

КУРС ЛЕКЦИЙ-ПРЕЗЕНТАЦИЙ

по дисциплине

«Проектирование сварных конструкций»

лекция №5

ПРЕПОДАВАТЕЛЬ:

к.т.н., ст. преп. кафедры «ОиТСП»

БЕНДИК Татьяна Ивановна

СОДЕРЖАНИЕ ЛЕКЦИИ

Тема 3. Конструирование и расчет сварных соединений при действии статических нагрузок.

- Основные принципы расчета сварных соединений: по допускаемым напряжениям и предельным состояниям.
- Нормы предельных сопротивлений и допускаемых напряжений. Коэффициенты безопасности.
- Особенности расчета и конструирования стыковых соединений при дуговой сварке.
- Расчет соединений с угловыми швами при дуговой сварке.

Методы метода расчёта сварных соединений на прочность

по предельному состоянию
(в строительных конструкциях
СНиП II-23 – 81)

по допускаемым напряжениям
(в машиностроении)

ПРЕДЕЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ – состояние конструкции, при котором она перестает удовлетворять заданным эксплуатационным требованиям при изготовлении.

Предельные состояния подразделяют на 2 группы. К *первой группе*, соответствующей потере несущей способности или непригодности к эксплуатации, относятся: общая потеря устойчивости формы; потеря устойчивости положения; хрупкое, вязкое, усталостное или иного характера разрушение; разрушение под совместным действием силовых факторов и неблагоприятных влияний внешней среды; качественное изменение конфигурации; резонансные колебания; состояния, при которых возникает необходимость прекращения эксплуатации в результате текучести материала, сдвигов в соединениях, ползучести и чрезмерного раскрытия трещин.

К *второй группе* относятся предельные состояния, затрудняющие нормальную эксплуатацию конструкций или снижающие их долговечность вследствие появления недопустимых перемещений (прогибов, осадок, углов поворота), колебаний, трещин.

ДОПУСКАЕМЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ

устанавливаются в зависимости от следующих факторов:

- свойства материалов (при улучшении механических свойств допускаемые напряжения повышаются);
- степень точности расчета на прочность (чем точнее производится расчет на прочность и полнее учитываются нагрузки, действующие на конструкцию, тем меньше принимаемый коэффициент запаса прочности и, следовательно, выше допускаемое напряжение);
- род усилий (растяжение, сжатие, изгиб, срез);
- качество технологического процесса (особое значение при установлении допускаемых напряжений в сварных соединениях);
- характер нагрузок (при переменных нагрузках допускаемые напряжения понижаются по сравнению со статическими).

В **строительных организациях** в основу расчета по методу предельного состояния положены **НОРМАТИВНЫЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ (R)**, значения которых определяются отношением предела текучести материала (σ_m) к коэффициенту надежности материала (κ_H):

$$R = \frac{\sigma_T}{K_H}$$

При расчете по этому методу находится величина допускаемых усилий в элементах. Допускаемые усилия находятся с учетом **КОЭФФИЦИЕНТА НАДЕЖНОСТИ МАТЕРИАЛА (K_H)** и **КОЭФФИЦИЕНТА УСЛОВИЙ РАБОТЫ (m)**, учитывающего специфический характер работы конкретных объектов.

Коэффициенты κ_H и m определяют для строительных сооружений на основе всестороннего изучения работы конструкции.

Допускаемые усилия для элемента при продольной силе определяют по формуле $N_{дон} \leq \frac{R \cdot m \cdot Aw}{\kappa_H}$
 где Aw – площадь поперечного сечения.

Расчетное усилие должно быть меньше или равно $N_{доп}$.

Допускаемый момент при изгибе определяется по формуле $M_{дон} = \frac{R \cdot m \cdot W}{\kappa_H}$
 где W – момент сопротивления сечения.

$$\frac{R \cdot m}{\kappa_H}$$

Величина $\frac{R \cdot m}{\kappa_H}$ представляет собой, по существу, допускаемое напряжение. Коэффициенты κ_H , m могут быть различными как для разных изделий, так и для элементов одной конструкции. Таким образом, по этому способу для разных конструкций расчет производится по различным допускаемым напряжениям.

Коэффициенты условий работы некоторых элементов, согласно СНиПу, имеют следующие значения: для балок и сжатых элементов ферм, перекрытий $m = 0,9$; для сжатых основных элементов (кроме опорных) решетчатых ферм при их гибкости $\lambda \geq 60$, $m = 0,8$; для сжатых раскосов пространственных решетчатых конструкций из одиночных уголков, прикрепляемых к поясам одной полкой, $m = 0,9$; для сжатых элементов из одиночных уголков плоских ферм $m = 0,75$; для колонн жилых и общественных зданий, а также в подкрановых балках для кранов грузоподъемностью $G > 5$ т $m = 0,9$. Ниже, в табл. 2.1, даны значения расчетных сопротивлений R прокатной стали.

Таблица 2.1

Расчетные сопротивления сталей строительных конструкций, МПа

Род усилия	Классы стали						
	С 38/23	С 44/29	С 46/33	С 52/40	С 60/45	С 70/60	С 85/75
Растяжение, сжатие и изгиб, R	210	260	290	340	380	440	530
Срез, $R_{ср}$	130	150	170	200	230	260	310
Смятие торцевой поверхности (при наличии пригонки), $R_{см.т}$	320	390	430	510	570	650	800

В табл. 2.2 приводятся расчетные сопротивления для сварных соединений.

