

# ЛЕКЦИЯ 2

## ТЕМА ЛЕКЦИИ - СОЕДИНЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ

### План лекции:

- сварные соединения;
- болтовые и заклепочные соединения;
- особенности работы и расчет

фрикционных

соединений на высокопрочных болтах

## 2.1 Сварные соединения

Соединения металлических конструкций предназначены для сопряжения отдельных элементов между собой. Выбор вида соединения зависит от вида напряженного состояния соединяемых элементов; величины и характера действующей нагрузки; формы сопрягаемых элементов; условий работы соединения и др.

В металлических конструкциях применяют *сварные, болтовые и заклепочные соединения.*

Сварные соединения – наиболее распространенные соединения. Они требуют на изготовление меньше времени и металла по сравнению с заклепочными и болтовыми соединениями.

Недостатки сварных соединений:

1. Возникновение при сварке внутренних остаточных напряжений, что усложняет работу соединения при динамических нагрузках и при низких температурах, способствует хрупкому разрушению.
2. Выполнение сварки часто бывает затруднено при монтаже конструкций и

**Виды сварки. Сварка является основным видом соединений металлических конструкций. Она широко применяется как в заводских условиях, так и при монтаже на строительной площадке. Сварка упрощает конструктивную форму соединения, дает экономию металла. Применение сварных соединений значительно уменьшает трудоемкость изготовления конструкций.**

**В строительстве применяется главным образом электродуговая сварка: ручная, автоматическая и полуавтоматическая, а также электрошлаковая.**

**Ручная электродуговая сварка – универсальна и широко распространена, так как может выполняться в любом пространственном положении. Она часто применяется при монтаже в труднодоступных местах, где механизированные способы сварки не могут быть применены.**

Электроды применяемые для ручной сварки, делятся на несколько типов по значению временного сопротивления металлического шва. Например: электрод Э42 позволяет получить шов имеющий  $\sigma_b \geq 410$  МПа и применяется для сварки сталей имеющих  $\sigma_b \leq 430$  МПа, Э50 – дает соответственно  $\sigma_b \geq 490$  МПа и применяются для сварки сталей с  $\sigma_b \leq 520$  МПа.

Добавление к названию электрода А – данные электроды дают металл, обладающий повышенной пластичностью, характеризуемой относительным удлинением и повышенной ударной вязкостью.

**Нормативные и расчетные сопротивления металла швов сварных соединений с угловыми швами**

Таблица 56

Сварочные материалы		$R_{\text{норм}}$ , МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	$R_{\text{н}}$ , МПа (кгс/см <sup>2</sup> )
тип электрода (по ГОСТ 9467)	марка проволоки		
Э42, Э42А	Св-08, Св-08А	410 (4200)	180 (1850)
Э46, Э46А	Св-08ГА	450 (4600)	200 (2050)
Э50, Э50А	Св-10ГА, Св-08Г2С, Св-08Г2СЦ, ПП-АН8, ПП-АН3	490 (5000)	215 (2200)
Э60	Св-08Г2С*, Св-08Г2СЦ*, Св-10НМА, Св-10Г2	590 (6000)	240 (2450)
Э70	Св-10ХГ2СМА, Св-08ХН2ГМЮ	685 (7000)	280 (2850)
Э85	–	835 (8500)	340 (3450)

\*Только для швов с катетом  $k_f \leq 8$  мм в конструкциях из стали с пределом текучести 440 МПа (4500 кгс/см<sup>2</sup>) и более.

в таблице 55 СНиП РК 5.04-25-2002 «Стальные конструкции. Нормы проектирования» помещены рекомендуемые сварочные материалы для сварки различных марок стали. Из таблицы видно, что сталям различной прочности рекомендуются различные марки сварочной проволоки и типы электродов, имеющих разное сопротивление металла шва.

Приложение 2  
Обязательное

## МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СОЕДИНЕНИЙ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ИХ РАСЧЕТНЫЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ

### Материалы для сварки, соответствующие стали

Таблица 55

Группы конструкций в климатических районах	Стали	Материалы для сварки			покрытыми электродами типов по ГОСТ 9467
		под флюсом		в углекислом газе (по ГОСТ 8050) или в его смеси с аргонном (по ГОСТ 10157)	
		Марки			
		флюсов (по ГОСТ 9087)	Сварочной проволоки (по ГОСТ 2246)		
2, 3 и 4 - во всех районах, кроме I <sub>1</sub> , I <sub>2</sub> , II <sub>2</sub> , и II <sub>3</sub>	C235, C245, C255, C275, C285, 20, Ст3кп, Ст3пс, Ст3сп	АН-348-А, АН-60	Св-08А, Св-08ГА	Св-08Г2С	342, 346
	C345, C345Т, C375, C375Т, C390, C390Т, C390К, C440, 16Г2АФ, 09Г2С	АН-47, АН-43, АН-17-М, АН-348-А <sup>1</sup>	Св-10НМА, СВ-10Г2 <sup>2</sup> , Св-08ГА <sup>2</sup> , Св-10ГА <sup>2</sup>		350
	C345К	АН-348-А	Св-08Х1ДЮ	Св-08ХГ2СДЮ	350А <sup>3</sup>

