

Металлические конструкции в современном строительстве

УЗЛЫ И СОЕДИНЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ



ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ
ОБРАЗОВАНИЕ

ipk.tsogu.ru

28 39 77

© Корсун Н.Д., 2017

© ТИУ, 2017

1. ВИДЫ СОЕДИНЕНИЙ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ



Сварные

- основной вид соединений



Болтовые

- фланцевые
- срезные
- фрикционные
- фрикционно-срезные
- клееболтовые



Специальные

- дюбельные
- на самонарезающих и самосверлящих винтах
- на комбинированных заклепках

Виды соединений по месту выполнения



Заводские

- преимущественно сварные



Монтажные

- преимущественно болтовые

2. СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ



Материалы сварки

Сварочные
электроды по ГОСТ
9467

- Э42; Э42А
- Э46; Э46А
- Э50; Э50А; Э60; Э70

Сварочная
проволока по ГОСТ
2246

- Св-08А; Св-08ГА
- Св-08Г2С; Св-10ГА
- Св-08ХГСМА и др.

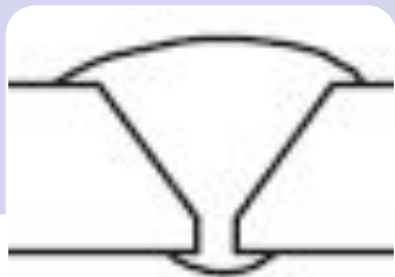
Флюсы по ГОСТ
9087

- АН-348-А; АН-60
- АН-17-М; АН-43 и др.

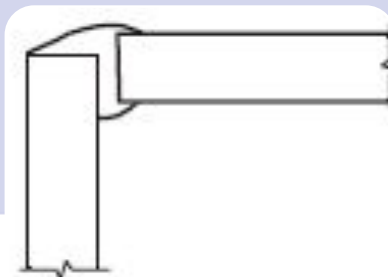
Порошковая
проволока по ГОСТ
26271

- ПП-АН-3
- ПП-АН-8

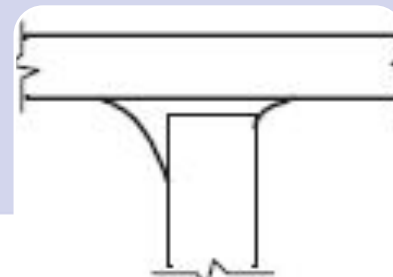
Типы сварных соединений



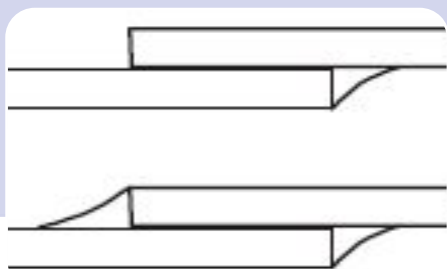
СТЫКОВЫЕ



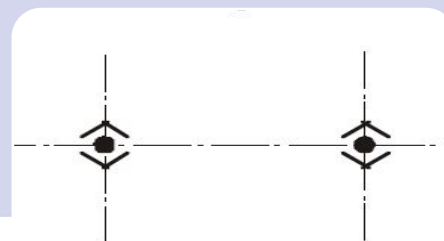
угловые



тавровые



нахлесточные



на электрозаклепках

Классификация сварных швов

по месту выполнения

- заводские
- монтажные

по технологическому исполнению

- односторонние и двусторонние
- с полным и неполным проваром

по расположению относительно действующих усилий

- фланговые
- лобовые

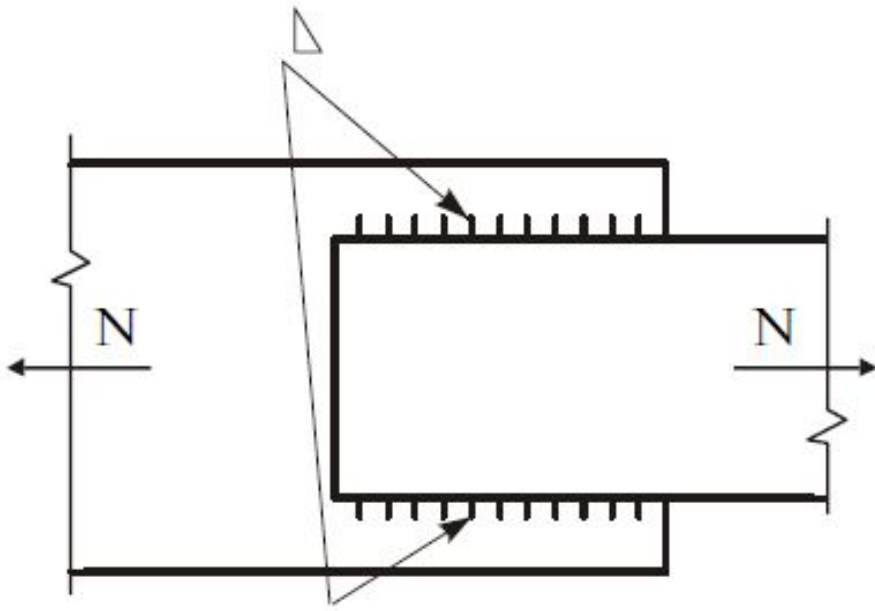
по расположению швов в пространстве

- нижние
- вертикальные
- потолочные

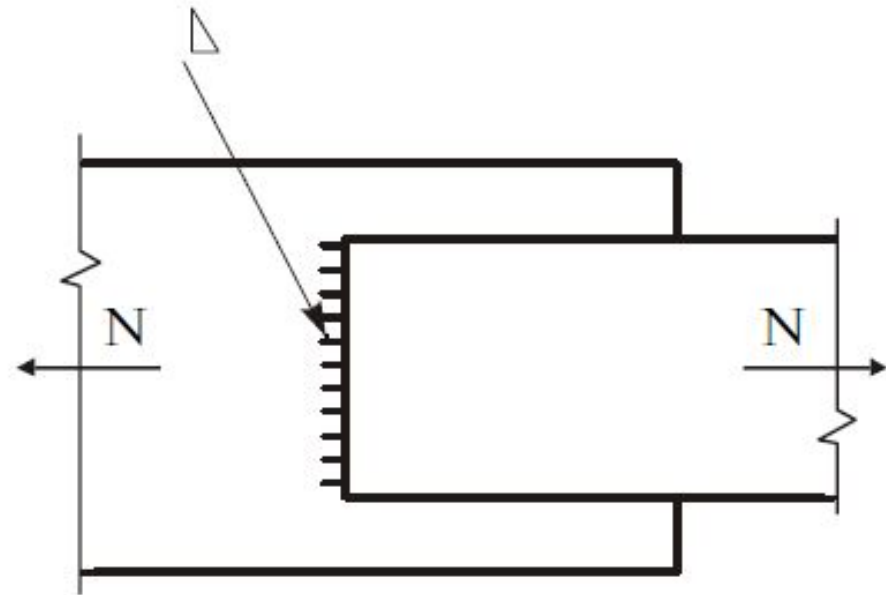
по подготовке кромок

- со скосами кромок (одной, двух, симметричными, несимметричными)
- без скоса кромок