Расчетные сопротивления R основного металла различных алюминиевых сплавов, применяемых в строительстве, при сжатии, растяжении, изгибе имеют следующие значения, МПа:

АМц	40	АВТ1 (с термообработкой)	160—175
АМг	60—70	В92Т (с термообработкой)	190—260
АМг6	140		

**Расчетные сопротивления сварных соединений
в строительных конструкциях, МПа**

Тип шва	Род усилия	Классы стали						
		С 38/23	С 44/29	С 46/33	С 52/40	С 60/45	С 70/60	С 85/75
Стыковой	Сжатие, $R_c^{св}$	210	260	290	340	380	440	530
	Растяжение автоматическая сварка, полуавтоматическая и ручная с физическим контролем качества, $R_p^{св}$	210	260	290	340	380	440	530
	полуавтоматическая и ручная сварка, $R_p^{св}$	180	220	250	—	—	—	—
	Срез, $R_{ср}^{св}$	130	150	170	200	230	260	310
Угловой	Срез (условный) металл шва, $R_{уш}^{св*}$	180	200	200	210	240	280	340
	металл границы сплавления, $R_{ус}^{св*}$	180	200	210	230	270	300	360

Расчетные сопротивления для швов алюминиевых конструкций приведены в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Расчетные сопротивления R , МПа, швов алюминиевых сплавов

Тип шва	Род усилий	АМц	АМг	АМг6	АВТ1	В92Т
Стыковой	Сжатие и растяжение	40	70	140	110/90	170/150
Стыковой	Срез	30	50	105	70	120
Угловой	»	25	45	80	50	90

Примечание. Цифры, указанные в числителе, относятся к сварке плавящимся электродом, в знаменателе — вольфрамовым.

Расчетные сопротивления сварных швов

Сварное соединение	Род усилий	Условное обозначе- ние	Расчетные сопротивления, $кг/мм^2$		
			Марки свариваемых сталей		
			Ст. 3	14Г2 15ХСНД	10ХСНД
Встык То же	Сжатие	$R_c^{св}$	21	29	34
	Растяжение при: сварке автоматиче- ской полуавтоматиче- ской ручной с повышенным спо- собом контроля * сварке полуавто- матической и руч- ной с обычным контролем	$R_p^{св}$	21	29	34
» Угловое	Срез	$R_{св}'$	13	17	20
	Сжатие, растяжение, срез	$R_y^{св}$	15	20	24

*К повышенным способам контроля относятся: просвечивание гамма-лучами, контроль ультразвуком и т. п.

Т.о. при расчете по **ПЕРВОМУ** предельному состоянию $\sigma = \frac{\sum N_i \cdot n_i}{F} \leq R \cdot m$

$$\text{где } \sum N_i \cdot n_i = N_{\text{ветровая}} \cdot n_B + N_{\text{снеговая}} \cdot n_c + \dots$$

нормативная нагрузка, умноженная на коэффициент перегрузки

При расчете по **ВТОРОМУ** предельному состоянию рассматриваются перемещения и деформации

$$\frac{f}{l} \leq \left[\frac{f}{l} \right]$$

Допускаемые напряжения при **РАСТЯЖЕНИИ** $[\sigma]_p$ обычно понимают как *основные*. Допускаемые напряжения при других видах усилий определяются как производные от $[\sigma]_p$.

При **сжатии коротких элементов**, в которых продольный изгиб не может иметь места, допускаемые напряжения равны:

$$[\sigma]_p = [\sigma]_{сж}$$

При **сжатии длинных элементов** $[\sigma]_p = [\sigma]_{сж} \cdot \varphi$

где φ – коэффициент продольного изгиба, зависящий от гибкости сжатого элемента (в первом приближении φ принимают 0,5-0,7).

$$[\sigma]_p = [\sigma]_{изг}$$

Для стальных конструкций, работающих **на изгиб**, имеем

При **срезе** допускаемые напряжения на основании теории прочности, определяются из соотношения

$$[\tau] = (0,5 - 0,6)[\sigma]_p$$

При статических нагрузках, как правило, допускаемые напряжения назначаются в зависимости от предела текучести σ_m и определяются соотношением

$$[\sigma]_p = \frac{\sigma_m}{k_1}$$

где $k_1 = 1,3 - 1,5$ – коэффициент запаса прочности.

В зависимости от предела прочности допускаемые напряжения назначаются по зависимости

$$[\sigma]_p = \frac{\sigma_v}{k_2} \quad \text{где } k_2 = 2 - 2,4 \text{ – коэффициент запаса прочности.}$$

При работе под переменными нагрузками допускаемые напряжения определяются по зависимости

$$[\sigma]_p^* = [\sigma]_p \cdot \eta \quad \text{где } \eta \leq 1 \quad \text{коэффициент понижения допускаемых напряжений при переменных нагрузках по сравнению со статическим нагружением.}$$

Допускаемые **напряжения в швах** машиностроительных конструкций устанавливаются в зависимости от допускаемых напряжений основного металла. Это положение позволяет проектировать сварные соединения, равнопрочные основному металлу, не производя определения величины усилий, действующих на них, кроме того, нет необходимости учитывать переменные величины, влияющие на выбор коэффициентов запаса прочности конструкции.

Сварные соединения сталей, выполненные дуговой сваркой, по определению допускаемых напряжений делятся на две группы.

К **первой группе** относятся швы низкоуглеродистых сталей обычного качества и низколегированных, у которых механические свойства швов и зоны термического влияния соответствуют свойствам основного металла. Рекомендуемые допускаемые усилия для швов этой группы (табл. 4.1).

Ко **второй группе** относятся швы сталей со специальными свойствами (высокопрочные, коррозионно-стойкие), у которых свойства швов или металла околошовной зоны ниже свойств основного металла. Для швов этой группы сталей допускаемые напряжения назначаются на основе специально проведенных экспериментов в условиях, соответствующих работе проектируемой сварной конструкции.