Группы конструкций в климатических районах	Стали	Материалы для сварки			покрытыми электродами типов по ГОСТ 9467
		под флюсом		в углекислом газе (по ГОСТ 8050) или в его смеси с арго ном (по ГОСТ 10157)	
		Марки			
		флюсов (по ГОСТ 9087)	Сварочной проволоки (по ГОСТ 2246)		
1 - во всех районах; 2, 3 и 4 - в районах I <sub>1</sub> , I <sub>2</sub> , II <sub>2</sub> , и II <sub>3</sub>	C235, C245, C255, C275, C285, 20, СтЗкп, СтЗпс, СтЗсп	АН-348-А	Св-08А, Св-08ГА	Св-08Г2С	Э42А, Э46А
	C345, C345Т, C375, C375Т, 09Г2С	АН-47, АН-43, АН-348-А <sup>1</sup>	Св-10НМА, СВ-10Г2 <sup>2</sup> , Св-08ГА <sup>2</sup> , Св-10ГА <sup>2</sup>		Э50А
	C390, C390Т, C390К, C440, 16Г2АФ	АН-47, АН-17-М, АН-348-А <sup>1</sup>	Св-10НМА, СВ-10Г2 <sup>2</sup> , Св-08ГА <sup>2</sup> , Св-10ГА <sup>2</sup>		Э50А
	C345К	АН-348-А	Св-08Х1ЛЮ	Св-	Э50А <sup>3</sup>
	C590, C590К, C590КШ	АН-17-М	Св-08ХН2ГМЮ Св-10НМА	Св-10ХГ2СМА, Св-08ХГСМА Св-08Г2С	Э60, Э70

Расчетные сопротивления сварных соединений для различных видов соединений и напряженных состояний следует определять по формулам, приведенным в таблице 3.



Таблица 3

Сварные соединения	Напряженное состояние		Условное обозначение	Расчетные сопротивления сварных соединений
Стыковые	Сжатие. Растяжение и изгиб при автоматической, полуавтоматической или ручной сварке с физическим контролем качества швов	По пределу текучести	$R_{wy}$	$R_{wy} = R_y$
		По временному сопротивлению	$R_{wu}$	$R_{wu} = R_u$
	Растяжение и изгиб при автоматической, полуавтоматической или ручной сварке	По пределу текучести	$R_{wy}$	$R_{wy} = 0,85 R_y$
	Сдвиг		$R_{wz}$	$R_{wz} = R_s$
С угловыми швами	Срез (условный)	По металлу шва	$R_{wf}$	$R_{wf} = 0,55 \frac{R_{wul}}{k_{wm}}$
		По металлу границы сплавления	$R_{wz}$	$R_{wz} = 0,45 R_{ul}$

*Автоматическая и полуавтоматическая сварка* – под флюсом осуществляется автоматом с подачей сварочной проволоки  $d = 2 \div 5$  мм без покрытия. Дуга возбуждается под слоем флюса, флюс расплавляется легирует расплавленный металл с содержащимся в нем примесями и надежно защищает его от соприкосновения с воздухом.

Металл получается чистым с меньшим количеством вредных примесей –  $O_2$ , N.

Благодаря хорошей теплозащите, расплавленный металл под слоем флюса остывает медленно, хорошо освобождается от пузырьков газов и шлака, и отличается значительной плотностью и частотой. Большая сила тока, хорошая теплозащита шва обеспечивают глубокое проплавление и большую скорость сварки. К недостаткам этой сварки относятся: затрудненность выполнения швов в вертикальном и потолочном положении в стесненных условиях. *Электрошлаковая* – разновидность сварки плавлением, этот тип сварки удобен для вертикальных стыковых швов толщиной 20 мм и более. Процесс сварки ведется голый электродной проволокой под слоем расплавленного шлака, сварочная волна защищена с боков медными формирующими шов ползунами, охлажденными проточной водой. Качество шва выполняемого этим

**Сварка в среде  $\text{CO}_2$  ведется голый электродной проволокой  $d = 1,4 \div 2$  мм,  $\text{CO}_2$  при высоких температурах активно взаимодействует со сталью, окисляет её, что компенсируется повышенным содержанием раскислителей в электродной проволоке. Сварка в среде  $\text{CO}_2$  может выполняться в любом пространственном положении. Производительность этой сварки на 15 - 20% выше полуавтоматической под флюсом.**



**Виды сварных соединений.** Различают следующие виды сварных соединений: **стыковые**, **внахлестку**, **угловые**, **тавровые** (впритык), **таблица 2.1.**

**Таблица 2.1 - Виды сварных соединений**


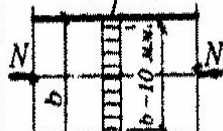
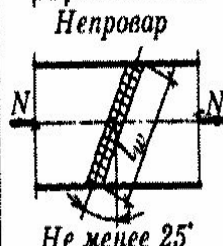

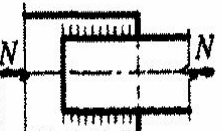
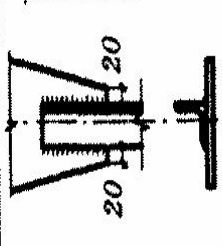

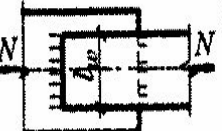
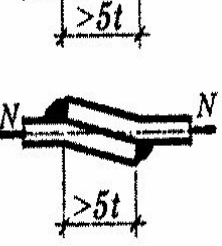

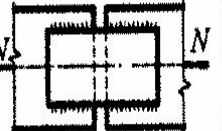
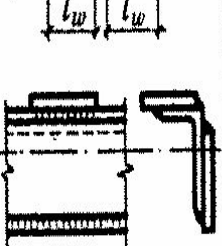