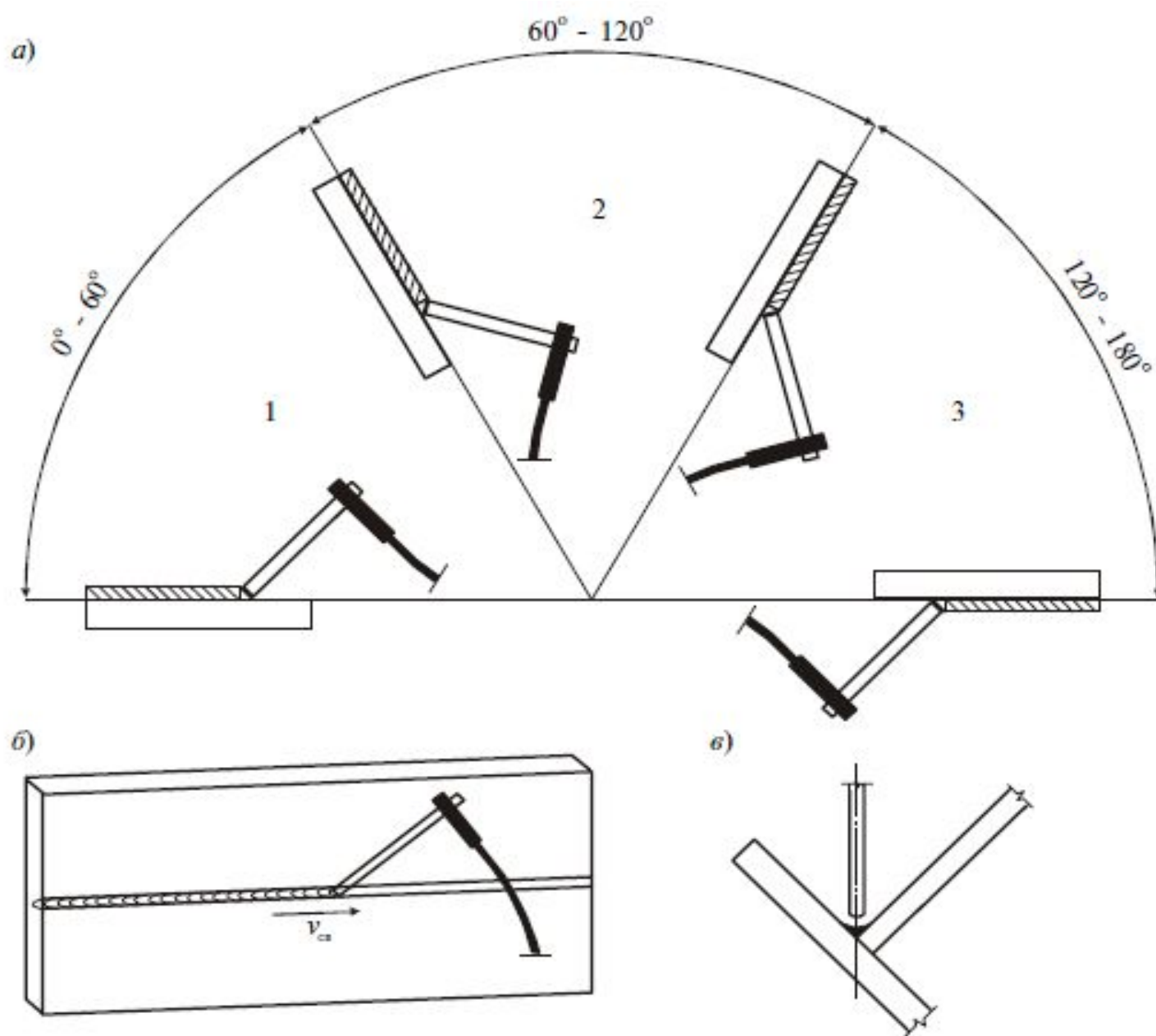
Сварные швы по расположению относительно действующих усилий



фланговые швы



лобовой шов

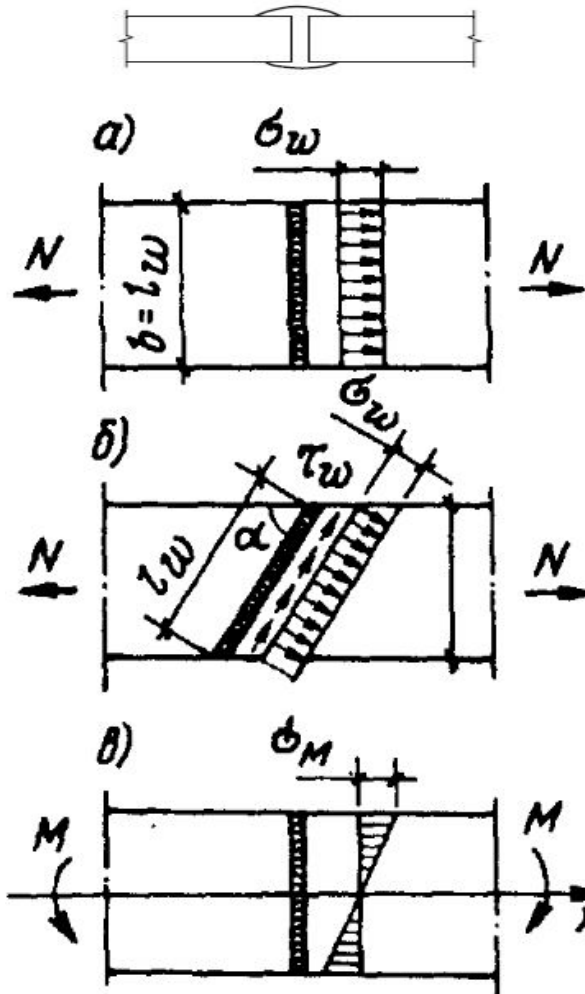


Положения сварных швов в пространстве

a – расположение: 1 – нижнее; 2 – вертикальное; 3 – потолочное; *б* – то же, горизонтальное на вертикальной плоскости; *в* – положение элементов при сварке “в лодочку”

Расчет сварных стыковых швов

- условия прочности стыкового шва



$$N / (tl_w R_{wy} \gamma_c) \leq 1$$

$$\sigma_w = N \sin \alpha / tl_w ;$$

$$\tau_w = N \cos \alpha / tl_w ,$$

$$\sigma_{ef} = \sqrt{\sigma_w^2 + 3\tau_w^2} \leq 1,15 R_{wy} \gamma_c$$

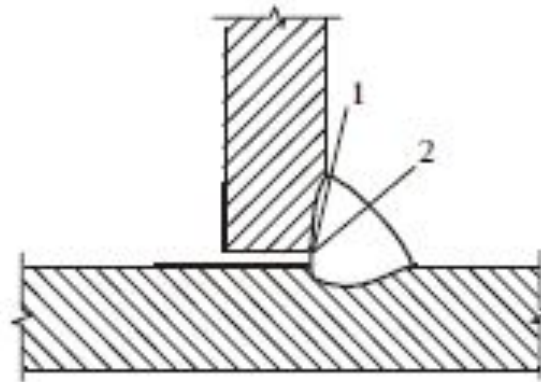
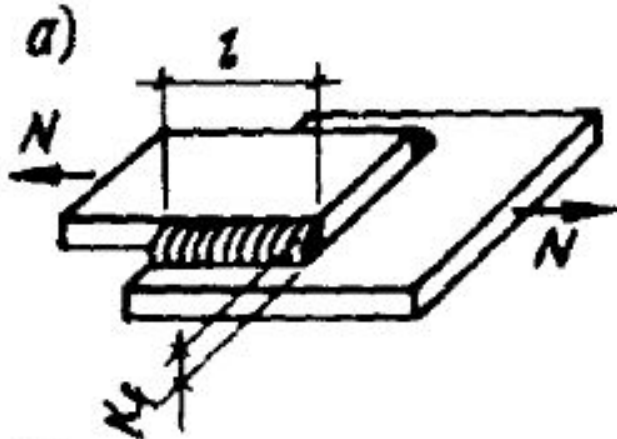
$$\sigma_w = \frac{M}{W_w} \leq R_{wy} \gamma_c$$

Длина стыкового шва: $l_w = b$ -с выводными планками

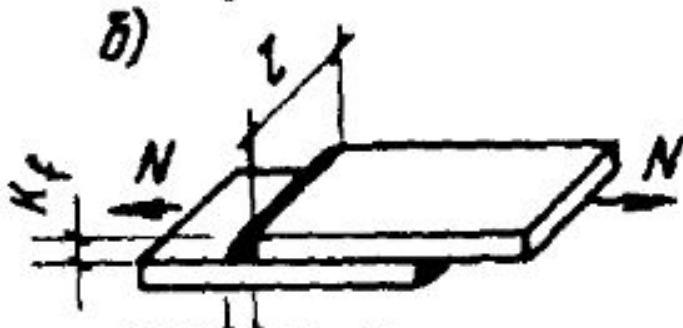
$l_w = b - 2t$ - без планок

Расчет сварных угловых швов

- условия прочности сварного углового шва на действие силы N



1 – сечение по металлу границы сплавления
2 – сечение по металлу шва



при $\frac{\beta_f R_{wf}}{\beta_z R_{wz}} \leq 1$

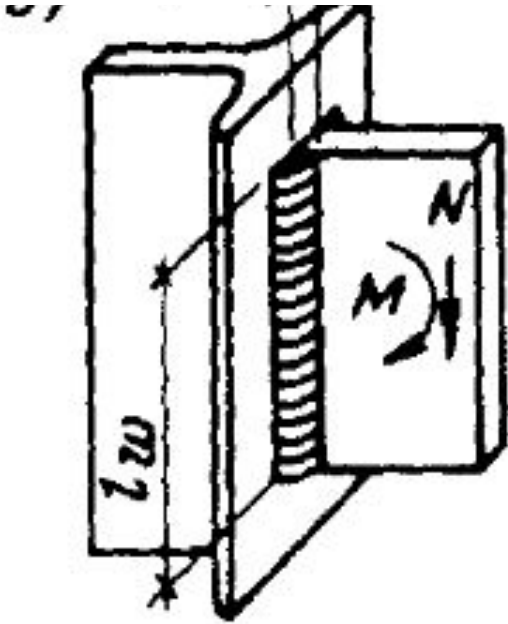
$$\frac{N}{\beta_f k_f l_w R_{wf} \gamma_c} \leq 1$$

при $\frac{\beta_f R_{wf}}{\beta_z R_{wz}} > 1$

$$\frac{N}{\beta_z k_f l_w R_{wz} \gamma_c} \leq 1$$

l_w – расчетная длина шва, $l_w = l - 1$

- условия прочности сварного углового шва на действие момента в плоскости, перпендикулярной плоскости расположения швов