Таблица 1. Допускаемые напряжения для сварных соединений деталей из низко- и среднеуглеродистых сталей при статической нагрузке

Вид деформации, напряжение	Автоматическая и полуавтоматическая сварка под флюсом	Ручная дуговая электродами	
		Э50А, Э42А	Э50, Э42
Растяжение $[\sigma]_p$	$[\sigma]_p$	$[\sigma]_p$	$0,9[\sigma]_p$
Сжатие $[\sigma]_{сж}$	$[\sigma]_p$	$[\sigma]_p$	$[\sigma]_p$
Срез $[\tau]_{ср}$	$0,65[\sigma]_p$	$0,65[\sigma]_p$	$0,6[\sigma]_p$

Род усилия	Тип шва	Процесс сварки	Допускаемое напряжение
Растяжение, сжатие	Стыковой	Дуговая, автоматическая и механизированная под флюсом, в CO_2	$[\sigma]_p$
		Дуговая электродами Э42А, Э46А, Э50А	$[\sigma]_p$
		Контактная, диффузионная	$[\sigma]_p$
		Электроннолучевая	$[\sigma]_p$
Срез	Угловой	Дуговая, автоматическая и механизированная под флюсом, в CO_2	$0,8[\sigma]_p$
	Стыковой	Дуговая, автоматическая и механизированная под флюсом, в CO_2	$0,65[\sigma]_p$

При сварке низкоуглеродистой стали марки Ст. 3, для которой допускаемое напряжение $[\sigma]_p = 160$ МПа, допускаемые напряжения в швах, выполненных автоматической сваркой и электродами Э42А, будут следующие: $[\sigma']_p = 160$ МПа; $[\sigma']_{сж} = 160$ МПа; $[\tau'] = 100$ МПа. При сварке электродами Э42 — $[\sigma]_p = 144$ МПа; $[\sigma']_{сж} = 160$ МПа; $[\tau'] = 96$ МПа где $[\tau']$ — допускаемое напряжение в шве при срезе.

Для соединений, выполненных точечной и шовной контактной сваркой, допускаемые напряжения среза для низкоуглеродистых и некоторых низколегированных сталей могут составлять:

$0,4[\sigma]_p$ при испытании на срез

$0,3[\sigma]_p$ при испытании на отрыв.

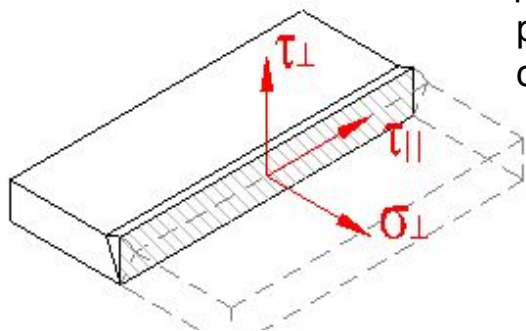
Для швов второй группы сталей допускаемые напряжения назначаются на основе специально проведенных экспериментов в условиях, соответствующих работе проектируемой сварной конструкции, видам соединений и т. д.

Аналогичным образом допускаемые напряжения назначаются на основе специальных экспериментов для соединения сталей первой группы при холодной сварке, сварке трением, ультразвуком и другими специальными методами.

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА И КОНСТРУИРОВАНИЯ СТЫКОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ ДУГОВОЙ СВАРКЕ.

Для сварных швов, нагруженных комбинированной нагрузкой, результирующие эквивалентные напряжения в шве определяются следующим соотношением:

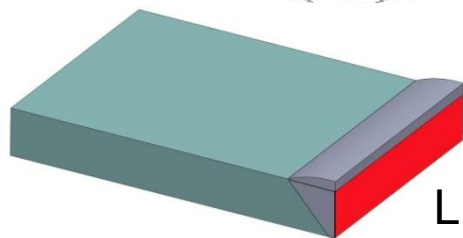
$$S_w = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \quad [MPa, psi]$$



σ_{\perp} - нормальное напряжение, действующее в критической площади поперечного сечения

τ_{\perp} — касательное напряжение, действующее на той же плоскости в направлении, перпендикулярном шву;

τ_{\parallel} — касательное напряжение вдоль шва, которое также может возникать в угловых соединениях.



$a = S$

L

где S — толщина основного металла (выпуклость шва не учитывается);
 a - толщина шва; L — эффективная длина шва; A_w — площадь поперечного сечения шва

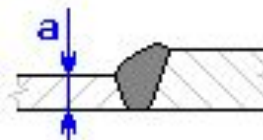
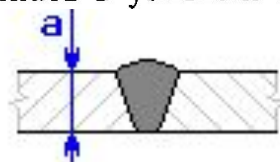
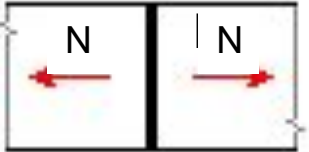
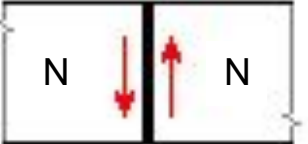
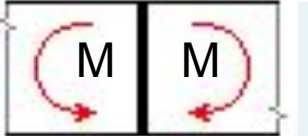


Схема нагружения	Компонента напряжений, МПа
Растяжение/ Сжатие 	$\sigma_{\perp} = \frac{N}{A_w} = \frac{N}{L \cdot a}$
Сдвиг (срез) 	$\tau_{\parallel} = \frac{N}{A_w} = \frac{N}{L \cdot a}$
Изгиб 	$\sigma_{\perp} = \frac{M}{Z_w} = \frac{6 \cdot M}{a \cdot L^2}$

Эффективная
длина сварного
шва L

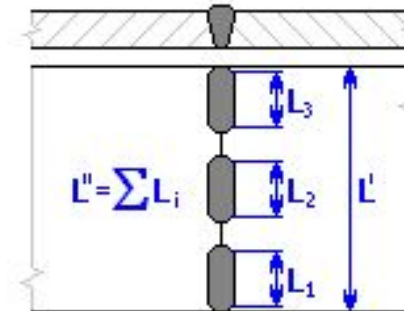
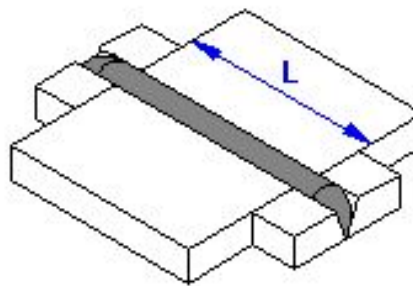
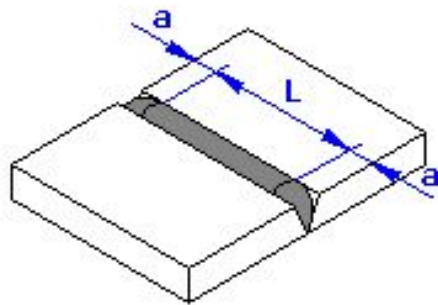