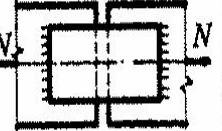


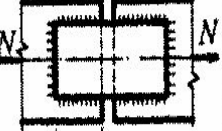
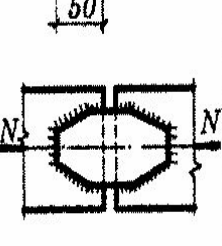
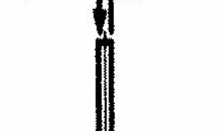
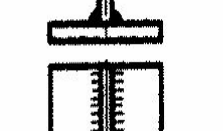
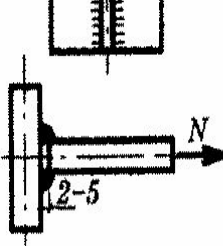
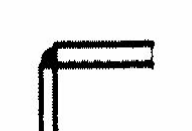
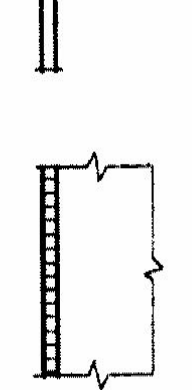


Встык	Внахлестку				Комбинированные	Впритык	
	Без накладок		С накладками				
Стыковой шов	Угловые швы				Лобовой и угловые швы	Угловые швы	
	Фланговый	Лобовой	Фланговый	Лобовой		В тавр	В угол
  	  	  	  	  	  	  	 

Таблица 2.2 – Виды швов и пределы толщин свариваемых элементов  
 в зависимости от вида сварки, мм

Шов	Эскиз	Автоматическая и полуавтоматическая под флюсом по ГОСТ 8713—79	Электродуговая в защитных газах по ГОСТ 14771—76 с изм.	Ручная электродуговая по ГОСТ 5264—80	
		двусторонняя или с подваркой корня			
Стык- вой	Без разделки кромок		2—20	3—12	2—8
	V-образный		14—34	8—60	10—50
	X-образный		20—60	12—120	12—60
Тавро- вый	Без разделки кромок		3—40	2—40	2—30
	Со сплошным проплавлением		16—40	12—80	12—60

Напряжение в стыковом шве, расположенном перпендикулярно оси элемента

$$\sigma = N/t \cdot l_w \leq R_{wy} \gamma_c,$$

где  $N$  – расчетное усилие;

$t$  – наименьшая толщина соединительных элементов;

$l_w$  – расчетная длина шва, равная его полной длине, если начало и

конец шва выведены за пределы стыка, или  $l_w = l - 2 \cdot t$ , где

$l$  – фактическая длина шва;

$R_{wy}$  – расчетное сопротивление сварного стыкового соединения сжатию или растяжению;

$\gamma_c$  – коэффициент условий работы.

Расчетное сопротивление стыкового шва при сжатии и при растяжении соединения, проверенного физическими методами контроля  $R_{wy} = R_y$ ;

при растяжении не проверенного физическими методами контроля

меньше расчетного сопротивления основного металла и в стыкуемом элементе действующие напряжения превышают  $R_{wy}$  - для увеличения шва его делают косым.

Косые швы с наклоном реза  $tga = 2:1$ , как правило, равнопрочны с основным металлом и не требуют проверки.

Если приходится рассчитывать косые швы (при вибрационной нагрузке), то, расположив действующие усилие на направления перпендикулярно оси шва и вдоль шва, находим напряжения:

перпендикулярно шву  
вдоль шва

$$\sigma_w = \frac{N \cdot \sin \alpha}{l \cdot l_w} \leq R_{wy} \gamma_c$$

$$\tau_w = \frac{N \cdot \cos \alpha}{l \cdot l_w} \leq R_{wy} \gamma_c$$

$$l_w = \frac{b}{\sin \alpha} - 2t$$

где  $l_w$  - расчетная длина косого шва.

При действии изгибающего момента на соединение

$$\sigma = \frac{M}{W_w} \leq R_{wy} \gamma_c$$

где  $W_w$  - момент сопротивления шва.

Сварочные соединения, работающие одновременно на нормальные напряжения и срез, проверяют по формуле

$$\sqrt{\sigma_{wx}^2 + \sigma_{wy}^2 - \sigma_{wx} \sigma_{wy} + 3\tau_{wxy}^2} \leq 1.15 R_{wy} \gamma_c$$

где  $\sigma_{wx}$  и  $\sigma_{wy}$  - нормальные напряжения в сварном соединении по двум взаимно перпендикулярным направлениям;

$\tau_{wxy}$  - касательное напряжение в сварном соединении.

Расчет соединений, выполненных угловыми швами. Ввиду сложности действительной работы угловых швов, рассматривается возможность разрушения шва от условного среза по двум сечениям: по металлу шва и по металлу границы сплавления.

По металлу шва

$$\frac{N}{\beta_f \cdot k_f \cdot l_w} \leq R_{wf} \cdot \gamma_{wf} \cdot \gamma_e$$

где  $k_f$  – катет шва;

$\beta_f$  и  $\beta_z$  – коэффициенты глубины проплавления шва;

$l_w$  – расчетная длина шва, принимаемая меньше его фактической

длины на 10 мм за счет непровара на концах шва;

$\gamma_{wf}$ ;  $\gamma_{wz}$  – коэффициент условий работы шва, равные 1 во всех случаях, кроме конструкций, возводимых в районах I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub>, II<sub>2</sub>,

II<sub>3</sub> – где  $\gamma_{wf} = \gamma_{wz} = 0,85$  для металла шва  $R_{wun} = 410$  МПа,  $\gamma_{wz} = 0,85$  – для всех сталей;

$R_{wf}$  – расчетное сопротивление условному срезу металла шва;

$R_{wz}$  – расчетное сопротивление условному срезу металла границы сплавления  $R_{wz} = 0,45R$

Часто удобнее определять необходимую длину швов, задаваясь их толщиной  $k_f$  – табл. 39 /5/.

$$l_w = \frac{N}{\beta_f \cdot k_f \cdot R_{wf} \cdot \gamma_{wf} \cdot \gamma_c} ,$$

$$l_w = \frac{N}{\beta_s \cdot k_f \cdot R_{ws} \cdot \gamma_{ws} \cdot \gamma_c} ,$$

тогда фактическая длина  $l = l_w + 1$  см.

