Вид сварки, диаметр электрода, положение шва	Марка сварочной проволоки, тип электрода	R_{un} свариваемой стали, МПа	Предельные усилия, кН/см, на соединение при катете шва, мм								
			4	5	6	7	8	10	12	14	16
Полуавтоматическая; диаметр 1,4—2 мм; нижнее, горизонтальное, вертикальное	Св-08Г2С	345	5,5	6,9	8,3	9,7	11,1	13,2	15,8	18,5	21,1
		355	5,7	7,1	8,6	10	11,4	13,6	16,3	19	21,7
		365	5,9	7,3	8,8	10,3	11,7	13,9	16,7	19,5	22,3
		370	5,9	7,5	8,9	10,5	11,9	14,1	17	19,8	22,6
		380	6,1	7,7	9,2	10,7	12,2	14,5	17,4	20,3	23,6
		390	6,3	7,9	9,5	11	12,5	14,9	17,9	20,9	23,9
		410	6,6	8,2	9,9	11,5	13,2	15,7	18,8	21,1	24,1
		430	6,9	8,6	10,4	12,1	13,8	16,4	19,7	21,1	24,1
		440	7,1	8,8	10,5	12,3	14,1	16,8	20,2	21,1	24,1
		450	7,2	9	10,8	12,7	14,5	17,3	20,7	21,1	24,1
		460	7,4	9,3	11,1	12,9	14,8	17,3	20,7	21,1	24,1
		470	7,5	9,4	11,3	13,2	15,1	17,3	20,7	21,1	24,1
		480	7,7	9,6	11,6	13,5	15,4	17,3	20,7	21,1	24,1
		Св.480 до570	7,7	9,7	11,6	13,6	15,5	17,3	20,7	21,1	24,1
Полуавтоматическая; диаметр проволоки сплошного сечения менее 1,4 мм; порошковой проволокой любого диаметра; во всех положениях	Св-08Г2С, ПП-АН8, ПП-АН3	345	5,3	6,6	7,9	9,2	10,5	13,2	15,8	18,5	21,1
		355	5,4	6,8	8,1	9,5	10,9	13,6	16,3	19	21,7
		365	5,6	7	8,4	9,8	11,2	14	16,7	19,5	22,3
		370	5,7	7,1	8,5	9,9	11,3	14,1	17	19,8	22,6
		380	5,8	7,3	8,7	10,2	11,6	14,5	17,4	20,3	23,2
		390	6	7,5	9	10,4	12	14,9	17,9	20,9	23,9
		Св. 400 до570	6	7,5	9	10,5	12,1	15,1	18,1	21,1	24,1
Ручная; во всех положениях	Э46А	345	5,3	6,6	7,9	9,2	10,5	13,2	15,8	18,5	21,1
		355	5,4	6,8	8,1	9,5	10,9	13,6	16,3	19	21,7
		Св. 355	5,6	7	8,4	9,8	11,2	14	16,7	19,5	22,3
	Э50А	370	5,7	7,1	8,5	9,9	11,3	14,1	17	19,8	22,6

		380	5,8	7,3	8,7	10,2	11,6	14,5	17,4	20,3	23,2
		390	6	7,5	9	10,4	12	14,9	17,9	20,9	23,9
		Св. 400	6	7,5	9	10,5	12,1	15,1	18,1	21,1	24,1
	Э60	410	6,3	7,8	9,4	11	12,5	15,7	18,8	22	25,1
		430	6,6	8,2	9,9	11,5	13,2	16,4	19,7	23	26,3
		Св. 430	6,7	8,4	10,1	11,8	13,4	16,8	20,2	23,5	26,9
Автоматическая; диаметр 3—5 мм; в лодочку	Св-08А	345	6,1	7,6	9,1	10,6	12,1	15,2	18,2	21,2	24,3
		355	6,2	7,8	9,4	10,9	12,5	15,6	18,7	21,9	25
		365	6,4	8	9,6	11,2	12,8	16	19,3	22,5	25,7
		370	6,5	8,1	9,8	11,4	13	16,3	19,5	22,8	26
		380	6,7	8,3	10	11,7	13,4	16,7	20,1	23,4	26,7
		Св. 380	6,8	8,4	10,1	11,8	13,5	16,9	20,3	23,7	27
	Св-08ГА	390	6,9	8,6	10,3	12	13,7	17,2	20,5	24,1	27,5
		410	7,2	9	10,8	12,6	14,4	18	21,6	25,2	28,8
		430	7,6	9,5	11,3	13,2	15,1	18,9	22,7	26,5	30,3
		440	7,7	9,7	11,6	13,5	15,5	19,3	23,2	27,1	31
		450	7,9	9,9	11,9	13,9	15,8	19,8	23,8	27,7	31,7
		460	8,1	10,1	12,1	14,2	16,2	20,2	24,3	28,3	32,4
		470	8,3	10,3	12,4	14,5	16,5	20,7	24,8	28,9	33,1
		480	8,4	10,6	12,7	14,8	16,9	21,1	25,3	29,6	33,8
		490	8,6	10,8	12,9	15,1	17,2	21,5	25,9	30,2	34,5
		Св. 490	8,7	10,9	13,1	15,3	17,4	21,8	26,2	30,5	34,9
	Св-10НМА	510	9	11,2	13,5	15,7	17,9	22,4	26,9	31,4	35,9
		520	9,1	11,4	13,7	16	18,3	22,9	27,4	32	36,6
		530	9,3	11,6	14	16,3	18,6	23,3	28	32,6	37,3
		540	9,5	11,9	14,2	16,6	19	23,7	28,5	33,2	38
		570	10	12,5	15	17,5	20	25,1	30,1	35,1	40,1
		590	10,4	13	15,6	18,2	20,8	26	31,1	36,3	41,5