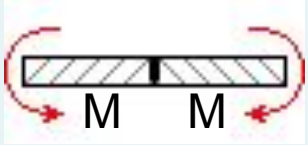
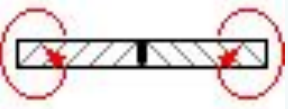
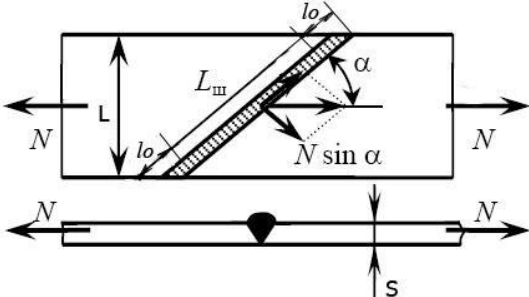
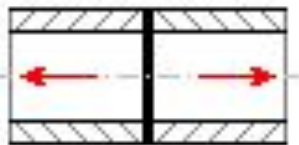
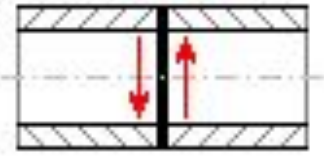
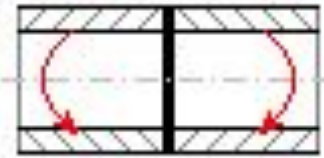

Схема нагружения	Компонента напряжений, МПа
<p>Изгиб</p> 	$\sigma_{\perp} = \frac{M}{Z_w} = \frac{6 \cdot M}{L \cdot a^2}$
<p>Кручение</p> 	$\tau_{\perp} = \frac{T}{Z_w} = \frac{T}{\delta \cdot L \cdot a^2} \quad \delta \approx \frac{L}{3L + 1.8a}$
<p>Растяжение косой шов</p> 	$\sigma_{\perp} = \frac{N_{\perp}}{S \cdot L_{III}} = \frac{N \cdot \sin^2 \alpha}{S \cdot L}$ $\tau_{\parallel} = \frac{N_{\parallel}}{S \cdot L_{III}} = \frac{N \cdot \cos \alpha \cdot \sin \alpha}{S \cdot L} = \frac{N \cdot \sin 2\alpha}{2S \cdot L}$
<p>Растяжение Сжатие</p> 	$\sigma_{\perp} = \frac{N}{A_w} = \frac{4 \cdot N}{\pi \cdot (D^2 - d^2)} \quad d = D - 2 \cdot a$

Схема нагружения	Компонента напряжений, МПа
<p>Срез</p> 	$\tau_{\perp} = \tau_{\parallel} = \frac{F_s}{A_w} = \frac{4 \cdot F_s}{\pi \cdot (D^2 - d^2)} \quad d = D - 2 \cdot a$
<p>Изгиб</p> 	$\sigma_{\perp} = \frac{M}{Z_w} = \frac{32 \cdot M}{\pi \cdot D^3 \cdot \left[1 - \left(\frac{d}{D} \right)^4 \right]} \quad d = D - 2 \cdot a$
<p>Кручение</p> 	$\tau_{\parallel} = \frac{T}{Z_w} = \frac{16 \cdot T}{\pi \cdot D^3 \cdot \left[1 - \left(\frac{d}{D} \right)^4 \right]} \quad d = D - 2 \cdot a$

Исходя из условия равнопрочности шва и основного металла расчетные усилия определяют:

- при растяжении $N \leq [\sigma]_p A_w$

- при сжатии $N \leq [\sigma]_{сж} F$

- при изгибе $N \leq [\sigma]_p W$

где $[\sigma]_p$ – допускаемое напряжение при растяжении; $[\sigma]_{сж}$ – допускаемое напряжение при сжатии; A_w – площадь поперечного сечения; W – момент сопротивления сечения

Если элемент работает на **растяжение**, то допускаемое усилие в **СТЫКОВОМ** соединении

$$N \leq [\sigma']_p SL$$

при **сжатии** $N \leq [\sigma']_{сж} SL$

где S – толщина основного металла
(выпуклость шва не учитывается);

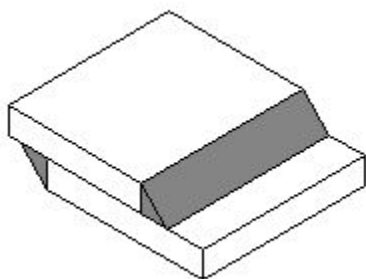
L – эффективная длина шва;

$[\sigma']_p$ – допускаемое напряжение растяжения сварного соединения;

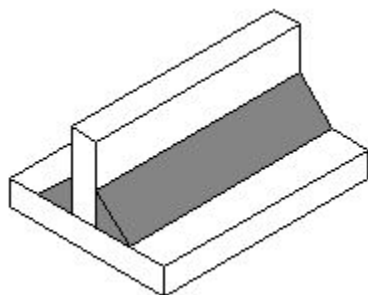
$[\sigma']_{сж}$ – допускаемое напряжение сжатия сварного соединения.

Если $[\sigma]_p = [\sigma']_p$, то шов равнопрочен основному металлу.

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА И КОНСТРУИРОВАНИЯ УГЛОВЫХ ШВОВ ПРИ ДУГОВОЙ СВАРКЕ.