Необходимо иметь в виду, что расчетная длина флангового шва должна быть не более , за исключением швов, в которых усилие действует на всем протяжении шва (поясные у главной балки).

Если по расчету  $l_w$  превышает  $85\beta_f k_f$ , то приходится определять толщину шва  $k_f$ , при котором необходимо иметь в виду, что  $t$  – наименьшая толщина соединяемых элементов. Исходя из возможной его расчетной

$$k_f \geq \frac{1}{\beta_f} \sqrt{\frac{N}{85 R_{wf} \cdot \gamma_{wf} \cdot \gamma_c}} ,$$

$k_f$  – принимать по табл. 39, /5/, по толщине более толстого из

Расчетная длина углового сварного шва должна быть не менее  $4k_f$  и не менее 40 мм.

При действии силы на элемент, прикрепленный двумя швами к другому элементу, на швы будут действовать сдвигающая сила и изгибающий момент. Напряжения от силы сдвига и момента должны суммироваться:

по металлу шва:

$$\sqrt{\left(\frac{N}{2\beta_f k_f l_w}\right)^2 + \left(\frac{6M}{2\beta_f k_f l_w^2}\right)^2} \leq R_{wf} \gamma_c$$

по металлу границ

$$\sqrt{\left(\frac{N}{2\beta_z k_f l_w}\right)^2 + \left(\frac{6M}{2\beta_z k_f l_w^2}\right)^2} \leq R_{wz} \gamma_c$$

здесь  $\gamma_{wf} = \gamma_{wz} = 1$ .



При прикреплении угловыми швами несимметричных профилей, например уголков, желательно, чтобы линия действия усилия проходила через центр тяжести соединения, то есть площади швов должны быть распределены обратно пропорционально расстояниям от шва до оси элемента. Таким образом, общая требуемая площадь швов

$$A_f = \beta_f \cdot k_f \cdot l_w = \frac{N}{R_{wf} \cdot \gamma_c}$$

Площадь большего шва на обушке

$$A_f^{об} = \frac{A_f (b - z_0)}{b}$$

;

Площадь меньшего шва на перу

$$A_f^n = \frac{A_f \cdot z_0}{b}$$

При равных  $k_f$  по перу и на обушке соотношения следующие для равнополочных уголков:

$$l_w^{об} \approx 0,7l_w$$

$$l_w^n \approx 0,3l_w$$

Расчет комбинированных соединений. При расчете комбинированного соединения условно принимается, что напряжение в стыковом шве и в накладке одинаково.

Тогда, при двухсторонней накладке

$$\sigma = \frac{N}{A_n + \sum A_n} \leq R_{wy} \gamma_c$$

$\sum A_n$   $A_n$  – площадь сечения соединяемых листов;  
– суммарная площадь сечения накладок;

$R_{wy}$  – расчетное сопротивление шва сжатию или растяжению.

Требуемая длина угловых накладок с одной стороны

$$\sum l_w = \frac{N_n}{\beta_f \cdot k_f \cdot R_{wf} \cdot \gamma_c}$$

$$N_n = \sigma \cdot A_n$$

где  $N_n$  – усилие в накладке

# Болтовые и заклепочные соединения

*Болтовые соединения широко применяются при монтаже конструкций. Их отличают простота выполнения и отсутствие сложного оборудования.*

В соединениях стальных конструкций применяют обычные болты ГОСТ 22356-70\*, высокопрочные болты ГОСТ 22356-77 и болты анкерные (фундаментные) ГОСТ 24379.1-80. Кроме обычных и высокопрочных болтов широкое распространение получили самонарезающие болты с окончанием, выполненным в виде сверла. С помощью таких болтов можно одновременно сверлить отверстие и нарезать резьбу.

Болты обычные и высокопрочные используют для соединения элементов стальных конструкций друг с другом, а болты анкерные – для присоединения конструкций к фундаменту. Обычные болты бывают грубой, нормальной и повышенной точности или, соответственно, классов точности **С**, **В** и **А**, различаются допусками на отклонения диаметра болта от номинала. Для монтажных соединений применяют без расчета болты класса точности **С**, а для соединений, воспринимающих расчетные усилия, – болты класса точности **В** и **А**. Болты изготавливают диаметром **12 – 48 мм** с длиной стержня **25 – 300 мм**.

**Болты класса точности С** (грубой точности) ставят в отверстия, диаметр которых на **2 – 3 мм** больше диаметра стержня болта. Отклонение диаметра болта от номинала **1 мм**. Такие соединения обладают наибольшей деформативностью.

**Болты класса точности В** (нормальной точности) устанавливают в отверстия, диаметр которых на **1 – 1,5 мм** больше диаметра стержня болта. Отклонение диаметра болта от номинала **0,52 мм**. Такие соединения менее деформативны по сравнению с соединениями на болтах класса точности С и требуют более высокой точности при образовании отверстий в соединяемых элементах конструкций.

**Болты класса точности А** (повышенной точности) устанавливают в отверстия, которые просверлены на проектный диаметр в собранных элементах, и их диаметр больше диаметра стержня болта на **0,25 – 0,3 мм**, а сами болты имеют только минусовый допуск на диаметр стержня. Такие болты изготавливают точением и поэтому они имеют высокую стоимость.