Примеры расчета сварных соединений

Пример 1. Расчет сварного соединения с угловыми швами на действие момента в плоскости, перпендикулярной плоскости расположения шва.

Консоль двутаврового профиля прикрепляется угловым швом путем обварки по периметру профиля. Размеры поперечного сечения показаны на рис. 14 прил. 3.

Изгибающий момент $M=75$ кН·м. Материал консоли — листовая сталь марки 15ХСНД ($R_{yn}=345$ МПа, $R_{un}=490$ МПа). Сварка выполняется полуавтоматом в углекислом газе проволокой диаметром 2 мм марки Св-08Г2С в нижнем положении ($R_{wf}=215$ МПа $\beta_f=0{,}9$). Коэффициенты условий работы $\gamma_{wf}=\gamma_c=1$.

Необходимо определить катет углового шва.

Решение. Сечение, по которому следует производить расчет сварного соединения для указанного сочетания стали, сварочной проволоки и способа сварки в соответствии с табл. 2 настоящего Пособия, — по металлу шва. Расчет должен выполняться по формуле (122) главы СНиП II-23-81:

$$M/W_f \leqslant R_{wf}\gamma_{wf}\gamma_c.$$

Момент сопротивления расчетного сечения периметра швов

$$W_f = I_f/y_{\max},$$

где момент инерции расчетного сечения

$$I_f \approx \beta_f\left[\frac{2h_w^3 k_f}{12} + 2b_f k_f\left(\frac{h+k_f}{2}\right)^2 + 2(b_f - t_w)k_f\left(\frac{h_w - k_f}{2}\right)^2\right];$$

$$y_{\max} = h/2 + k_f.$$

Для углового шва $k_f=10$ мм:

$$I_f = 0{,}9\{2\cdot 24^3\cdot 1/12 + 2\cdot 18\cdot 1\,[25{,}6+1)/2]^2 + $$
$$+ 2\,(18-0{,}6)\,1\,[(24-1)/2]^2\} = 11\,946 \text{ см}^4;$$

$y_{\max} = 25{,}6/2 + 1 = 13{,}8$ см; $W_f = 11946{,}9/13{,}8 = 866$ см³.

Напряжение в шве:

$$\tau_f = M/W_f = 75\cdot 10^3/866 = 86{,}6 \text{ МПа};$$
$$\tau_f/R_{wf} = 86{,}6/215 = 0{,}4.$$

Таким образом, при $k_f=10$ мм напряжение условного среза в соединении τ_f в 0,4 раза ниже расчетного сопротивления R_{wf}. Следовательно, катет углового шва в соединении должен быть принят $k_f=4$ мм.

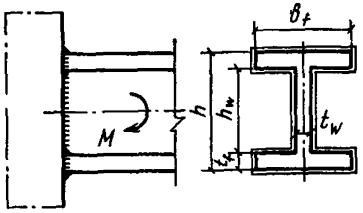


Рис. 14. К примеру расчета сварного соединения с угловыми швами на действие момента в плоскости, перпендикулярной плоскости расположения швов

b_f=18 см; t_f=0,8 см; t_w=0,6 см; h_w=24 см; h=25,6 см

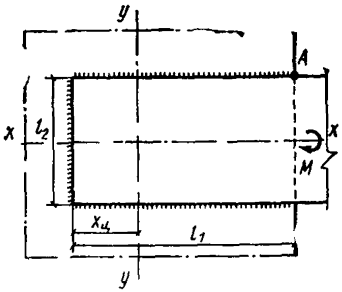


Рис. 15. К примеру расчета сварного соединения с угловыми швами на действие момента в плоскости расположения швов

l_1=30 см; l_2=20 см

Проверка прочности соединения при k_f=4 мм показывает правильность расчета:

$$I_f = 4764 \text{ см}^4; \quad y_{max} = 13{,}2 \text{ см}; \quad W_f = 361 \text{ см}^3;$$
$$\tau_f = M/W_f = 75 \cdot 10^3/361 = 208 < 215 \text{ МПа}.$$

Пример 2. Расчет сварного соединения с угловыми швами на действие момента в плоскости расположения швов.

Полоса прикрепляется двумя горизонтальными и одним вертикальным швом (рис. 15).