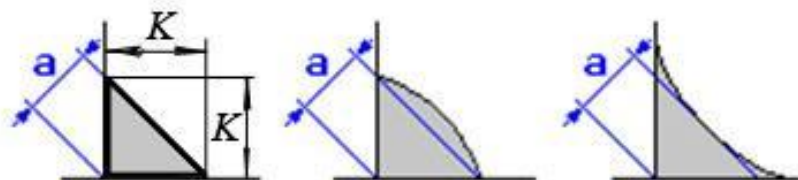


нахлесточное
соединение



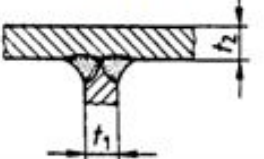

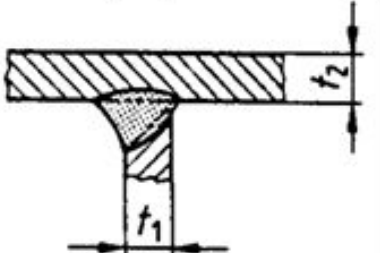
тавровое
соединение

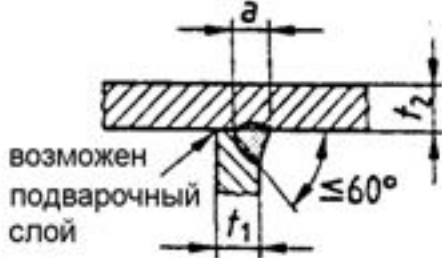
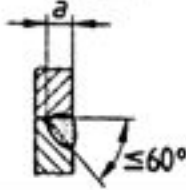
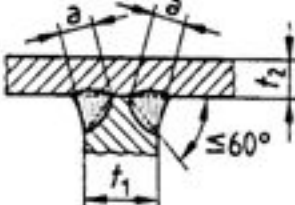
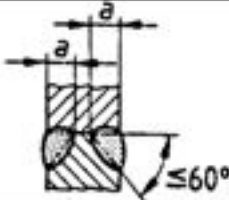
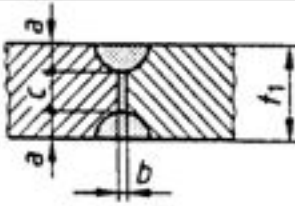
Сечения углового шва с различной выпуклостью шва

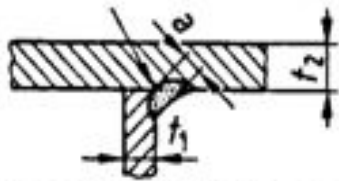
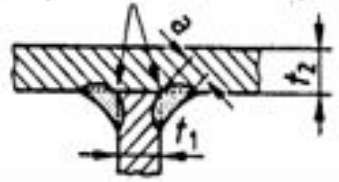

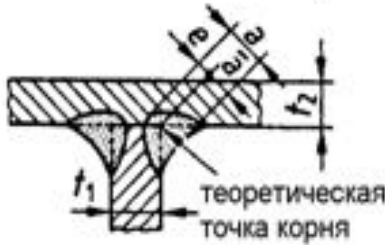
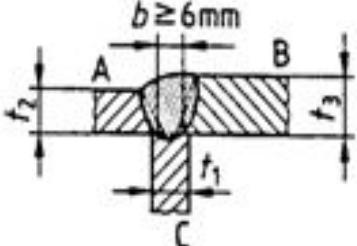


a – расчетная толщина шва

Таблица 1 Расчетная толщина a сварного шва

	1		2	3
	Тип шва ¹⁾		Рисунок	Расчетная толщина шва a
1	D(двойной) HV-шов (К-шов)			$a = t_1$
2	Швы, выпол- ненные со сквозным проваром и подварочные сварные швы	HV-шов		
3		Корень со сквозным проваром		

5	Швы без сквозного провара	НУ-шов ²⁾ с угловым швом		Толщина шва a равна расстоянию от теоретической точки корня до поверхности шва
6		НУ-шов ²⁾		
7		D (двойной) НУ-шов ²⁾ с двойным угловым швом		
8		D (двойной) НУ-шов ²⁾		
9		Двойной I-образный шов без разделки кромок под сварку (полностью механизированный шов)		

10	Угловые швы	Угловой шов		теоретическая точка корня 	Толщина шва равна замеренной, вплоть до теоретической точки корня, высоте вписываемого равнобедренного треугольника	
11		Двойной угловой шов		Теоретическая точка корня 		
12		Угловой шов	с глубоким проваром			
13		Двойной угловой шов				
14	Сварной шов из трех листов V-образный шов стыкового соединения на остающейся подкладке			Передача силы (усилия)	От <u>A</u> до B	$a = t_2$ для $t_2 < t_3$
15					От <u>C</u> до A и B	$a = b$

$$a = \underline{a} + e$$

a: соответствует толщине шва a по строке 10 и 11

e: устанавливать технологическим испытанием (смотри DIN 18 800 часть 7/05.83, раздел 3.4.3.2 a)