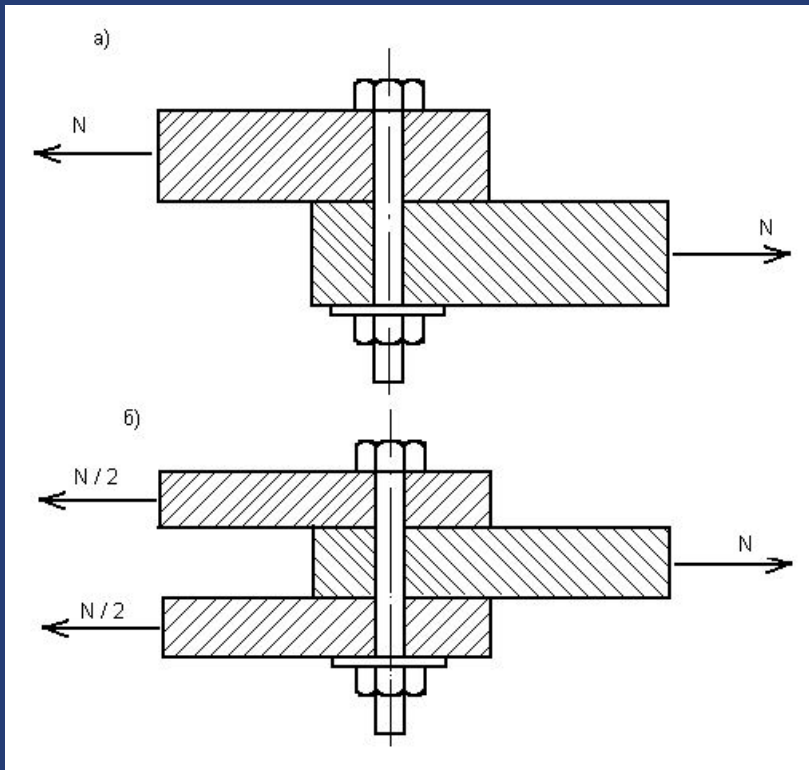
прочности. Класс прочности болта обозначают двумя цифрами, разделенными точкой, например, **4.6, 5.8, 6.6**.

В обозначении класса прочности болта закодированы механические свойства материала болта:

- **первая** цифра, умноженная на **10**, обозначает минимальный предел прочности материала болта в  $\text{кН}/\text{см}^2$ ;
- **произведение** чисел – предел текучести материала болта в  $\text{кН}/\text{см}^2$ ;
- **вторая** цифра, умноженная на 100, обозначает соотношение  $R_{\text{yn}}/R_{\text{un}}$  в %.

*Класс прочности указывают на головке болта выпуклыми цифрами.*

**Расчет болтовых соединений.** Основной вид работы болтовых (заклепочных) соединений – работа на сдвиг. При этом болты могут разрушаться от *перерезывания* их стержней по плоскости среза или *смятия* поверхностей отверстий сопрягаемых элементов. Силы смятия могут вызвать выкол между отверстием и краем элемента. Кроме того, болтовые соединения могут работать на *растяжение*, рисунки 2.1, 2.2



а – срез болта в односрезном соединении  
б – то же, в двухсрезном

Рисунок 2.1 – Схема работы болтовых соединений

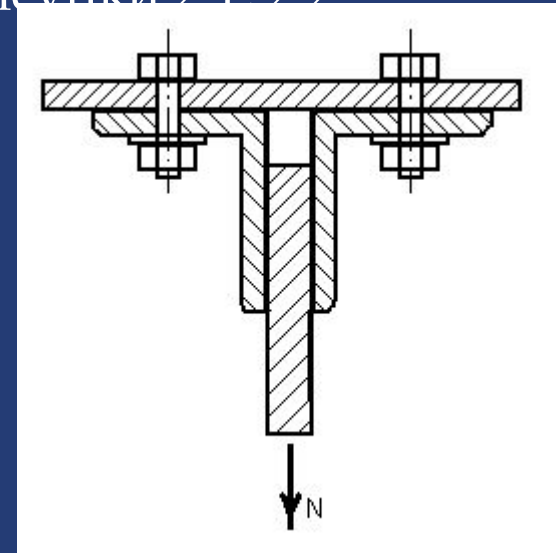
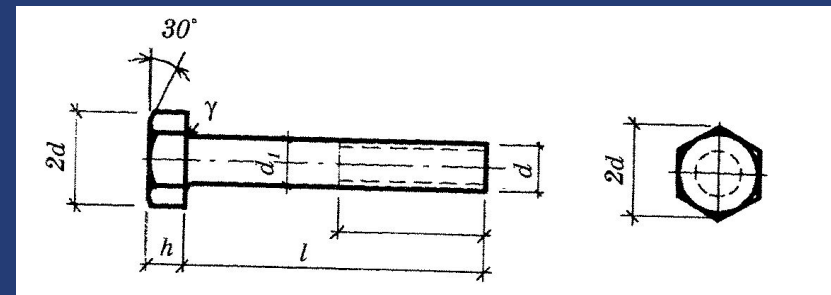
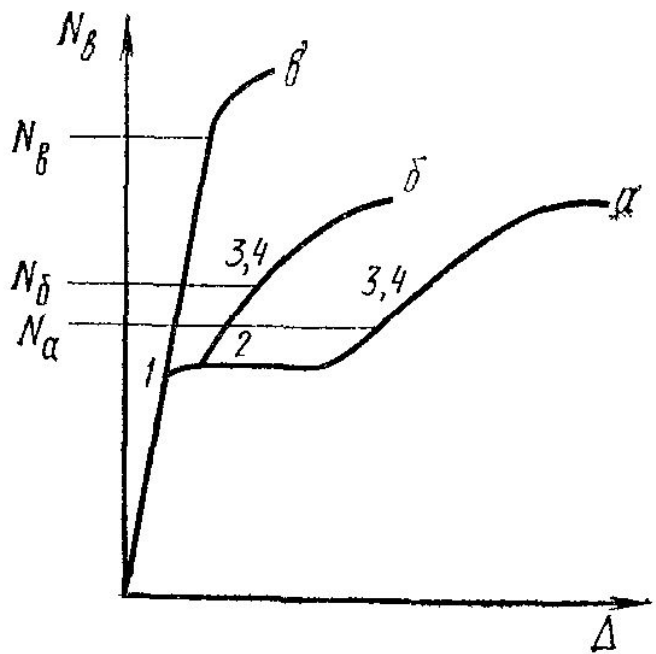