Изгибающий момент M=55 кН·м. Материал пластины — сталь марки ВСт3 (R_{un}=370 МПа). Сварка выполняется покрытыми электродами типа Э46 (R_{wf}=200 МПа, β_f=0,7). Коэффициенты условий работы $\gamma_{wf}=\gamma_c=1$. Необходимо определить катет углового шва.

Решение. Для указанного сочетания стали, электродов и способа сварки в соответствии с табл. 2 настоящего Пособия расчетным сечением является сечение по металлу шва, поэтому расчет должен выполняться по формуле (124) главы СНиП II-23-81:

$$M/(I_{fx} + I_{fy}) \sqrt{x^2 + y^2} \leqslant R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c.$$

Центр тяжести периметра швов определяется по формуле

$$x_ц = \left(l_1^2 - 0{,}5 l_2 k_f \right)/(2l_1 + l_2).$$

При k_f=10 мм $x_ц$=(900—0,5·20)/(60+20)=11 см.

Координаты точки A, наиболее удаленной от центра тяжести расчетного сечения швов, x=19 см, y=10 см.

Моменты инерции расчетного сечения соединения по **металлу шва относительно** его главных осей:

$$I_{fx} \approx \beta_f \{ l_2^3 k_f/12 + 2 l_1 k_f [(l_2 + k_f)/2]^2 \};$$

$$I_{fy} \approx \beta_f \left\{ 2 \left[\frac{l_1^3 k_f}{12} + l_1 k_f \left(\frac{l_1}{2} - x_{\text{ц}} \right)^2 \right] + l_2 k_f \left(x_{\text{ц}} + \frac{k_f}{2} \right)^2 \right\}.$$

Для углового шва $k_f = 10$ мм с учетом того, что расчетная **длина** шва принимается меньше его полной длины на 10 мм ($l_1 = 29$ см):

$$I_{fx} = 0{,}7 \{ 20^3 \cdot 1/12 + 2 \cdot 29 \cdot 1 [(20 + 1)/2]^2 \} = 4942 \text{ см}^4;$$

$$I_{fy} = 0{,}7 \{ 2 [29^3 \cdot 1/12 + 29 \cdot 1 (29/2 - 11)^2] + 20 \cdot 1 (11 + 1/2)^2 \} = 5194 \text{ см}^4;$$

Расстояние от центра тяжести периметра швов до точки A

$$\sqrt{x^2 + y^2} = \sqrt{11^2 + 10^2} = 21{,}5 \text{ см}.$$

Напряжения в соединении:

$$\tau_f = 55 \cdot 10^3 \cdot 21{,}5/(4942 + 5194) = 117 \text{ МПа}.$$

$$\tau_f / R_{wf} = 117/200 = 0{,}58.$$

Таким образом, при $k_f = 10$ мм напряжения в соединении τ_f составляют 0,58 от расчетного сопротивления (R_{wf}). Следовательно, катет шва в соединении должен быть принят $k_f = 5{,}8$ мм ≈ 6 мм.

Проверка прочности соединения при $k_f = 6$ мм показывает правильность расчета:

$$I_{fx} = 2864 \text{ см}^4; \quad I_{fy} = 3078 \text{ см}^4; \quad \sqrt{x^2 + y^2} = 21{,}5 \text{ см}.$$

$$\tau_f = 55 \cdot 10^3 \cdot 21{,}5/5942 = 199 < 200 \text{ МПа}.$$

Пример 3. Расчет сварного соединения с угловыми швами на **одновременное** действие продольной и поперечной сил.

Полоса прикрепляется двумя горизонтальными и одним вертикальным швом (рис. 16). Продольная сила $N = 100$ кН, поперечная сила $Q = 38$ кН. Материал пластины — сталь марки ВСт3 ($R_{un} = 370$ МПа). Сварка выполняется покрытыми электродами типа Э46 ($R_{wf} = 200$ МПа, $\beta_f = 0{,}7$). Коэффициенты условий работы $\gamma_{wf} = \gamma_c = 1$.

Необходимо определить катет углового шва.

Решение. Для указанного сочетания стали, электродов и способа сварки в соответствии с табл. 2 настоящего Пособия расчетным сечением является сечение по металлу шва. Поэтому расчет должен выполняться по формуле (126) главы СНиП II-23-81: $\tau_f \leqslant R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c$.

Принимаем $k_f = 10$ мм.

1. Определяем напряжение в соединении от продольной силы N

$\tau_N = N/A_w$,

где расчетная площадь шва $A_w = (2l_1 + l_2) k_f \beta_f$.