Т.е в общем случае расчетную толщину углового шва можно представить в виде

$$a = \beta \cdot K$$

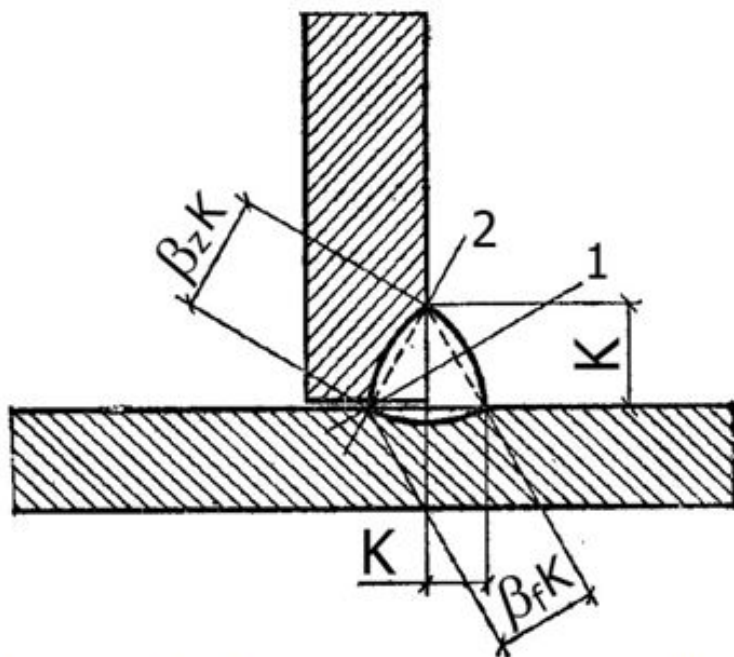


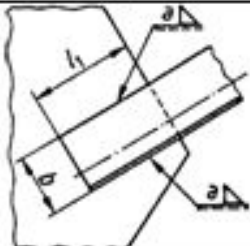

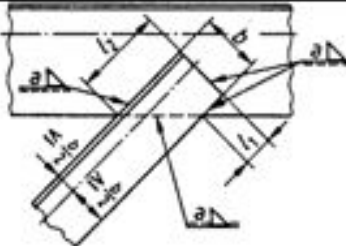
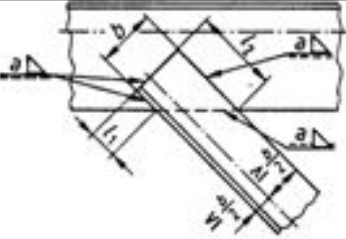
Рисунок 3 - Схема расчетных сечений сварного соединения с угловым швом: 1 – сечение по металлу шва; 2 – сечение по металлу границы сплавления

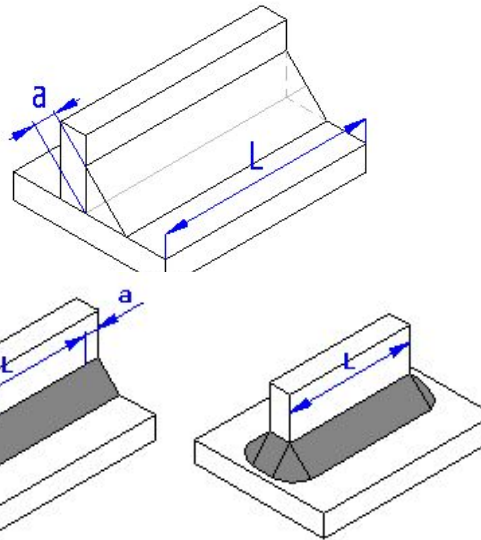
Таблица 3 – Значения коэффициентов β

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			

Эффективная длина сварного шва L

Таблица 4. Расчетные длины сварных швов

	1	2	3
	Тип шва	Рисунок	Расчетная длина шва Σl
1	Фланговые угловые швы		$\Sigma l = 2l_1$
2	Торцевые и фланговые угловые швы	 кратер в конце шва не допустим	$\Sigma l = b + 2l_1$
3	Выполненный по контуру угловой шов – ось центра тяжести ближе к более длинному шву		$\Sigma l = l_1 + l_2 + 2b$
4	Выполненный по контуру угловой шов – ось центра тяжести ближе к более короткому шву		$\Sigma l = 2l_1 + 2b$



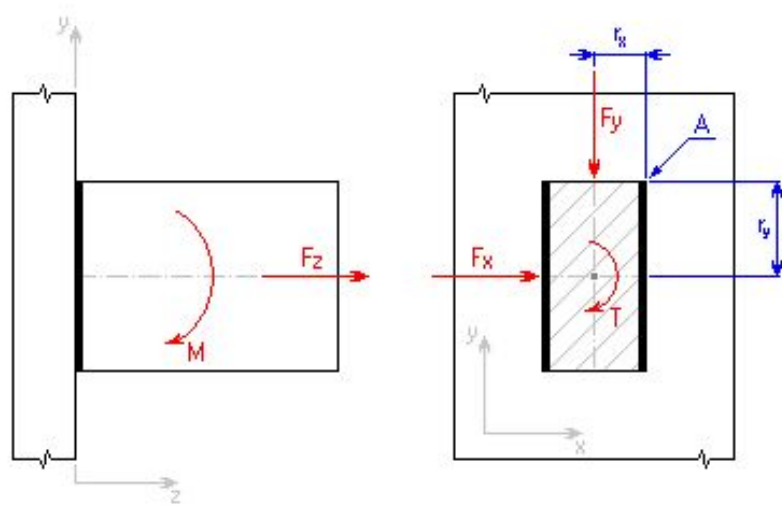
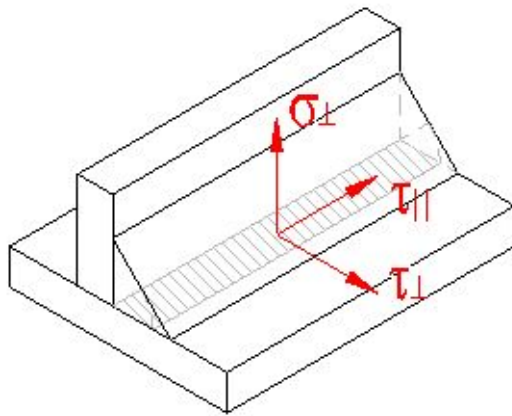
Рекомендуемая длина угловых швов находится в диапазоне

$$5a < L < 70a.$$

Для более длинных швов на практике используются прерывистые швы.