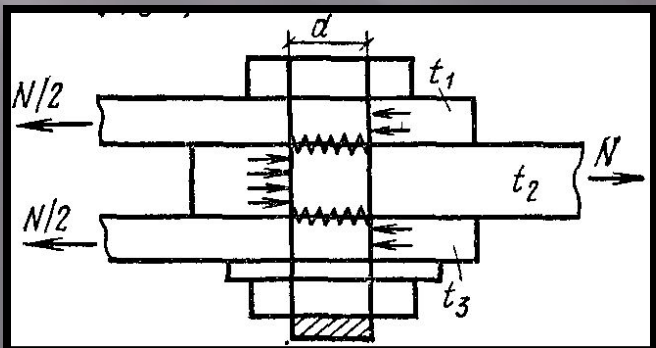
Рисунок 2.2 – Схема работы болтовых соединений на растяжение





### Работа болтового соединения

*а* – болты грубой и нормальной точности; *б* – болты повышенной точности; *в* – высокопрочные болты; 1, 2, 3, 4 – этапы работы соединений



этапа:

- на 1 этапе, пока силы трения между соединяемыми элементами не преодолены, сами болты не испытывают сдвигающих усилий и работают только на растяжение, все соединение работает упруго;
- при увеличении внешней сдвигающей силы, силы внутреннего трения оказываются преодоленными и наступает 2-й этап – сдвиг всего соединения на величину зазора между поверхностью отверстия и стержнем болта;
- на 3-м этапе сдвигающее усилие в основном передается давлением поверхности отверстия на стержень болта; стержень болта и края отверстия постепенно обминаются; болт изгибается, растягивается, так как головка и гайка препятствуют свободному изгибу стержня;
- постепенно плотность соединения расстраивается, силы трения уменьшаются и соединение переходит в 4-й этап работы, характеризующийся его упругопластической работой.

*Разрушение соединения происходит от среза болта, смятия и выкола одного из соединяемых*

определяется по формуле

- из условия работы на срез

- из условия работы на смятие

- из условия работы на растяжение

где  $R_{\delta s}$  - расчетные сопро  $N_b = R_{\delta s} \gamma_{\delta} A n_s$  болтовых соединений,

определяемые по таблицам 58, 5  $N_b = R_{\delta p} \gamma_{\delta} d \sum t$  РК.5.04.23-2002

Но  $R_{\delta s}$ ,  $R_{\delta p}$ ,  $R_{\delta t}$  проектирования. Стальные конструкции.- Астана, 2003.-118с);

- расчетная площадь сечения стержня болта, таблица 62;

$A$  - площадь сечения болта нетто, таблица 62;

$A_{\delta n}$  - наименьшая суммарная толщина элементов, сминаемых

$\sum t$

одном направлении;

$n_s$  - число расчетных срезов одного болта (на единицу

меньше

$\gamma_{\delta}$  количества сопрягаемых элементов);

- коэффициент условий работы соединения,

принимаемый для

многоболтовых соединениях класса точности **A** – 1,0, класса



## Расчетные сопротивления срезу и растяжению стальных болтов

Напряженное состояние	Расчетное сопротивление болтов класса, МПа					
	4,6	4,8	5,6	5,8	6,6	8,8
Срез, $R_{bs}$	150	160	190	200	230	320
Растяжение, $R_{bt}$	170	160	210	200	250	400

## Расчетные сопротивления смятию стальных элементов, соединяемых болтами

Предел прочности стали соединяемых элементов $R_{un}$ , МПа	Расчетные сопротивления $R_{bp}$ , МПа, смятию элементов, соединяемых болтами		Предел прочности стали соединяемых элементов $R_{un}$ , МПа	Расчетные сопротивления $R_{bp}$ , МПа, смятию элементов, соединяемых болтами	
	повышенной точности	нормальной и грубой точности		повышенной точности	нормальной и грубой точности
360	475	430	470	720	645
365	485	440	480	745	670
370	495	450	490	770	690
380	515	465	500	795	710

Количество болтов в соединении определяют по формуле

$$n \geq \frac{N}{\gamma_c N_{\min}},$$

где  $N_{\min}$  - наименьшее значение расчетного усилия, воспринимаемого одним болтом, определенное выше, в зависимости от условий его работы;

$\gamma_c$  - коэффициент условий работы элементов конструкций, таблица 6.

## Площади сечения болтов согласно СТ СЭВ 180-75, СТ СЭВ 181-75, СТ СЭВ 182-75

$d, \text{ мм}$	16	18*	20	22*	24	27*	30	36	42	48
$A_b, \text{ см}^2$	2,01	2,54	3,14	3,80	4,52	5,72	7,06	10,17	13,85	18,09
$A_{bn}, \text{ см}^2$	1,57	1,92	2,45	3,03	3,52	4,59	5,60	8,26	11,20	14,72

\* Болты указанных диаметров применять не рекомендуется.

### Коэффициенты условий работы стальных болтовых соединений

Характеристика соединения	Коэффициент условий работы $\gamma_b$
1. Многоболтовое в расчетах на срез и смятие при болтах: класса точности <i>A</i> классов точности <i>B</i> и <i>C</i>	1,0 0,9
2. Одноболтовое и многоболтовое в расчете на смятие при $a = 1,5d$ и $a = 2d$ в элементах конструкций из стали с пределом текучести, МПа: до 285 свыше 285 до 380	0,8 0,75

**Примечания:** 1. Обозначения:  $a$  — расстояние вдоль усилия от края элемента до центра ближайшего отверстия;  $b$  — то же, между центрами отверстий;  $d$  — диаметр отверстия для болта.