при $\frac{\beta_f R_{wf}}{\beta_z R_{wz}} \leq 1$

$$\frac{M}{W_f R_{wf} \gamma_c} \leq 1$$

при $\frac{\beta_f R_{wf}}{\beta_z R_{wz}} > 1$

$$\frac{M}{W_z R_{wz} \gamma_c} \leq 1$$

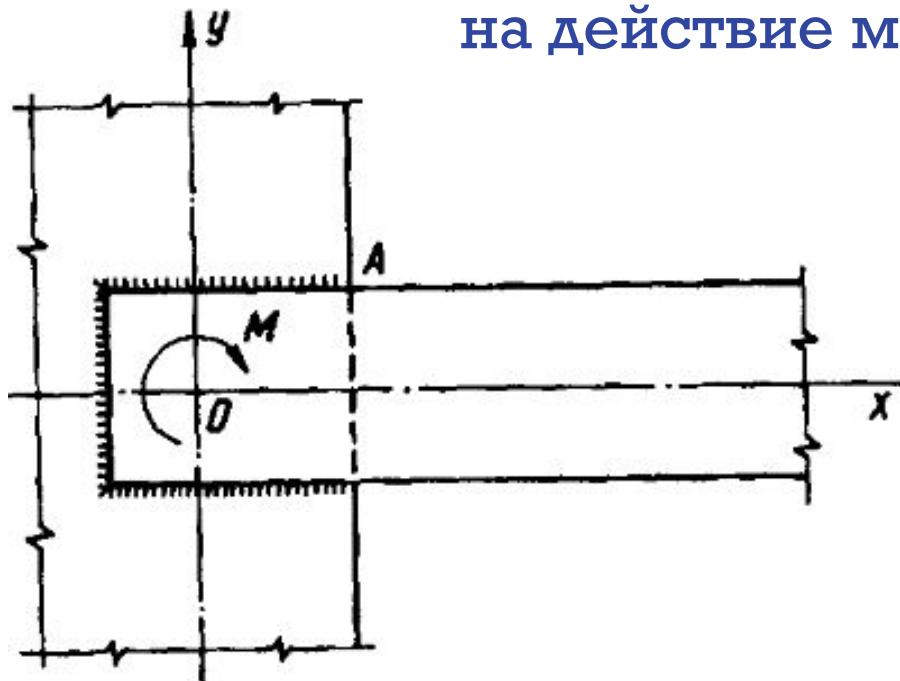
- условия прочности сварного углового шва на действие момента M и силы N

$$\frac{\tau_f}{R_{wf} \gamma_c} \leq 1$$

$$\frac{\tau_z}{R_{wz} \gamma_c} \leq 1$$

где τ_f, τ_z - геометрическая сумма напряжений от M

- условия прочности сварного углового шва на действие момента в плоскости шва



$$\frac{M \sqrt{x^2 + y^2}}{(I_{fx} + I_{fy}) R_{wf} \gamma_c} \leq 1$$

$$\frac{M \sqrt{x^2 + y^2}}{(I_{zx} + I_{zy}) R_{wz} \gamma_c} \leq 1$$

Конструктивные требования к сварным соединениям

- **максимальный катет** сварного шва – $k_f \leq 1,2t$
- **минимальный катет** сварного шва – табл. СП 16.13330.2011
- **минимальная длина флангового** сварного шва
$$l_w \geq \begin{cases} 4k_f \\ 40 \text{ мм} \end{cases}$$
- **максимальная длина флангового** сварного шва

$$l_w \leq 85k_f \beta_f$$

Вид соединения	Вид сварки	Предел текучести стали, Н/мм ²	Минимальный катет шва k_f , мм, при толщине более толстого из свариваемых элементов t , мм						
			4-5	6-10	11-16	17-22	23-32	33-40	41-80
Тавровое с двусторонними угловыми швами Нахлесточное и угловое	Ручная дуговая	До 285	4	4	4	5	5	6	6
		Св. 285 до 390	4	5	6	7	8	9	10
		» 390 » 590	5	6	7	8	9	10	12
	Автоматическая и механизированная	До 285	3	4	4	5	5	6	6
		Св. 285 до 390	3	4	5	6	7	8	9
		» 390 » 590	4	5	6	7	8	9	10
Тавровое с односторонними угловыми швами	Ручная дуговая	До 375	5	6	7	8	9	10	12
	Автоматическая и механизированная		4	5	6	7	8	9	10

3. БОЛТОВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

Виды болтовых соединений



фланцевые



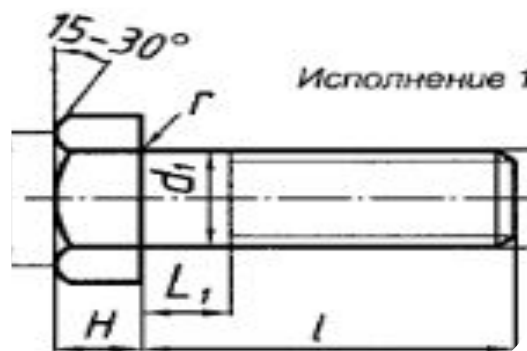
срезные



фрикционные



анкерные



другие виды: фрикционно-срезные;

клееболтовые: болто-заклепочные

Материалы болтовых соединений

Обычные болты

- ГОСТ Р 52627
- классы прочности:
 - 5.6
 - 5.8
 - 8.8
 - 10.9
 - 12.9

Высокопрочные болты

- ГОСТ Р 52643
- Классы прочности/марки стали:
 - 6.8/40X
 - 8.8/40X
 - 9.8/40X, 30X3МФ
 - 10.9/40X, 30X3МФ, 30X2НМФА
 - 12.9/20X2НМТРБ

Фундаментные болты

- ГОСТ 535
 - Ст3пс2
 - Ст3пс4
 - Ст3сп2
 - Ст3сп4
- ГОСТ 1050
 - 20
- ГОСТ 19281
 - 09Г2С-4
 - 09Г2С-6

Расчетные сопротивления болтовых соединений

Расчетные сопротивления болтов срезу и растяжению

Напряженное состояние	Расчетное сопротивление в Н/мм ² болтов классов прочности					
	5.6	5.8	8.8	10.9	12.9	-
Срез R_{bs}	210	210	330	415	425	$0,4R_{bun}$
Растяжение R_{bt}	225	-	450	560	-	$0,7R_{bun}$

Расчетные сопротивления растяжению фундаментных болтов

Номинальный диаметр болтов, мм	Расчетные сопротивления R_{ba} , Н/мм ² , болтов из стали марок	
	по ГОСТ 535*	по ГОСТ 19281*
	Ст3пс4, Ст3пс2, Ст3сп4, Ст3сп2	09Г2С-4, 09Г2С-6
12, 16, 20	200	265
24, 30	190	245
36	190	230
42, 48, 56	180	230
64, 72, 80	180	220
90, 100	180	210
110, 125, 140	165	210

Нормативные и расчетные сопротивления растяжению высокопрочных болтов из стали 40Х по ГОСТ Р 52643

Номинальный диаметр резьбы d , мм	$R_{bлп}$, Н/мм ²	R_{bh} , Н/мм ²
16, 20, (22), 24, (27)	1078	755
30	900	630
36	800	560
42	650	455
48	600	420
Примечание — Размеры, заключенные в скобки, применять не рекомендуется.		

Маркировка болтов

обычные по ГОСТ Р 52627

*высокопрочные по ГОСТ Р
52643*



Класс прочности

- **8.8 – маркировка класса прочности**
 - $8 \cdot 10 = 80$ кгс/мм² – нормативное временное сопротивление стали болта;
 - $8 \cdot 8 = 64$ кгс/мм² – нормативное сопротивление по пределу текучести
- **S** – обозначение высокопрочного болта с шестигранной головкой с увеличенным размером под ключ
- **U** – обозначение болтов с уменьшенной резьбой

Диаметры болтов

Диаметр болта (М)	16	20	24	(27)	30	36	42	48
$A_b, \text{см}^2$	2,01	3,14	4,52	5,72	7,06	10,17	13,85	18,09
$A_{bn}, \text{см}^2$	1,57	2,45	3,52	4,59	5,61	8,16	11,20	14,72

Классы точности соединений

Класс точности	А – повышенны й	В – нормальны й	С – пониженны й
$\Delta = d_{отв} - d_b, \text{мм}$	1	2÷3	>3
Вид болтового соединения	фрикционное	фрикционные, фланцевые, срезные	фрикционные, с анкерными болтами