Для очень протяженных швов ($150a < L < 400a$) необходимо корректировать эффективную длину шва коэффициентом:

$$\beta_{Lw} = 1.2 - 0.2 \cdot \left(\frac{L}{150 \cdot a} \right)$$



Для сварных швов, нагруженных комбинированной нагрузкой, результирующие эквивалентные напряжения в шве определяются следующим соотношением:

$$S_w = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2} \quad [MPa, psi]$$

В зависимости от действующей нагрузки можно использовать следующие соотношения для определения компонентов напряжений, действующих в точке "А" сварного шва:

Нагрузка на отрыв F_z

$$\sigma_{\perp} = \frac{F_z}{A_w} \quad [MPa, psi]$$

A_w – площадь сечения [мм²]
 I_w – момент инерции сечения [мм⁴]
 J_w – полярный момент инерции [мм⁴]

Изгибающий момент M

$$\sigma_{\perp} = \frac{M \cdot r_y}{I_{wx}} \quad [MPa, psi]$$

Усилие среза F_x и F_y









$$\tau_{\perp} = \tau_x = \frac{F_x}{A_w} \quad [MPa, psi] \quad \tau_{\parallel} = \tau_y = \frac{F_y}{A_w} \quad [MPa, psi]$$




Крутящий момент T

$$\tau_{\perp} = \tau_x = \frac{T \cdot r_y}{J_w} \quad \tau_{\parallel} = \tau_y = \frac{T \cdot r_x}{J_w} \quad [MPa, psi]$$

Геометрические параметры основных типов сечений представлены в таблице. Полярный момент инерции шва равен

$$J_w = I_{wx} + I_{wy}$$

СЕЧЕНИЕ	$A_w, \text{мм}^2$	$I_{wx}, \text{мм}^4$	$I_{wy}, \text{мм}^4$
	$a \cdot L$	$\frac{a \cdot L^3}{12}$	$\frac{L \cdot a^3}{12}$
	$2 \cdot a \cdot H$	$\frac{a \cdot H^3}{6}$	$\frac{H \cdot ((B + 2a)^3 - B^3)}{12}$
	$2 \cdot a \cdot (H + B)$	$\frac{a \cdot H^3}{6} + \frac{B \cdot ((H + 2a)^3 - H^3)}{12}$	$\frac{a \cdot B^3}{6} + \frac{H \cdot ((B + 2a)^3 - B^3)}{12}$
	$\frac{\pi \cdot ((D + 2a)^2 - D^2)}{4}$	$\frac{\pi \cdot ((D + 2a)^4 - D^4)}{64}$	$\frac{\pi \cdot ((D + 2a)^4 - D^4)}{64}$
	$a \cdot (2H + B)$	$\frac{a \cdot H^3}{6} + 2 \cdot a \cdot H \cdot \left(\frac{H}{2} - \bar{Y}\right)^2 + \frac{B \cdot a^3}{12} + a \cdot B \cdot \left(\frac{a}{2} + \bar{Y}\right)^2$	$\frac{H \cdot a^3}{6} + 2 \cdot a \cdot H \cdot \left(\frac{a + B}{2}\right)^2 + \frac{a \cdot B^3}{12}$
	$a \cdot (H + B)$	$\frac{a \cdot H^3}{12} + a \cdot H \cdot \left(\frac{H}{2} - \bar{Y}\right)^2 + \frac{B \cdot a^3}{12} + a \cdot B \cdot \left(\frac{a}{2} + \bar{Y}\right)^2$	$\frac{a \cdot B^3}{12} + a \cdot B \cdot \left(\frac{B}{2} - \bar{X}\right)^2 + \frac{H \cdot a^3}{12} + a \cdot H \cdot \left(\frac{a}{2} + \bar{X}\right)^2$
	$a \cdot (B + 2 \cdot (H - t))$	$\frac{a \cdot (H - t)^3}{6} + 2 \cdot a \cdot (H - t) \cdot \left(\frac{H + t}{2} - \bar{Y}\right)^2 + \frac{B \cdot a^3}{12} + a \cdot B \cdot \left(\frac{a}{2} + \bar{Y}\right)^2$	$\frac{(H - t) \cdot a^3}{6} + \frac{a \cdot (H - t) \cdot (s + a)^2}{2} + \frac{a \cdot B^3}{12}$
	$2 \cdot a \cdot (H + B - 2t)$	$\frac{a \cdot (H - 2t)^3}{6} + \frac{B \cdot a^3}{6} + \frac{a \cdot B \cdot (H + a)^2}{2}$	$\frac{(H - 2t) \cdot a^3}{6} + \frac{a \cdot B^3}{6} + \frac{a \cdot (H - 2t) \cdot (s + a)^2}{2}$

Centre of gravity of weld group:		
	$\bar{Y} = \frac{H^2 - \frac{a \cdot B}{2}}{2H + B}$	
	$\bar{X} = \frac{B^2 - a \cdot H}{2 \cdot (H + B)}$	$\bar{Y} = \frac{H^2 - a \cdot B}{2 \cdot (H + B)}$
	$\bar{Y} = \frac{H^2 - t^2 - \frac{a \cdot B}{2}}{2 \cdot (H - t) + B}$	

where:

где

a – толщина шва, мм

B – общая ширина сечения, мм

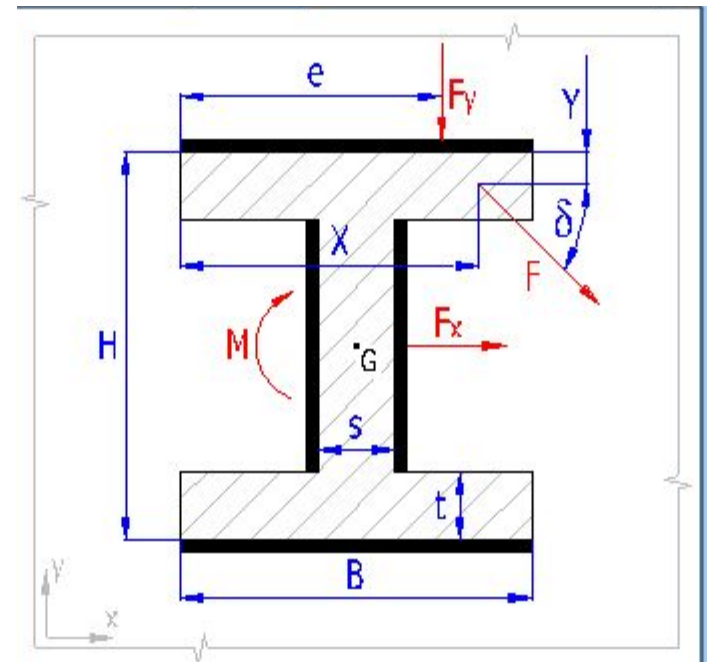
D – диаметр привариваемого сечения, мм

H – общая высота сечения, мм

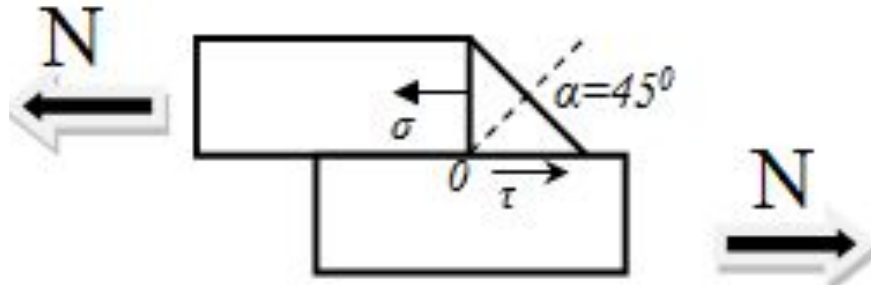
L – длина шва, мм

s – толщина вертикальных элементов, мм

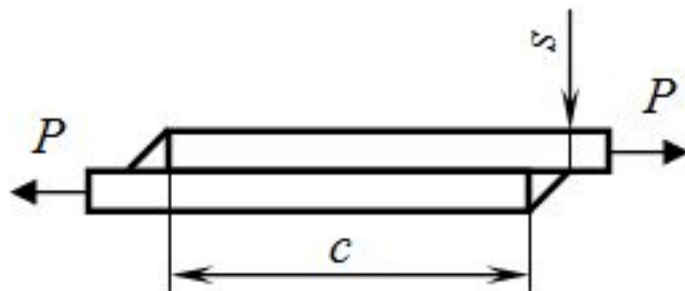
t – толщина полок, мм



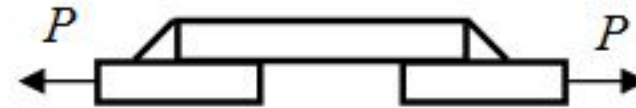
Исходя из вышесказанного, основная расчетная формула для проверки прочности одностороннего углового шва (выполняемого без полного проплавления) имеет вид:



$$\tau = \frac{N}{A_{\text{среза}}} = \frac{N}{\beta \cdot K \cdot L} \leq [\tau']$$



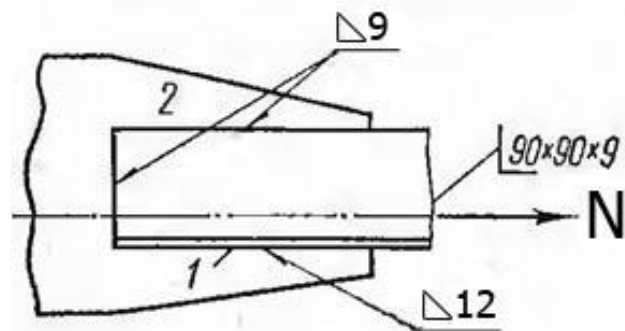
$$\tau = \frac{N}{2\beta \cdot K \cdot L} \leq [\tau'] \quad c \geq 4s$$



$$\tau = \frac{N}{\beta \cdot K \cdot L} \leq [\tau']$$

Минимальный катет шва в машиностроении принимают равным 3 мм, исключения составляют конструкции, в которых толщина самого металла менее 3 мм. Верхний предел толщины швов не ограничен, но катеты свыше 20 мм встречаются крайне редко. Вследствие низкого качества шва в местах зажигания и обрыва дуги минимальная длина углового шва принимается равной 30 мм.

Пример. Уголок 90х90 имеет площадь сечения $A = 15,6 \text{ см}^2$. Допускаемое напряжение в металле уголка $[\sigma]_p = 200 \text{ МПа}$, $[\tau] = 120 \text{ МПа}$. Спроектировать сварное соединение, равнопрочное уголку, сварка однопроходная, механизированная ($\beta=0,8$).



Допускаемое растягивающее усилие в уголке:

$$N = [\sigma]_p A = 200 \cdot 10^6 \cdot 15,6 \cdot 10^{-4} = 312 \text{ кН}$$

Усилие, допускаемое на лобовой шов с катетом 6 мм

$$N_l = [\tau]' A = [\tau]' \beta K L_d = 120 \cdot 10^6 \cdot 0,8 \cdot 0,009 \cdot 90 \cdot 10^{-3} = 78 \text{ кН}$$

Остальная часть усилия должна быть распределена между двумя фланговыми швами с катетом 12 мм:

$$N\phi = N - N_l = 3120 - 78 = 234 \text{ кН}$$

Усилие, передаваемое на шов с катетом 12 мм:

$$N_1 = 0,7 N\phi = 0,7 * 234 = 164 \text{ кН}$$

Тогда, требуемая длина шва с катетом 12 мм:

$$L_1 = N_1 / (\beta K [\tau]') = 164 \cdot 10^3 / (0,8 \cdot 0,012 \cdot 120 \cdot 10^6) = 0,142 \text{ м}$$

Усилие, передаваемое на шов с катетом 9 мм:

$$N_2 = 0,3 N\phi = 0,3 * 234 = 70 \text{ кН}$$

Тогда, требуемая длина флангового шва с катетом 9 мм:

$$L_2 = N_2 / (\beta K [\tau]') = 70 \cdot 10^3 / (0,8 \cdot 0,009 \cdot 120 \cdot 10^6) = 0,08 \text{ м}$$

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ

КАКИЕ БУДУТ ВОПРОСЫ?