2. Коэффициенты, установленные в позиции 1 и 2, следует учитывать одновременно.

3. При значениях расстояний  $a$  и  $b$ , промежуточных между указанными в позиции 2 и в табл. 26.7, коэффициент  $\gamma_b$  следует определять линейной интерполяцией.

# Особенности работы и расчет фрикционных соединений на высокопрочных болтах

из легированной стали, готовые болты термически обрабатывают. Высокопрочные болты являются болтами нормальной точности (класс **B**), их ставят в отверстия большего диаметра, чем болт, но гайки затягиваются тарировочным ключом, позволяющим создавать и контролировать силу натяжения болтов. Большая сила натяжения болта плотно стягивает соединяемые элементы и обеспечивает монолитность соединения. При действии на такое соединение сдвигающих сил между соединяемыми элементами возникают силы трения, препятствующие сдвигу этих элементов относительно друг друга. Т.о. высокопрочный болт, *работая на осевое растяжение, обеспечивает передачу сил сдвига трением между соединяемыми элементами, именно поэтому подобное соединение часто называют фрикционным.*

Для увеличения сил трения поверхности элементов места стыков очищают от грязи, масла, ржавчины и окалины металлическими щетками, пескоструйным или дробеструйным аппаратом, огневой очисткой и не окрашивают. Иногда между соединяемыми поверхностями, очищенными металлическими щетками, вставляют тонкую стальную прокладку, имеющую с двух сторон покрытие полимерным клеем с корундовым порошком. Такое решение позволяет выравнивать перепад плоскостей стыкуемых деталей и одновременно дает высокий коэффициент трения.

Для улучшения работы соединения иногда применяют комбинированное клееболтовое соединение, в котором соединяемые поверхности склеивают специальными клеями, а затем стягивают высокопрочными болтами. Преимущества соединений на высокопрочных болтах в простоте устройства соединения; по качеству работы они не уступают сварным соединениям, но уступают по расходу металла.

Соединения на высокопрочных болтах рассчитывают в предположении передачи действующих в стыках и креплениях усилий через трение, возникающее по соприкасающимся плоскостям соединяемых элементов от натяжения высокопрочных болтов. При этом распределение продольной силы между болтами следует принимать равномерным.

Расчетное усилие  $Q_{bh}$ , воспринимаемое поверхностью трения под одним высокопрочным болтом определяют по формуле

$$Q_{bh} = \frac{R_{\partial k} \gamma_b A_{\partial k} \mu}{\gamma_h},$$

где  $R_{\partial k} = 0,7 R_{\partial k \text{ max}}$  расчетное сопротивление растяжению высокопрочного болта;

$\mu$  - коэффициент трения, таблица 37, / СНиП /;

$\gamma_h$  - коэффициент надежности, таблица 37;

$A_{\partial k}$  - площадь сечения болта нетто, таблица 62, / СНиП /;

$\gamma_b$  - коэффициент условий работы соединения, принимаемый

равным 0,8 при  $n < 5$ ; 0,9 при  $5 < n < 10$  и 1 при  $n \geq 10$ .

## Коэффициенты трения и коэффициенты надежности соединений на высокопрочных болтах

Способ обработки (очистки) соединяемых поверхностей	Способ регулирования натяжения болтов	Коэффициент трения $\mu$	Коэффициенты $\gamma_h$ при нагрузке и при разности номинальных диаметров отверстий и болтов $\delta$ , мм	
			динамической и при $\delta=3-5$ ; статической и при $\delta=5-6$	динамической и при $\delta=1$ ; статической и при $\delta=1-4$
1. Дробеметный или дробеструйный двух поверхностей без консервации	По $M$	0,58	1,35	1,12
	По $\alpha$	0,58	1,20	1,02
2. То же, с консервацией (металлизацией распылением цинка или алюминия)	По $M$	0,50	1,35	1,12
	По $\alpha$	0,50	1,20	1,02
3. Дробью одной поверхности с консервацией полимерным клеем и посыпкой карборундовым порошком, стальными щетками без консервации – другой поверхности	По $M$	0,50	1,35	1,12
	По $\alpha$	0,50	1,20	1,02
4. Газоплазменный двух поверхностей без консервации	По $M$	0,42	1,35	1,12
	По $\alpha$	0,42	1,20	1,02
5. Стальными щетками двух поверхностей без консервации	По $M$	0,35	1,35	1,17
	По $\alpha$	0,35	1,25	1,06
6. Без обработки	По $M$	0,25	1,70	1,30
	По $\alpha$	0,25	1,50	1,20

**Примечания:** 1. Способ регулирования натяжения болтов по  $M$  означает регулирование по моменту закручивания, а по  $\alpha$  — по углу поворота гайки.

Количество высокопрочных болтов в соединении при действии продольной силы определяют по формуле

$$n \geq \frac{N}{Q_{ок} k \gamma_c}$$

где  $k$  – количество поверхностей соприкосновения соединяемых элементов;

$N$  – действующее усилие.

Натяжение высокопрочного болта следует производить осевым усилием .

Расчет на прочность соединяемых элементов, ослабленных отверстиями под высокопрочные болты, следует выполнять с учетом того, что половина усилия, приходящегося на каждый болт, в рассматриваемом сечении уже передана силами трения.