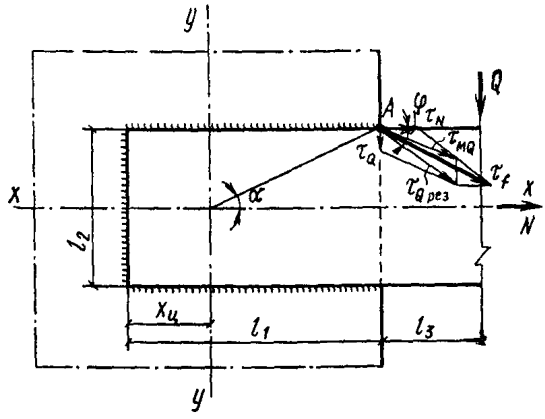


Рис. 16. К расчету сварного соединения с угловыми швами на одновременное действие продольной и поперечной сил
l_1=30 см; l_2=20 см; l_3=81 см

С учетом того, что расчетная длина шва принимается меньше его полной длины на 10 мм:

$$A_w = (2 \cdot 29 + 20)\, 1 \cdot 0{,}7 = 54{,}6 \text{ см}^2,$$

$$\tau_N = 100 \cdot 10/54{,}6 = 18{,}3 \text{ МПа}.$$

2. Определяем напряжение в соединении от поперечной силы Q.

Результирующее напряжение $\tau_{Q\,рез}$ является суммой векторов напряжения от силы Q, перенесенной в центр тяжести периметра швов τ_Q, и напряжения от момента τ_{MQ}:

$$\tau_Q = Q/A_w = 38 \cdot 10/54{,}6 = 7 \text{ МПа};$$

$$\tau_{MQ} = M/(I_{fx} + I_{fy}) \sqrt{x^2 + y^2}.$$

Центр тяжести периметра швов определяется по формуле

$$x_ц = \{ l_1^2 - 0{,}5 l_2 k_f)/(2l_1 + l_2) = (900 - 0{,}5 \cdot 20 \cdot 1)/(60 + 20) = 11 \text{ см}.$$

Координаты точки A, наиболее удаленной от центра тяжести расчетного сечения швов: x=19 см, y=10 см.

Моменты инерции расчетного сечения соединения по металлу шва относительно его главных осей:

$$I_{fx} \approx \beta_f \{ l_2^3 k_f/12 + 2 l_1 k_f [(l_2 + k_f)/2]^2 \} =$$

$$= 0{,}7 \{20^3 \cdot 1/12 + 2 \cdot 29 \cdot 1 [(20 + 1)/2]^2 \} = 4942 \text{ см}^4,$$

$$I_{fy} \approx \beta_f \{2 [l_1^3 k_f/12 + l_1 k_f (l_1/2 - x_ц)^2] + l_2 k_f (x_ц + k_f/2)^2 \} =$$

$$= 0{,}7 \{2 [29^3 \cdot 1/12 + 29 \cdot 1 (29/2 - 11)^2] + 20 \cdot 1 (11 + 1/2)^2 \} = 5194 \text{ см}^4.$$

Расстояние точки шва, наиболее **удаленной от центра тяжести** расчетного сечения соединения:

$$\sqrt{x^2+y^2}=\sqrt{19^2+10^2}=21{,}5 \text{ см}.$$

$$\tau_{MQ}=38\cdot1\cdot10^3/(4942+5194)\,21{,}5=80{,}6 \text{ МПа}.$$

Результирующее напряжение от действия поперечной **силы** Q:

$$\tau_{Q\text{рез}}=\sqrt{\tau_Q^2+\tau_{MQ}^2+2\tau_Q\tau_{MQ}\cos\alpha},$$

где α — угол, определяемый размерами соединения (см. **рис. 16**);

$$\tau_{Q\text{рез}}=\sqrt{7^2+80{,}6^2+2\cdot7\cdot80{,}6\cdot0{,}89}=86{,}9 \text{ МПа}.$$

3 Определяем угол между векторами $\vec{\tau}_N$ и $\vec{\tau}_{Q\text{ рез}}$.

Угол φ определяют, пользуясь координатным методом **на плоскости** и свойством скалярного произведения двух векторов:

$$\cos\varphi=\vec{a}\vec{b}/(|\vec{a}|\cdot|\vec{b}|),$$

где $\vec{a}$ и $\vec{b}$ — векторы; $|\vec{a}|$ и $|\vec{b}|$ — длины векторов.

Поскольку скалярное произведение двух векторов равно сумме произведений соответствующих координат этих векторов $\vec{a}\cdot\vec{b}=x_1x_2+y_1y_2$ и длина вектора равна

$$|\vec{a}|=\sqrt{x_1^2+y_1^2};\quad |\vec{b}|=\sqrt{x_2^2+y_2^2},$$

$$\cos\varphi=(x_1x_2+y_1y_2)/\left(\sqrt{x_1^2+y_1^2}\sqrt{x_2^2+y_2^2}\right).$$

В рассматриваемом примере координаты вектора $\vec{\tau}_N$: $x_1=\tau_N$, $y_1=0$; координаты вектора $\vec{\tau}_{Q\text{ рез}}$: $x_2=\tau_{yQ}\sin\alpha$, $y_2=\tau_{y\,Q}\cos\alpha+\tau_Q$:

$$\cos\varphi=\tau_{MQ}\sin\alpha/\sqrt{(\tau_{MQ}\sin\alpha)^2+(\tau_{MQ}\cos\alpha+\tau_Q)^2}=$$

$$=80{,}6\cdot0{,}46/\sqrt{(80{,}6\cdot0{,}46)^2+(80{,}6\cdot0{,}89+7{,}3)^2}=0{,}43.$$

