

Кафедра «Металлические и деревянные конструкции»
курс «Металлические конструкции», 1 ч.

лекция № 8. «Болтовые соединения»

Лектор ст. преподаватель кафедры «МиДК»
Крайнов Андрей Викторович



Расчёт болтовых соединений.

Как указывалась в предыдущей лекции кроме сварных соединений стальных элементов между собой, применяется болтовое соединение. Соединение на болтах на сегодня является основным способом сопряжений элементов на площадке. Такой способ позволяет быстро и точно производить монтаж с минимальным набором оборудования. Хотя стоимость изготовления таких соединений выше сварного, но качество и скорость сборки на месте перекрывает эти затраты.

Как и сварной шов в болтовых соединениях различают рабочие болты (проводится расчёт, подбор стали и диаметра болта) и конструктивные (выполняются без расчёта). Как правило, в строительстве болты диаметром менее 16 мм не применяются. В каждом узле должно быть не менее двух болтов (не зависимо от расчёта). В расчёт обычно входит определение класса болта, диаметра, длины и подбор шайб и гаек. Иногда проектировщик указывает технологию сборки узла.

Расчёт болтовых соединений.

Болты выпускаются разного класса точности (исполнения):

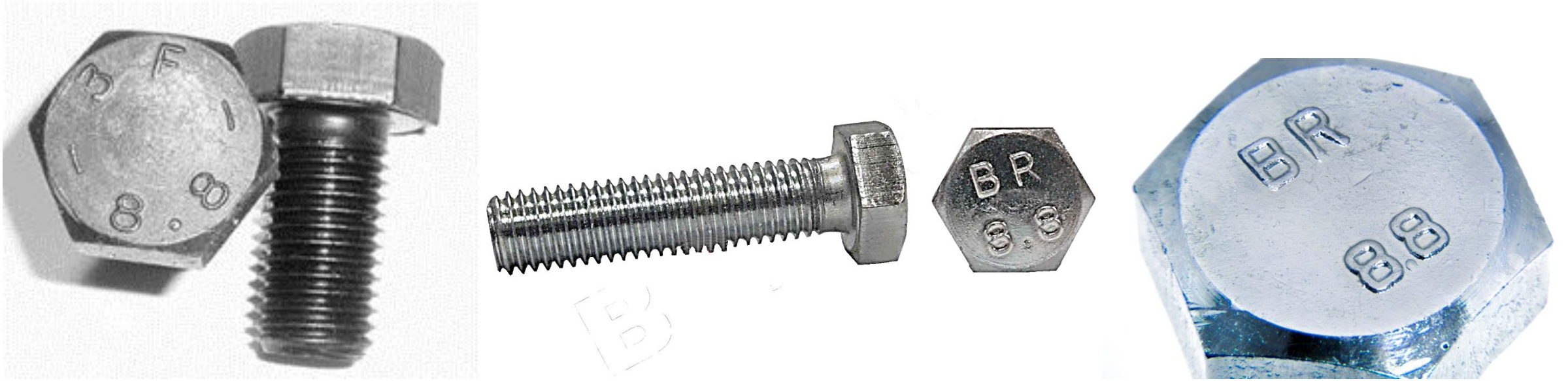
Болты класса точности «А» . Применяются в строительстве достаточно редко. Под эти болты предусматривается сверление отверстия такого же диаметра (на 0,3 мм больше), как и болт и при монтаже болт продавливается в отверстие. Такая точность и технология производства практически не возможна в условиях стройки.

Болты класса точности «В» или их ещё называют болты нормальной точности. В основном работают на срез и смятие, реже на растяжение. Отверстие под болты выполняют на 2-3 мм больше диаметра болта. К самому болту также слабее требования, например, болт может иметь кривизну до 0,52 мм.

Болты класса точности «С» (болты грубой точности). Используют для работы на смятие и срез, реже на растяжение. Обычно применяются как конструктивные.

Расчёт болтовых соединений.