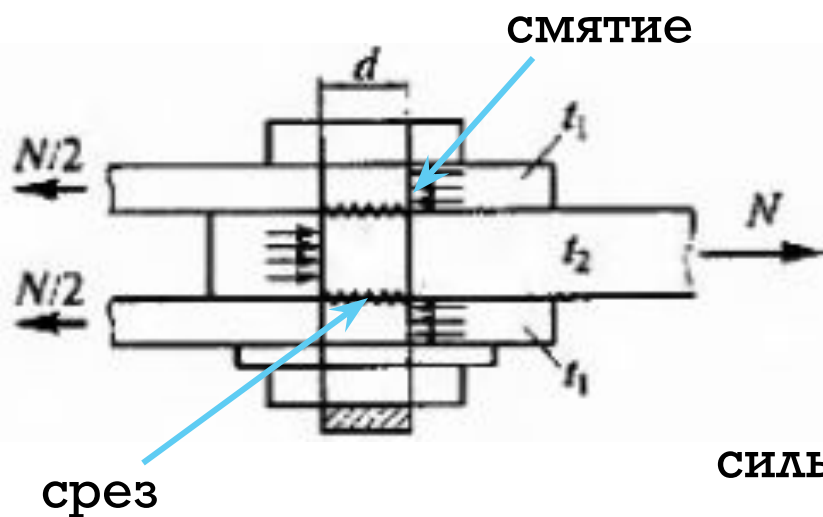
Области применения видов болтовых соединений

Группы конструкций	1-ая группа – работающие в особо тяжелых условиях (балки подкрановые, фермы, колонны с фрезерованным и торцами, балки перекрытий, стыки балок и растянутых поясов ферм)	2-ая группа – подвергающиеся действию статических нагрузок (балки и настилы покрытий, прогоны, колонны)	3-ья группа – вспомогательные конструкции (связи, фахверк)
Фрикционные соединения	на высокопрочных болтах и болтах класса 10.9 M16, M20, M24, M27		
Срезные соединения	-	на болтах классов 5.6, 5.8, 8.8, 10.9 M16, M20, M24, M27	
Фланцевые соединения	на высокопрочных болтах M20, M24, M27		-

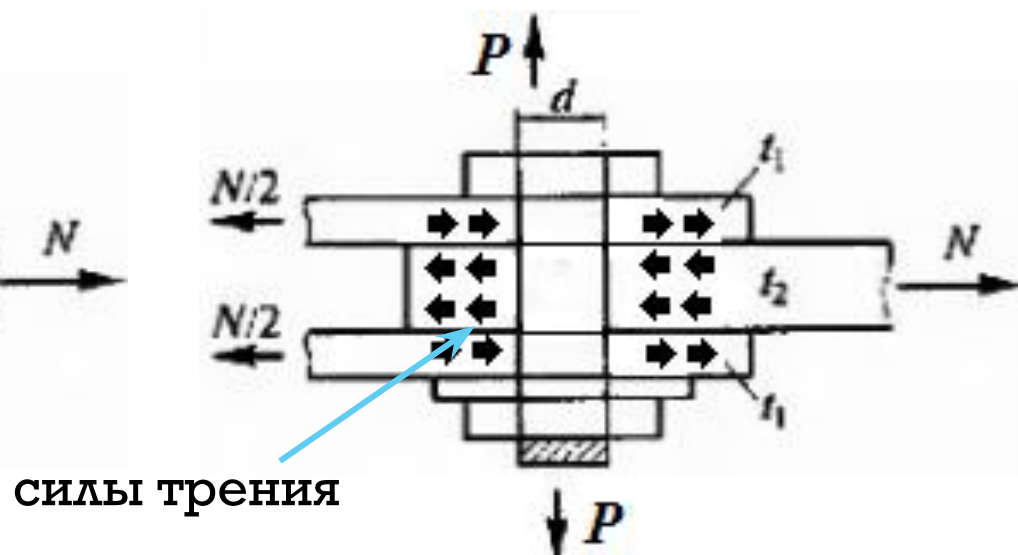
Особенности работы фрикционных соединений

Во фрикционных (сдвигоустойчивых) соединениях усилие воспринимается за счет **предварительного натяжения болтов P** и обжатия поверхностей деталей, между которыми возникают **силы трения**

Срезное
соединение



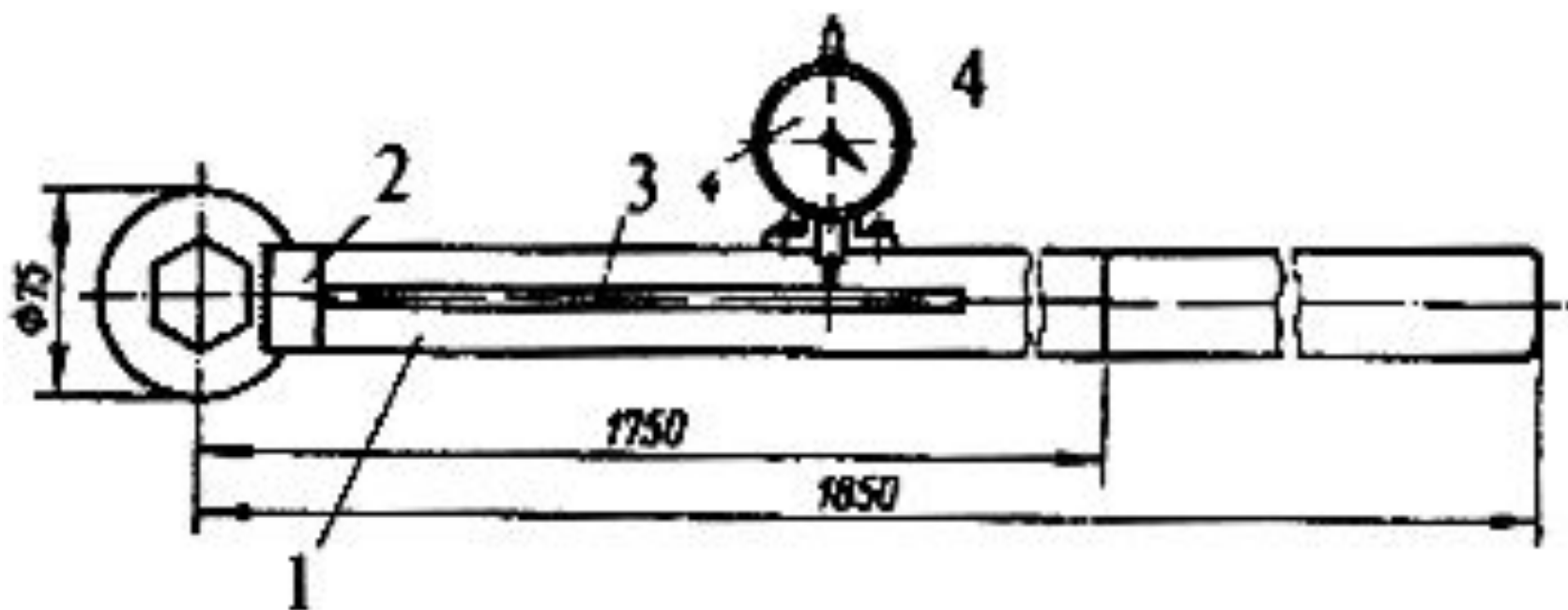
Фрикционное соединение



Технология устройства фрикционных соединений

- **Виды обработки поверхностей:**
 - дробеметная, дробеструйная
 - стальными щетками
 - газопламенная
 - без обработки
- **Способы консервации поверхностей:**
 - без консервации
 - металлизация распылением цинка или алюминия
 - полимерным клеем и посыпкой корундовым порошком

- Инструменты для постановки болтов
 - индикаторные динамометрические ключи
 - сигнальные динамометрические ключи



■ Тарировка динамометрических ключей



Величина крутящего момента

$$M_{кр} = ndKP$$

$n=1,06$ – коэффициент запаса;

d – диаметр болта;

K – коэффициент закручивания (при отсутствии экспериментальных данных $K=0,18$);