4. Определяем суммарное напряжение в соединении

$$\tau_f=\sqrt{\tau_N^2+\tau_{Q\text{рез}}^2+2\tau_N\tau_{Q\text{рез}}\cos\varphi}=$$

$$=\sqrt{18{,}3^2+86{,}9^2+2\cdot18{,}3\cdot86{,}9\cdot0{,}43}=96{,}2 \text{ МПа}.$$

$$\tau_f/R_{wf}=96{,}2/200=0{,}48.$$

Таким образом, при $k_f=10$ мм суммарное напряжение в 0,48 раза меньше расчетного сопротивления. Следовательно, катет шва в соединении следует принять $k_f=5$ мм.

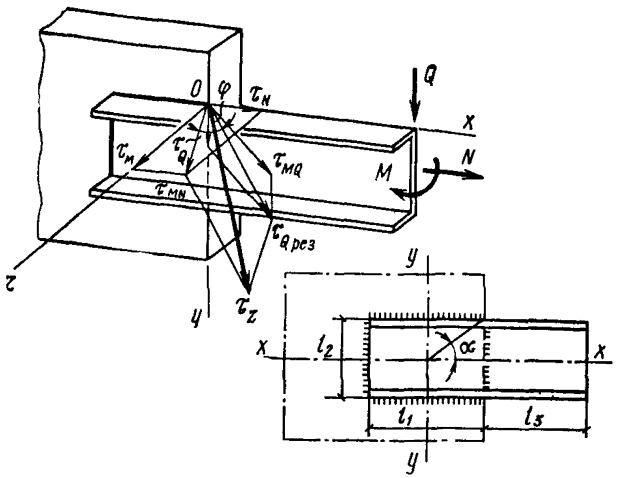


Рис. 17. К расчету сварного соединения с угловыми швами на одновременное действие продольной и поперечной сил и момента
l_1=20 см; l_2=16 см; l_3=90 см

Проверка прочности соединения при k_f=5 мм показывает правильность расчета:

$$A_w = 27{,}3 \text{ см}^2; \quad \tau_N = 100 \cdot 10/27{,}3 = 36{,}6 \text{ МПа};$$

$$\tau_Q = 38 \cdot 10/27{,}3 = 13{,}9 \text{ МПа}; \quad I_{fx} = 2366 \text{ см}^4; \quad I_{fy} = 2557 \text{ см}^4;$$

$$\tau_{MQ} = 38 \cdot 10^3 \cdot 21{,}5/4923 = 166 \text{ МПа};$$

$$\tau_{Q\,рез} = \sqrt{13{,}9^2 + 166^2 + 2 \cdot 13{,}9 \cdot 166 \cdot 0{,}89} = 179 \text{ МПа}; \cos\varphi = 0{,}43;$$

$$\tau_f = \sqrt{36{,}6^2 + 179^2 + 2 \cdot 36{,}6 \cdot 179 \cdot 0{,}43} = 198 \text{ МПа} < 200 \text{ МПа}.$$

Пример 4. Расчет сварного соединения с угловыми швами на одновременное действие продольной и поперечной сил и момента.

Консоль, подвергающаяся действию продольной и поперечной сил и момента, прикрепляется угловым швом по периметру соприкасающихся поверхностей (рис. 17).

Продольная сила N=195 кН, поперечная сила Q=30 кН, изгибающий момент M=24,5 кН·м. Материал консоли — сталь марки 18пс. (R_{un}=370 МПа), R_{wz}=165 МПа. Сварка выполняется полуавтоматом в углекислом газе проволокой диаметром 2 мм марки Св-08Г2С в нижнем положении (R_{wf}=215 МПа; β_f=0,9; β_z=1,05). Коэффициенты условий работы $\gamma_{wz}=\gamma_c=1$.

Необходимо определить катет углового шва.

Решение. Сечение, по которому следует производить расчет сварного соединения для указанного сочетания стали, сварочной проволоки и способа сварки в соответствии с табл. 2 настоящего Пособия,— по металлу границы сплавления. Поэтому расчет должен выполняться по формуле (126) главы СНиП II-23-81:

Принимаем $k_f = 10$ мм.

1. Определяем напряжение в соединении от продольной силы N:

$$\tau_N = N/A_w,$$

где расчетная площадь шва $A_w = 2(l_1 + l_2)k_f\beta_z$.

С учетом того, что расчетная длина шва принимается меньше его полной длины на 10 мм ($l_1 = 19{,}5$ см, $l_2 = 15{,}5$ см):

$$A_w = 2(19{,}5 + 15{,}5)\cdot 1\cdot 1{,}05 = 73{,}5 \text{ см}^2.$$

$$\tau_N = 195\cdot 10/73{,}5 = 26{,}5 \text{ МПа}.$$

2. Определяем напряжение в соединении от поперечной силы Q.