Болты выпускаются различных классов по прочности: 4.6, 4.8, 5.6, 5.8, 6.6, 8.8, 10.9, 12.9. класс прочности и марку завода указывают на головке болта. Если нет маркировки, то прочность принимается наименьшая.



Иногда на болте указывается дополнительные знаки, например буква «А» означает, что из нержавеющей стали или обратная стрелка указывает, что болт с обратной резьбой.

Расчёт болтовых соединений.

Для определения значения временного сопротивления R_{bun} материала болта необходимо первую цифру в классе прочности умножить на 100. Значение будет в МПа. Произведение первого числа на второе и умноженное на 10 указывает предел текучести болта R_{byn} также в МПа.

!!! Такая нумерация приблизительная. Точное значение необходимо брать по таблицам СП и справочникам.!!!

Пример. Дан болт с записью 8.8 и Нв

Для данного болта временное сопротивление $R_{bun} = 800$ МПа.

Предел текучести болта $R_{byn} = 8 \times 8 \times 10 = 640$ МПа.

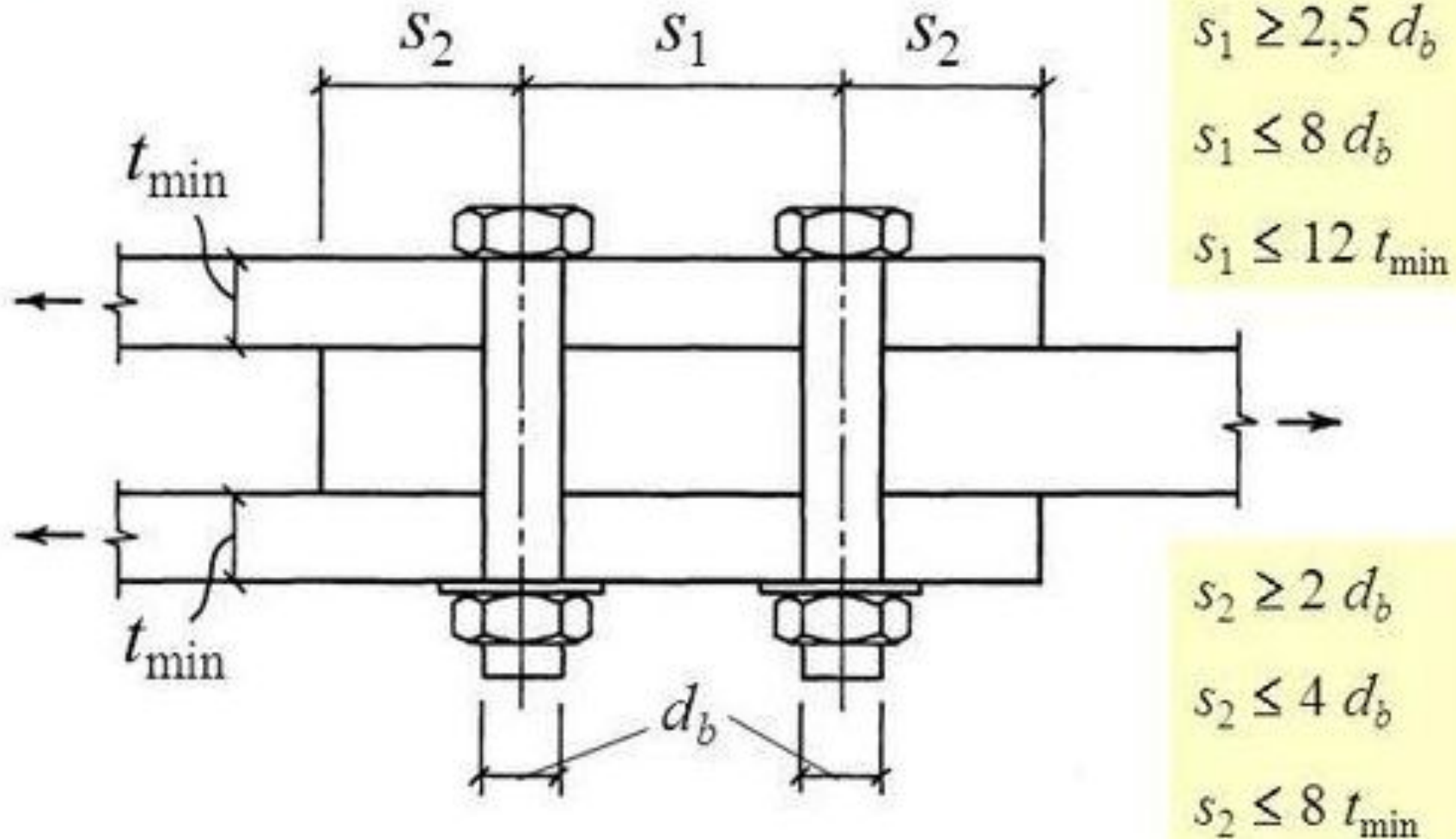
Точное значение по СП болта $R_{byn} = 830$ МПа,