P – осевое натяжение болта по проекту

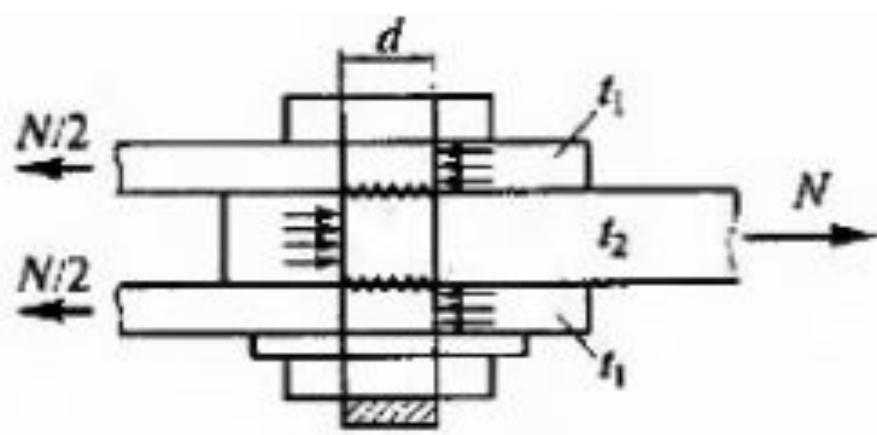
$$P = R_{bh} A_{bn}$$

$$R_{bh} = 0,7 R_{bun}$$

d , мм	P , кН
20	167
24	239
27	312

Расчет срезных болтовых соединений

- несущая способность срезного одноболтового соединения



- на срез

$$N_{bs} = R_{bs} A_b n_s \gamma_b \gamma_c$$

- на смятие

$$N_{bp} = R_{bp} d_b \sum t \gamma_b \gamma_c$$

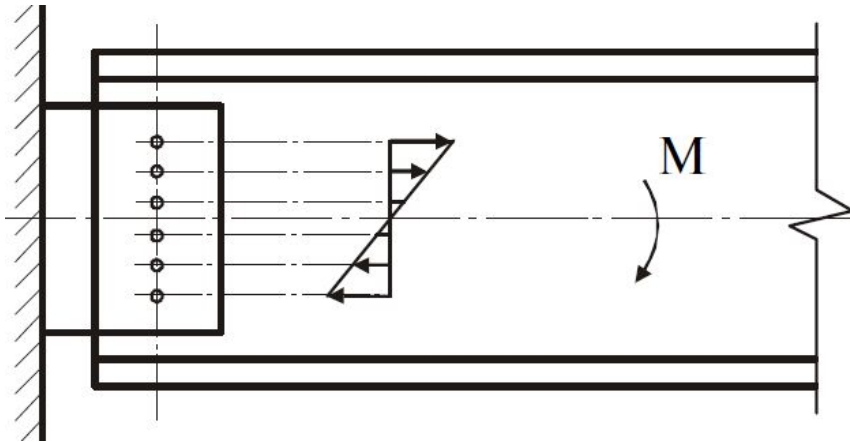
- условие прочности срезного болтового соединения

$$n \geq N / N_{b,\min}$$

Расчетные сопротивления смятию элементов, соединяемых болтами

Временное сопротивление стали соединяемых элементов $R_{ст}$, Н/мм ²	Расчетные сопротивления $R_{бп}$, Н/мм ² , смятию элементов, соединяемых болтами	
	класса точности <u>A</u>	классов точности <u>B</u>
360	560	475
370	580	485
380	590	500
390	610	515
430	670	565
440	685	580
450	700	595
460	720	605
470	735	620
480	750	630
490	765	645
510	795	670
540	845	710
570	890	750
590	920	775

- условие прочности срезного болтового соединения на действие момента

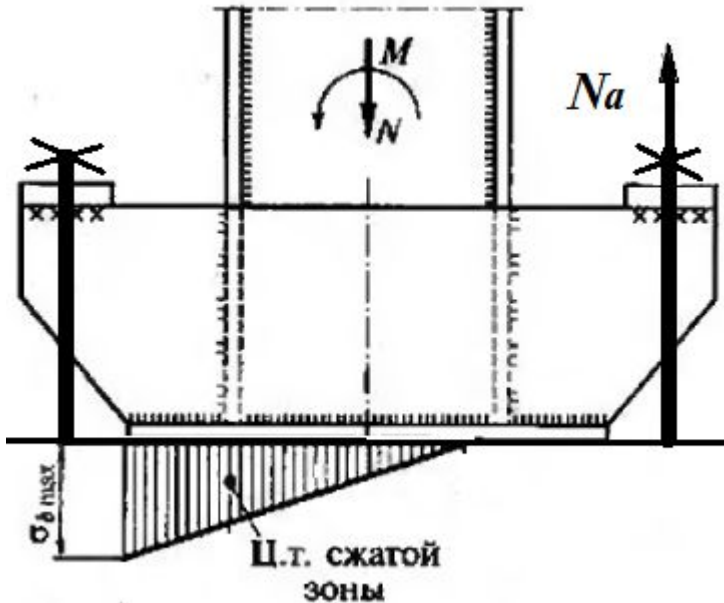


$$N_{\max} \leq N_{b,\min}$$

где

$$N_{\max} = \frac{M \cdot a_{\max}}{\sum a_i^2}$$

- несущая способность болтового соединения на растяжение



$$N_{bt} = R_{bt} A_{bn} \gamma_c$$

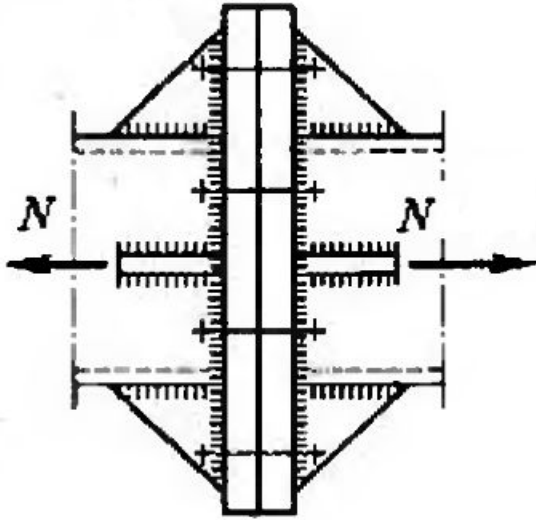
Условие прочности болтового соединения на растяжение

$$n \geq N / N_{bt}$$

- расчет болтового соединения на совместное действие усилий растяжения и среза

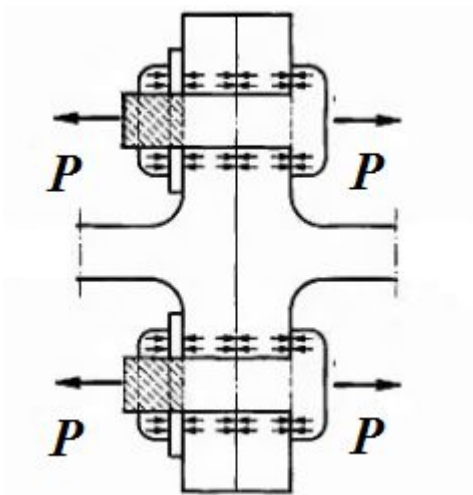
$$\sqrt{(N_s / N_{bs})^2 + (N_t / N_{bt})^2} \leq 1$$

Расчет фланцевых болтовых соединений



При расчете фланцевых соединений следует проверять:

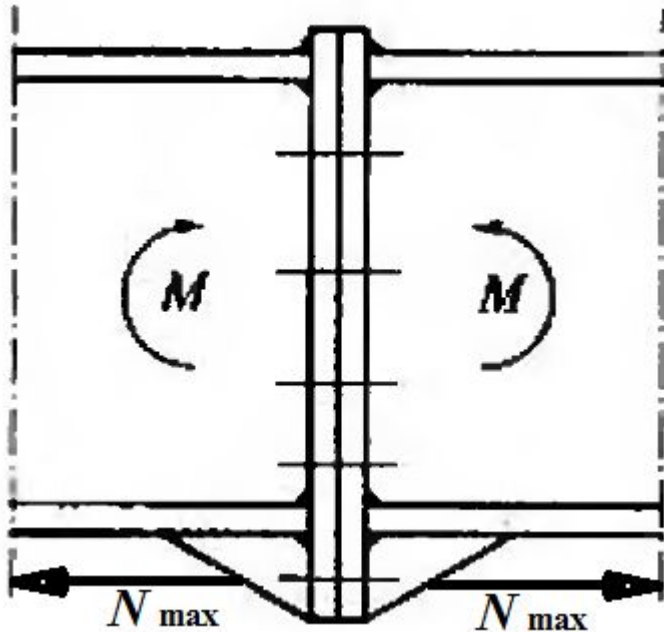
- несущую способность болтового соединения на растяжение
- прочность фланцевых листов при изгибе
- прочность сварных швов, соединяющих фланец с основным металлом
- несущую способность фрикционного соединения (при действии сил сдвига)



- расчетное усилие предварительного натяжения болтов во фланцевом соединении

$$P = 0,9 R_{bt} A_{bn}$$

где $R_{bt} = 0,7 R_{bun}$



- несущая способность и условие прочности фланцевого болтового соединения

$$N_{bt} = 0,9 R_{bt} A_{bn}$$

$$N_{\max} \leq N_{bt}$$

Материал и толщина фланцев во фланцевых соединениях

Материал фланцев:

- листовая сталь по 19903-74* с гарантированными характеристиками по толщине проката;
- низколегированная сталь марок 09Г2С-15, 14Г2АФ-15, С345, С375

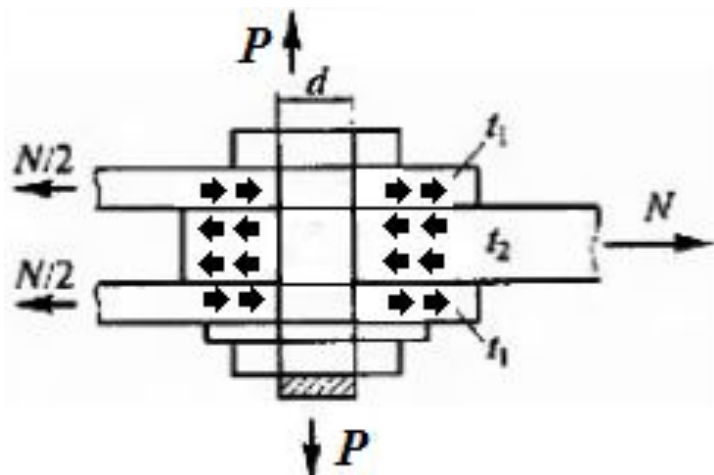
Рекомендуемые сочетания диаметров болтов и толщин фланцев