Результирующее напряжение $\tau_{Q\,рез}$ является суммой векторов напряжения от силы Q, перенесенной в центр тяжести периметра швов (τ_Q), и напряжения от момента ($\tau_{мQ}$):

$$\tau_Q = Q/A_w = 30\cdot 10/73{,}5 = 4{,}1 \text{ МПа};$$

$$\tau_{мQ} = M\sqrt{x^2 + y^2}/(I_{zx} + I_{zy}).$$

Моменты инерции расчетного сечения соединения по металлу границы сплавления относительно его главных осей:

$$I_{zx} \approx \beta_z\left\{2l_2^3 k_f/12 + 2l_1 k_f\left[(l_2 + k_f)/2\right]^2\right\} = 1{,}05\left\{2\cdot 15{,}5^3\cdot 1/12 + \right.$$
$$\left. + 2\cdot 19{,}5\cdot 1\left[(15{,}5 + 1)/2\right]^2\right\} = 3439 \text{ см}^4;$$

$$I_{zy} \approx \beta_z\left\{2l_1^3 k_f/12 + 2l_2 k_f\left[(l_1 + k_f)/2\right]^2\right\} =$$
$$= 1{,}05\left\{2\cdot 19{,}5^3\cdot 1/12 + 2\cdot 15{,}5\cdot 1\left[(19{,}5 + 1)/2\right]^2\right\} = 4717 \text{ см}^4.$$

Расстояние точки шва, наиболее удаленной от центра тяжести расчетного сечения соединения:

$$\sqrt{x^2 + y^2} = \sqrt{10^2 + 8^2} = 12{,}8 \text{ см}.$$

$$\tau_{мQ} = 30\cdot 10^3\cdot 12{,}8/8156 = 47 \text{ МПа}.$$

Результирующее напряжение от действия поперечной силы в плоскости *xoy*:

$$\tau_{Q\,рез} = \sqrt{\tau_Q^2 + \tau_{мQ}^2 + 2\tau_Q\,\tau_{мQ}\cos\alpha},$$

где α — угол, определяемый размерами соединения (см. рис. 17),

$$\tau_{Q\,рез} = \sqrt{4{,}1^2 + 47^2 + 2\cdot 4{,}1\cdot 47\cdot 0{,}78} = 50{,}3 \text{ МПа}.$$

3. Определение напряжения в соединении от момента M:

$$\tau_м = My_{max}/I_{zy};$$

$$y_{max} = l_1/2 + k_f = 20/2 + 1 = 11 \text{ см};$$

$$\tau_м = 24{,}5 \cdot 10^3 \cdot 11/4717 = 57 \text{ МПа}.$$

4. Результирующее напряжение от действия продольной силы N и момента M в плоскости xoz:

$$\tau_{мN} = \sqrt{\tau_м^2 + \tau_N^2} = \sqrt{57^2 + 26{,}5^2} = 62{,}8 \text{ МПа}.$$

5. Определение угла между векторами $\vec{\tau}_{мN}$ и $\vec{\tau}_{Q\,рез}$.

Угол φ определяют, пользуясь координатным методом в пространстве и свойством скалярного произведения двух векторов:

$$\cos\varphi = \vec{a}\vec{b}/(|\vec{a}| \cdot |\vec{b}|),$$

где $\vec{a}$ и $\vec{b}$ — вектора; $|\vec{a}|$ и $|\vec{b}|$ — длины векторов.

Поскольку скалярное произведение двух векторов равно сумме произведений соответствующих координат этих векторов $\vec{a} \cdot \vec{b} = x_1x_2 + y_1y_2 + z_1z_2$ и длина вектора равна корню квадратному из суммы квадратов его координат $|\vec{a}| = \sqrt{x_1^2 + y_1^2 + z_1^2}$,

$$\cos\varphi = (x_1x_2 + y_1y_2 + z_1z_2)/\left(\sqrt{x_1^2 + y_1^2 + z_1^2}\sqrt{x_2^2 + y_2^2 + z_2^2}\right).$$

В рассматриваемом примере координаты вектора $\vec{\tau}_{мN}$:

$$x_1 = \tau_N; \quad y_1 = 0; \quad z_1 = \tau_м;$$

координаты вектора $\vec{\tau}_{Q\,рез}$:

$$x_2 = \tau_{мQ}\sin\alpha; \quad y_2 = \tau_{мQ}\cos\alpha + \tau_Q; \quad z_2 = 0;$$

$$\cos\varphi = \tau_N\tau_{мQ}\sin\alpha/\left[\tau_{мQ}\sqrt{(\tau_{мQ}\sin\alpha)^2 + (\tau_{мQ}\cos\alpha + \tau_Q)^2}\right] =$$

$$= 26{,}5 \cdot 47 \cdot 0{,}625/\left[62{,}8\sqrt{(47 \cdot 0{,}625)^2 + (47 \cdot 0{,}78 + 4{,}1)^2}\right] = 0{,}25.$$

6. Определяем суммарное напряжение в соединении

$$\tau_z = \sqrt{\tau_{мN}^2 + \tau_{Q\,рез}^2 + 2\tau_{мN}\tau_{Q\,рез}\cos\varphi} =$$

$$= \sqrt{62{,}8^2 + 50{,}3^2 + 2 \cdot 62{,}8 \cdot 50{,}3 \cdot 0{,}25} = 89{,}7 \text{ МПа},$$

$$\tau_z/R_{wz} = 89{,}7/165 = 0{,}54.$$

Таким образом, при $k_f = 10$ мм суммарное напряжение в 0,54 раза меньше расчетного сопротивления. Следовательно, катет шва в соединении следует принять $k_f = 6$ мм.