При этом проверку ослабленных сечений следует производить при динамических нагрузках – по площади сечения нетто  $A_n$ , при статических нагрузках – по площади сечения брутто  $A$ , если  $A_n \geq 0,85A$  либо по условной площади  $A_{н\text{усл}}$



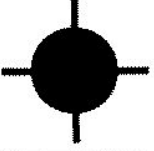
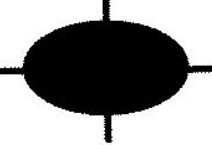
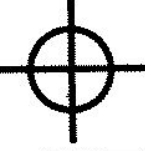

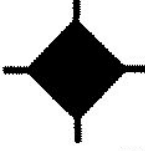
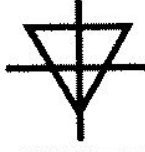
# Все болты следует размещать в соответствии с

Болты и гайки

Характеристика расстояния	Расстояния при размещении болтов
<p><b>1. Расстояния между центрами болтов в любом направлении:</b></p> <p><i>а)</i> минимальное</p> <p><i>б)</i> максимальное в крайних рядах при отсутствии окаймляющих уголков при растяжении и сжатии</p> <p><i>в)</i> максимальное в средних рядах, а также в крайних рядах при наличии окаймляющих уголков:</p> <p>    при растяжении</p> <p>    при сжатии</p>	<p>2,5d*</p> <p>8d или 12t</p> <p>16d или 24t</p> <p>12d или 18t</p>
<p><b>1. Расстояния от центра болта до края элемента:</b></p> <p><i>а)</i> минимальное вдоль усилия</p> <p><i>б)</i> то же, поперек усилия:</p> <p>    при обрезных кромках</p> <p>    при прокатных кромках</p> <p><i>в)</i> максимальное</p> <p><i>г)</i> минимальное для высокопрочных болтов при любой кромке и любом направлении усилия</p>	<p>2d</p> <p>1,5d</p> <p>1,2d</p> <p>4d или 8t</p> <p>1,3t</p>

\* В соединяемых элементах из стали с пределом текучести свыше 380 МПа минимальное расстояние между болтами следует принимать равным 3d. Обозначения, принятые в таблице: d – диаметр отверстия для болта; t – толщина наиболее тонкого наружного эл-та.

## Условные обозначения отверстий, болтов и заклепок

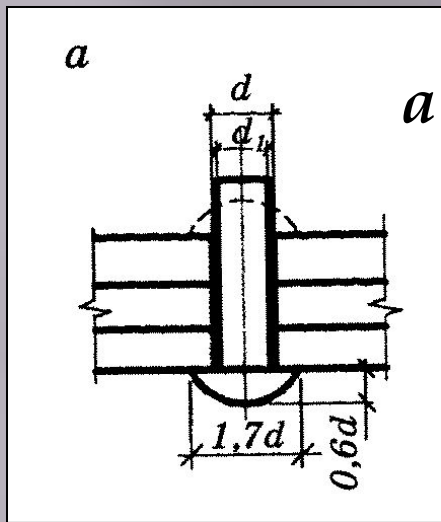
Виды отверстий, болтов и заклепок	Обозначение
Круглое отверстие	
Овальное отверстие	
Заклепка	
Обычные болты в заводских и монтажных соединениях	
Временные (черные) болты в монтажных соединениях	
Высокопрочные болты	

# ЗАКЛЕПОЧНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

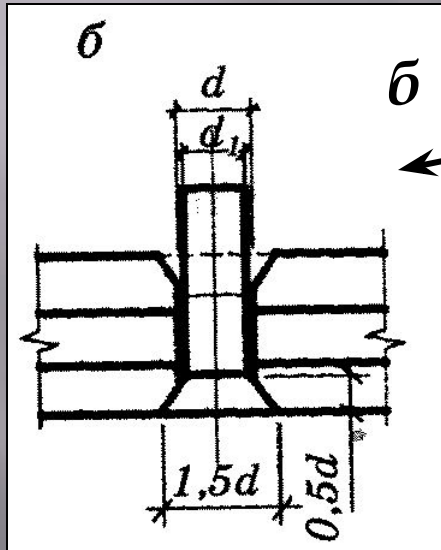
Заклепочные соединения при изготовлении строительных стальных конструкций в настоящее время не применяются вследствие своей нетехнологичности. При изготовлении же конструкций из алюминиевых сплавов заклепочные соединения выполняют в элементах, подвергающихся значительным статическим и динамическим воздействиям.

Заклепки с круглой, потайной или полупотайной головками изготавливают из алюминиевых сплавов с большей пластичностью, чем соединяемые элементы. Соединения выполняют холодной клепкой, при которой достигается лучшее заполнение отверстия стержнем заклепки и не снижается прочность основного металла. Процесс клепки состоит в плотном заполнении отверстий в соединяемых элементах и образовании второй головки заклепки, называемой замыкающей.

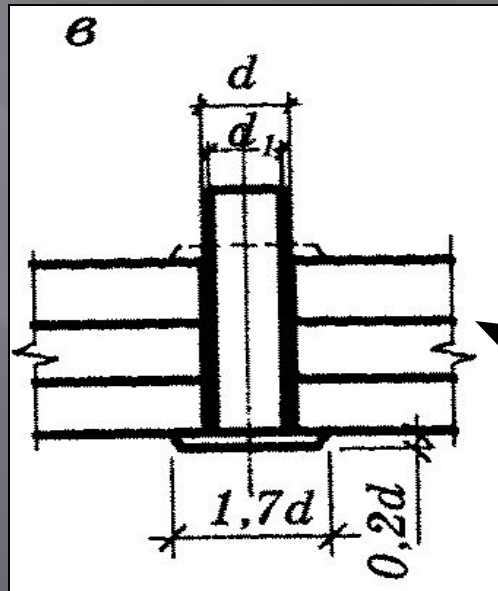
Расчет заклепочных соединений производится так же



**a** – заклепка с круглой головкой



**б** – заклепка с потайной головкой



**в** – заклепка с полупотайной головкой