Диаметр болта	Толщина фланца, мм
M20	20
M24	25
M27	30

Расчет фрикционных соединений

- условие прочности фрикционного соединения

$$N \leq Q_{bh} k n \gamma_b \gamma_c$$



где Q_{bh} - расчетное усилие, которое может быть воспринято одной поверхностью трения соединяемых элементов, стянутых одним болтом

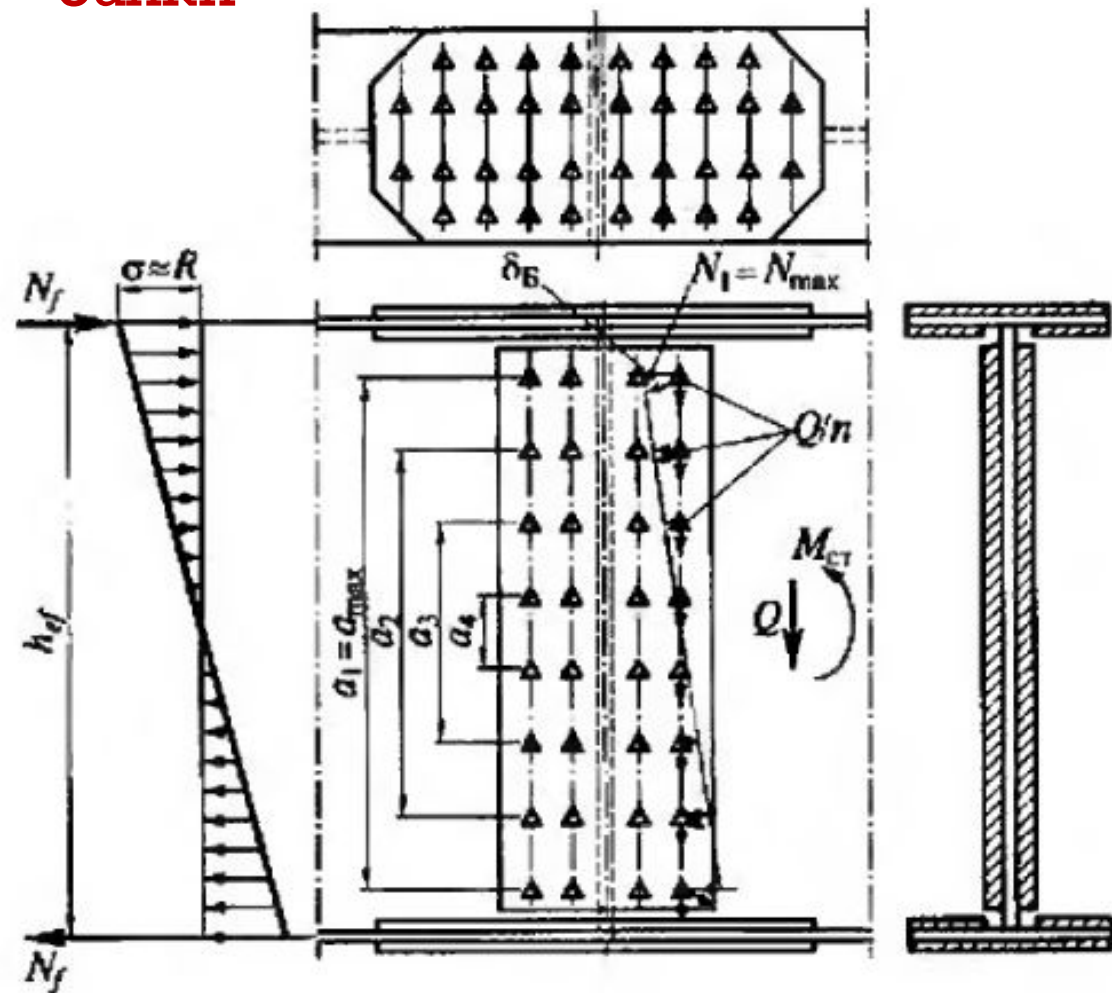
$$Q_{bh} = \frac{R_{bh} A_{bn} \mu}{\gamma_h}$$

где μ - коэффициент трения, $\mu=0,25 \div 0,58$;