7. Проверяем прочность соединения при $k_f=6$ мм:

$$A_w = 2\,(19{,}5 + 15{,}5)\,0{,}6 \cdot 1{,}05 = 44{,}1 \text{ см}^2;$$

$$\tau_N = 195 \cdot 10/44{,}1 = 44{,}2 \text{ МПа};$$

$$\tau_Q = 30 \cdot 10/44{,}1 = 6{,}8 \text{ МПа};$$

$$I_{zx} = 1983 \text{ см}^4; \quad I_{zy} = 2754 \text{ см}^4;$$

$$\tau_{MQ} = 30 \cdot 10^3 \cdot 12{,}8/4737 = 81 \text{ МПа};$$

$$\tau_{Q\text{res}} = \sqrt{6{,}8^2 + 81^2 + 2 \cdot 6{,}8 \cdot 81 \cdot 0{,}78} = 86{,}4 \text{ МПа};$$

$$\tau_M = 24{,}5 \cdot 10^3 \cdot 10{,}3/2754 = 92 \text{ МПа};$$

$$\tau_{MN} = \sqrt{92^2 + 44{,}2^2} = 102 \text{ МПа};$$

$$\cos\varphi = 44{,}2 \cdot 81 \cdot 0{,}625 / \left[102\sqrt{(81 \cdot 0{,}625)^2 + (81 \cdot 0{,}78 + 6{,}8)^2}\right] = 0{,}25;$$

$$\tau_z = \sqrt{102^2 + 86{,}4^2 + 2 \cdot 102 \cdot 86{,}4 \cdot 0{,}25} = 149 < 165 \text{ МПа}.$$

Пример 5. Расчет сварного таврового соединения с разделкой кромок и неполным проваром прикрепляемого элемента на действие растягивающей силы.

Элемент толщиной $t_m=30$ мм и длиной $l=500$ мм, на которой действует сила $N=2300$ кН, прикрепляется угловыми швами с разделкой кромок (рис. 1 настоящего Пособия). Материал элемента — сталь марки 18Гсп ($R_{wz}=175$ МПа). Коэффициенты условий работы $\gamma_{wf}=\gamma_{wz}=1$; $\gamma_c=0{,}95$.

Необходимо выбрать тип электрода для ручной сварки, обеспечивающей требуемую несущую способность соединения.

Расчет соединения производится по формуле (5), в которой расчетная длина шва $l_w=500-30=470$ мм, глубина разделки кромок $h=10$ мм (соединение типа Т9 по ГОСТ 5264—80),

$$R_{wf} \geqslant N/(2{,}6 h l_w \gamma_c) = 2300 \cdot 10/(2{,}6 \cdot 1 \cdot 47 \cdot 0{,}95) = 198 \text{ МПа}.$$

По табл. 5 приложения выбираем $R_{wf}=200$ МПа, соответствующее электродам типа Э46 и Э46А.

Производим проверку прочности по металлу границы сплавления по формуле (6) $2300 \cdot 10/2{,}8 \cdot 1 \cdot 47 \cdot 0{,}95 = 184$ МПа.

Таким образом, применение электродов типа Э46 и Э46А обеспечивает необходимую несущую способность данного соединения.

Пример 6. Расчет сварного таврового соединения по основному металлу в сечении, перпендикулярном направлению растягивающей силы.

Элемент А длиной $l=200$ мм, на который действует сила $N=1200$ кН, прикрепляется швом с односторонней разделкой кромки к элементу Б (рис. 2*г* настоящего Пособия). Оба элемента выполнены из листового проката стали марки 10ХСНД толщиной 20 мм

(R_y=355 МПа, R_u=480 МПа). *Коэффициент условий работы* γ_c=1. Необходимо рассчитать соединение по сечению *3—3*.

Расчет соединения производится по формуле (10), в которой длина шва l_w=l=200 мм:

$$R_{th} = 0{,}5 \cdot 480 = 240 \text{ МПа};$$

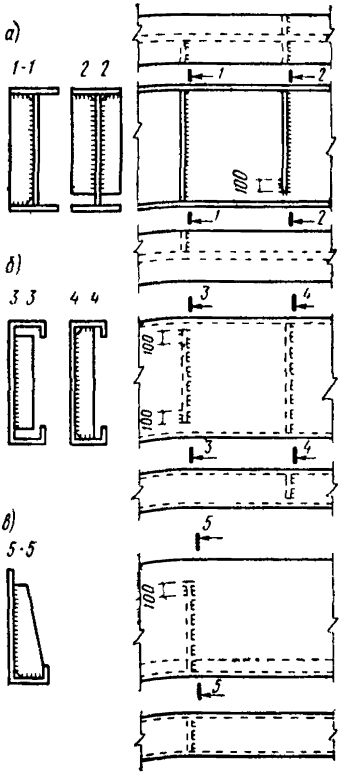
$$N/(1{,}15 t l_w) = 1200 \cdot 10/(1{,}15 \cdot 2 \cdot 20) = 260 > 240 \text{ МПа}.$$

Таким образом, необходимо увеличить толщину t элемента *А* или длину шва l_w. Увеличение необходимо произвести пропорционально соотношению между расчетными сопротивлениями соединяемых элементов следующим образом:

$$t^{\text{А}} = 1{,}74 t R_y^{\text{А}}/R_u^{\text{Б}} \text{ или } l_w^{\text{А}} = 1{,}74 l_w R_y^{\text{А}}/R_u^{\text{Б}},$$

где $t^{\text{А}}$ ($l_w^{\text{А}}$) — толщина (длина) элемента А, выбираемая из условия обеспечения прочности элемента Б по сечению *3—3*.

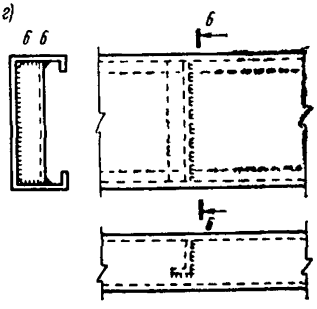
$$t^{A} = 1{,}74 \cdot 20 \cdot 355/480 = 26 \text{ мм}.$$



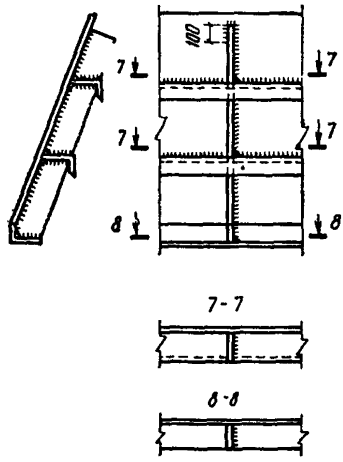
ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Примеры применения односторонних угловых швов в стальных конструкциях

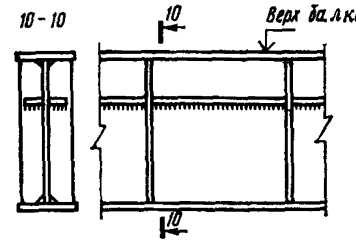
1. Поперечные ребра и диафрагмы



2. Ребра в бункерах



3. Продольные ребра в балках



ПРИЛОЖЕНИЕ 5

Основные буквенные обозначения

M — момент, изгибающий момент;

N — продольная сила;

I_{fx}, I_{fy} — момент инерции расчетного сечения по металлу шва относительно его главных осей;

I_{zx}, I_{zy} — моменты инерции расчетного сечения по металлу границы сплавления относительно его главных осей;

R_u — расчетное сопротивление стали растяжению, сжатию, изгибу по временному сопротивлению;

R_{un} — временное сопротивление стали разрыву, принимаемое равным минимальному значению $\sigma_в$ по государственным стандартам и техническим условиям на сталь;

R_{wf} — расчетное сопротивление угловых швов срезу (условному) по металлу шва;

R_{wu} — расчетное сопротивление стыкового сварного соединения сжатию, растяжению, изгибу по временному сопротивлению;

R_{wun} — нормативное сопротивление металла шва по временному сопротивлению;

R_{ws} — расчетное сопротивление стыковых сварных соединений сдвигу;

R_{wy} — расчетное сопротивление стыковых сварных соединений сжатию, растяжению и изгибу по пределу текучести;

R_{wz} — расчетное сопротивление угловых швов срезу (условному) по металлу границы сплавления;

R_y — расчетное сопротивление стали растяжению, сжатию, изгибу по пределу текучести;

R_{yn} — предел текучести стали, принимаемый равным значению предела текучести ($\sigma_т$) по государственным стандартам и техническим условиям на сталь;

w_f, w_z — моменты сопротивления расчетных сечений соответственно по металлу шва и по металлу границы сплавления;

k_f — катет углового шва;

l_w — длина сварного шва;

t — толщина;

β_f, β_z — коэффициенты для расчета углового шва соответственно по металлу и по металлу границы сплавления;

γ_c — коэффициент условий работы;

γ_m — коэффициент надежности по материалу;

γ_u — коэффициент надежности в расчетах по временному сопротивлению;

γ_{wf}, γ_{wz} — коэффициенты условий работы соответственно металла шва и металла границы сплавления;

γ_{wm} — коэффициент надежности по материалу шва;

γ_{zm} — коэффициент надежности по материалу границы сплавления.

gost.e-ecolog.ru