γ_h - коэффициент надежности,

$\gamma_h = 1,02 \div 1,30$

Расчет фрикционного соединения в монтажном стыке балки



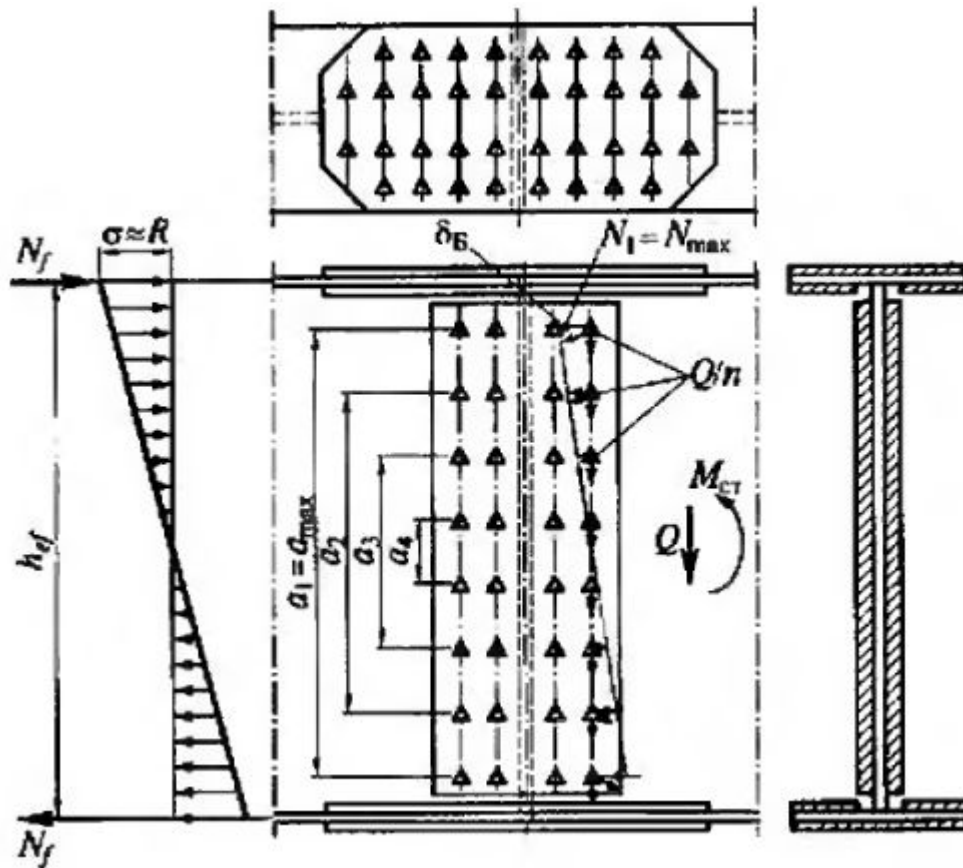
Усилие в **поясах** балки

-

$$N_f = \frac{M \cdot I_f}{h_{ef} \cdot I}$$

Требуемое количество болтов на поясной полунакладке -

$$n \geq \frac{N_f}{Q_{bh} k \gamma_b \gamma_c}$$



Усилие в крайних **болтах**
по стенке балки от М -

$$N_{\max} = \frac{M_w \cdot a_{\max}}{m \cdot \sum a_i^2}$$

Усилие от Q -

$$V = Q / n$$

Равнодействующее
усилие в крайнем болте
по стенке

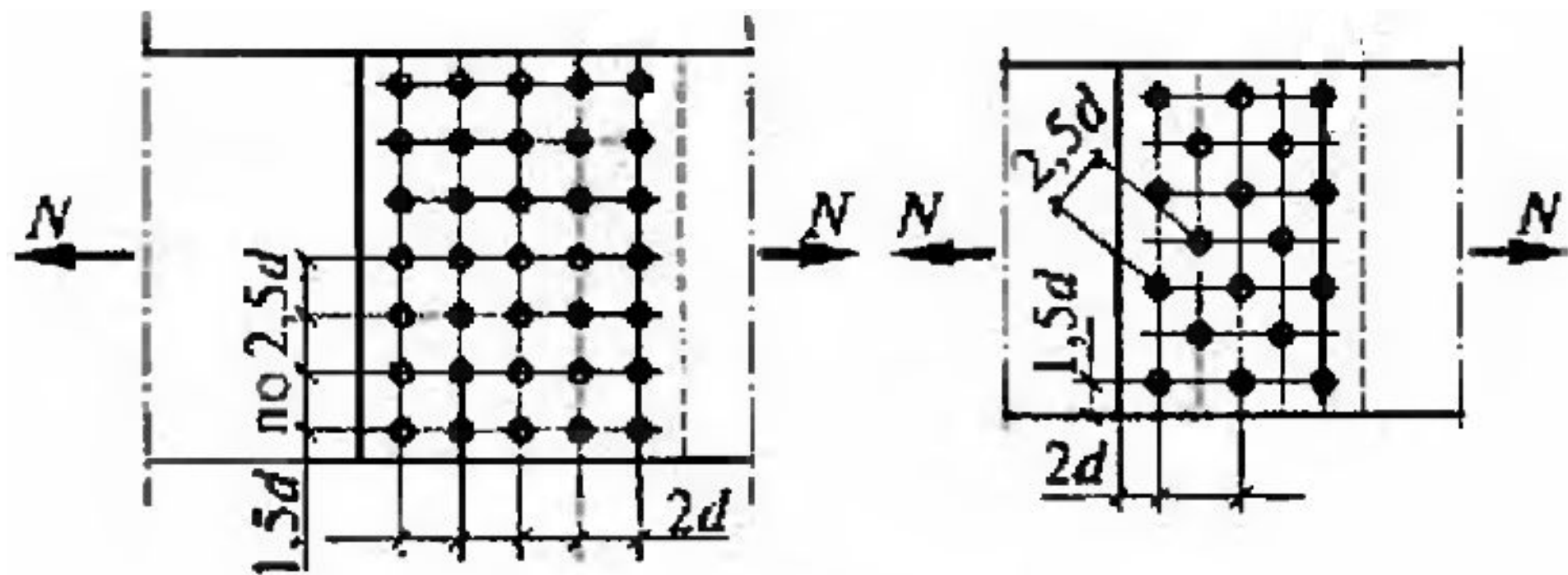
$$N_t = \sqrt{N_{\max}^2 + V^2}$$

▪ **условие прочности для болтового соединения по стенке балки**

$$N_t \leq Q_{bh} k \gamma_b \gamma_c$$

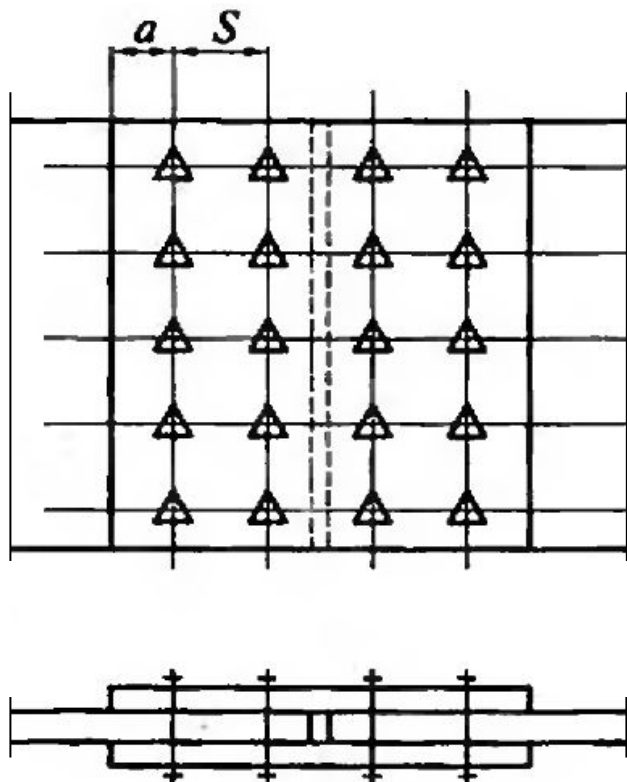
Конструктивные требования к болтовым соединениям

Конструктивные требования к соединениям на обычных болтах



кромочное $a_{\max} \leq \begin{cases} 4d \\ 8t \end{cases}$ между болтами $s_{\max} \leq \begin{cases} 8d \\ 12t \end{cases}$

Конструктивные требования к соединениям на высокопрочных болтах



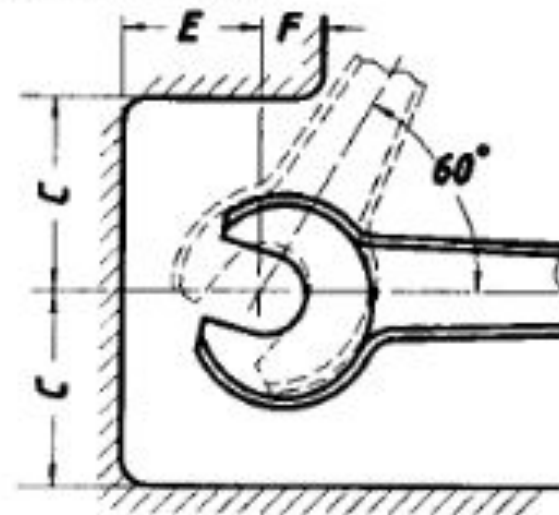
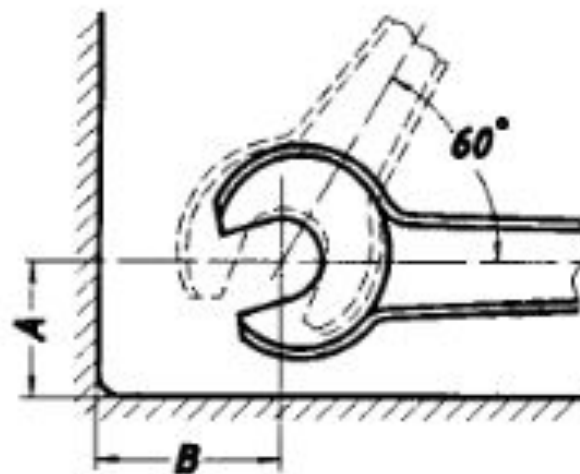
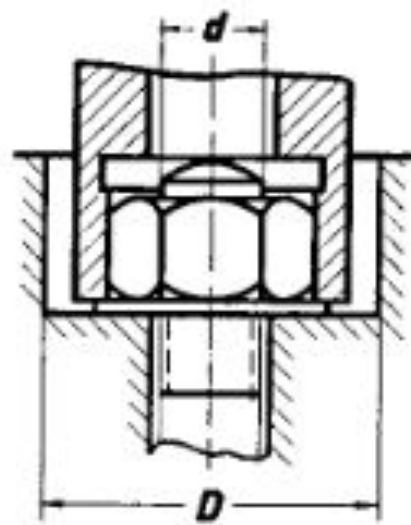
$$a_{\min} \geq 1,3d$$

$$a_{\max} \leq \begin{cases} 4d \\ 8t \end{cases}$$

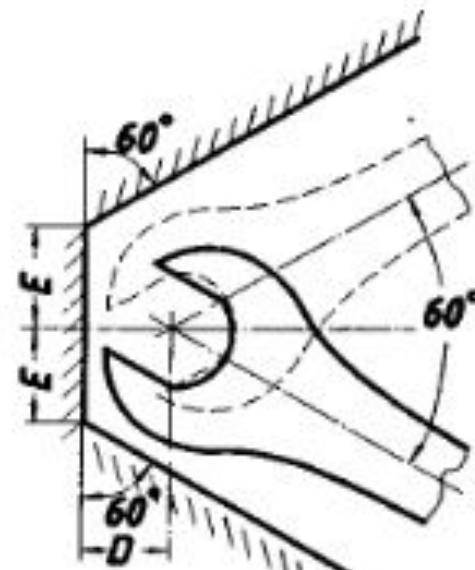
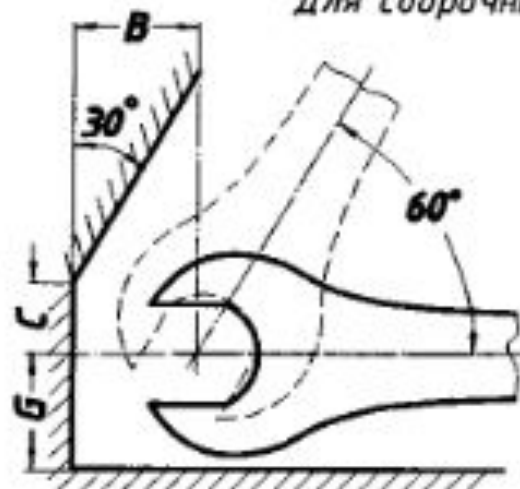
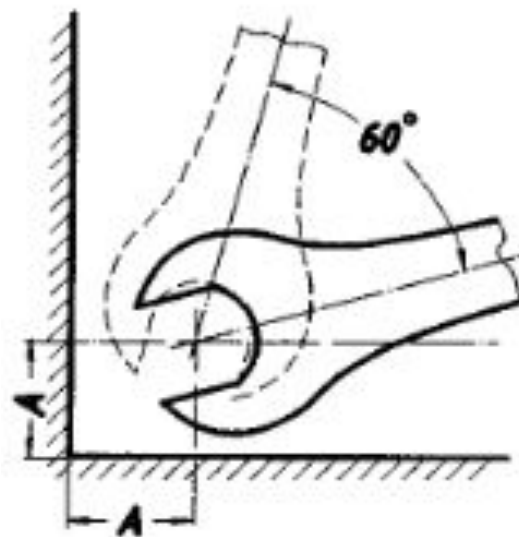
$$S_{\min} \geq 2,5d$$

$$S_{\max} \leq \begin{cases} 8d \\ 12t \end{cases}$$

Для ключей по ГОСТ 2839-54

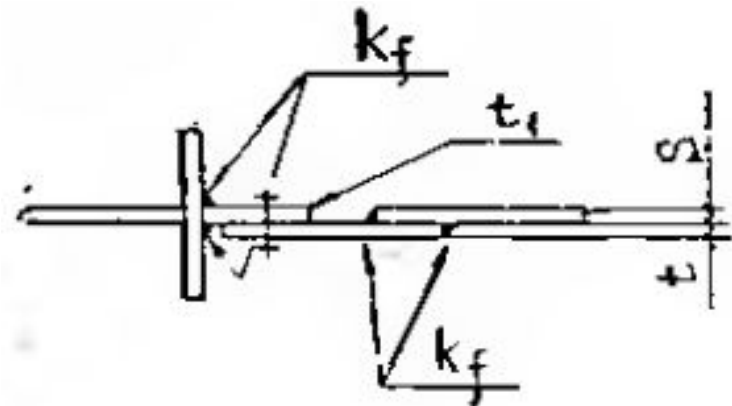
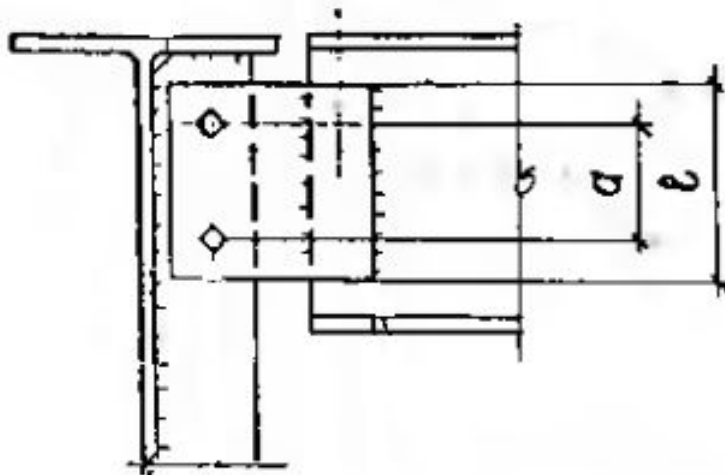
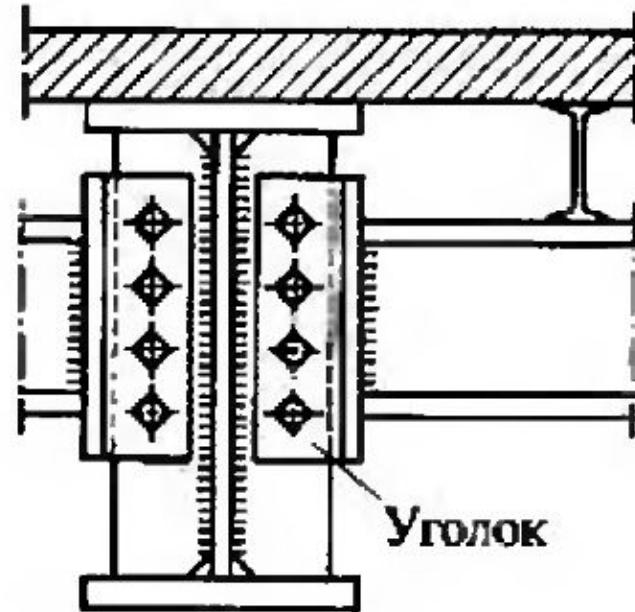
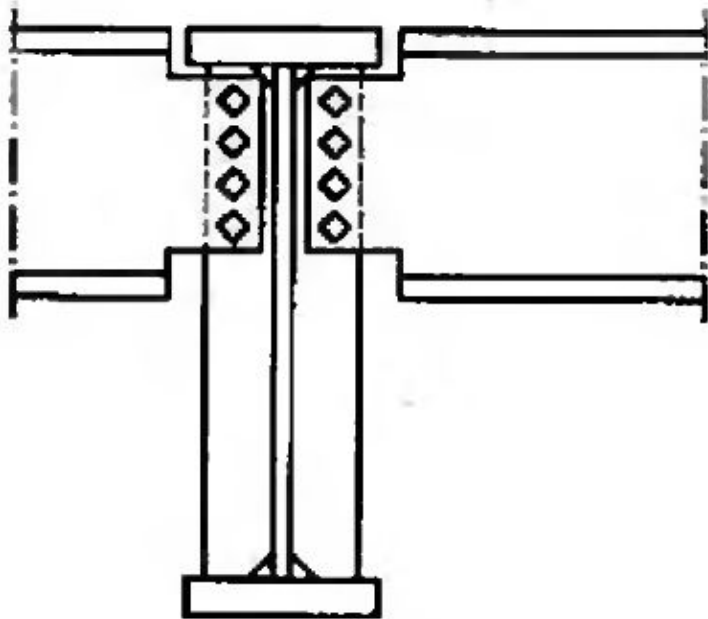


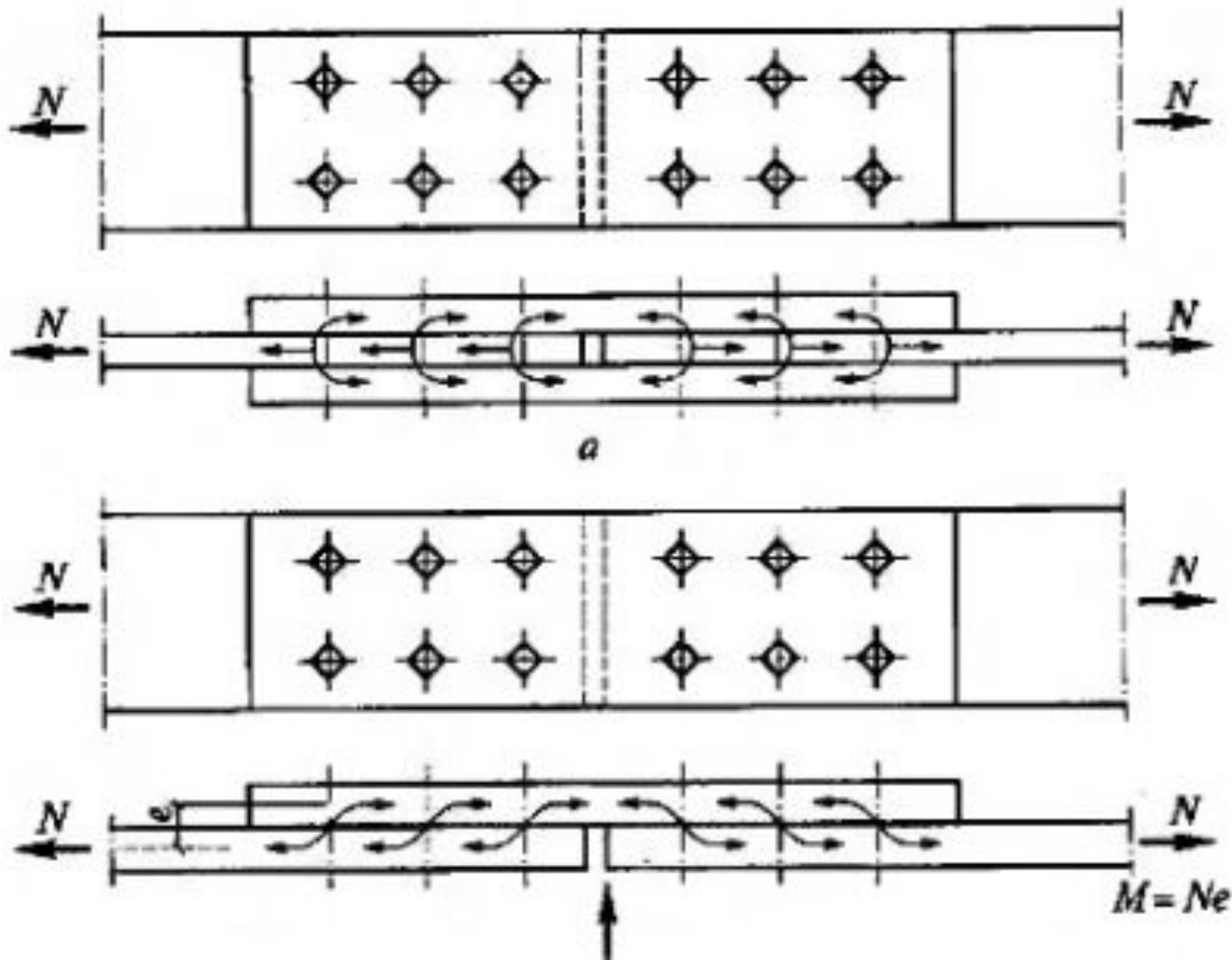
Для сборочных ключей



4. УЗЛЫ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ

Конструкции срезных соединений





Конструкции фланцевых соединений