$R_{byn} = 665$ МПа. (погрешность 3,7% т 3,9 %)



Расчёт болтовых соединений.

При компоновке узла необходимо учитывать минимальные и максимальные расстояния между **отверстиями** и до края элементов.



Расчёт болтовых соединений.

Расчёт болтов на прочность сводится к определению максимального усилия, приходящегося на болт и сравнение с несущей способностью. Болты класса точности «В» и «С» рассчитывают на срез, смятие и растяжение.

$$N_{b,max} \leq \begin{cases} N_{bs} \\ N_{bp} \\ N_{bt} \end{cases}$$

где

- расчётное усилие, воспринимаемое одним болтом по срезу

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

- расчётное усилие, воспринимаемое одним болтом по смятию

$$N_{bp} = R_{bp} \cdot d \cdot \left(\sum t \right)$$

Расчёт болтовых соединений.

- расчётное усилие, воспринимаемое одним болтом при растяжении

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

- R_{bs} , R_{bp} , R_{bt} – расчётное сопротивление на срез, смятие и растяжение;

- A_b , A_{bn} – площадь сечения болта брутто и нетто;

n_s – Число расчётных срезов одного болта;

- γ_b - коэффициент условий работы болтового соединения, принимаемый не более единицы;

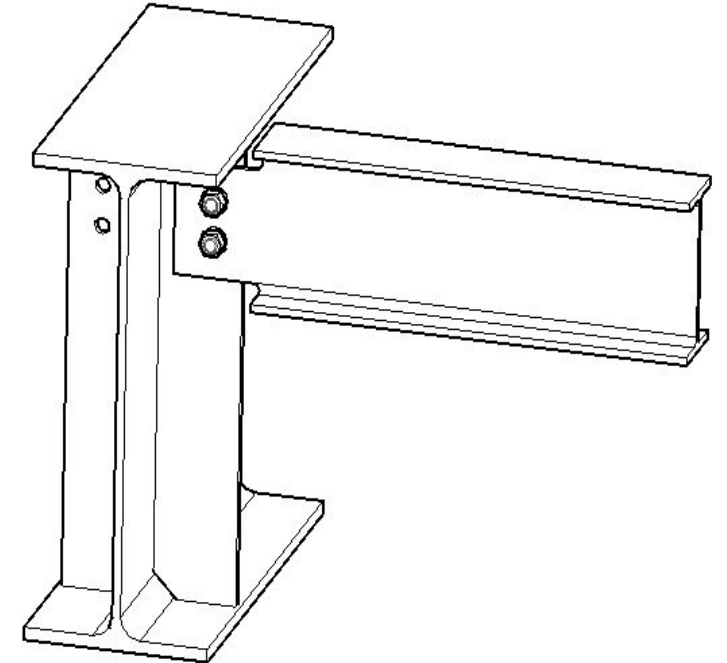
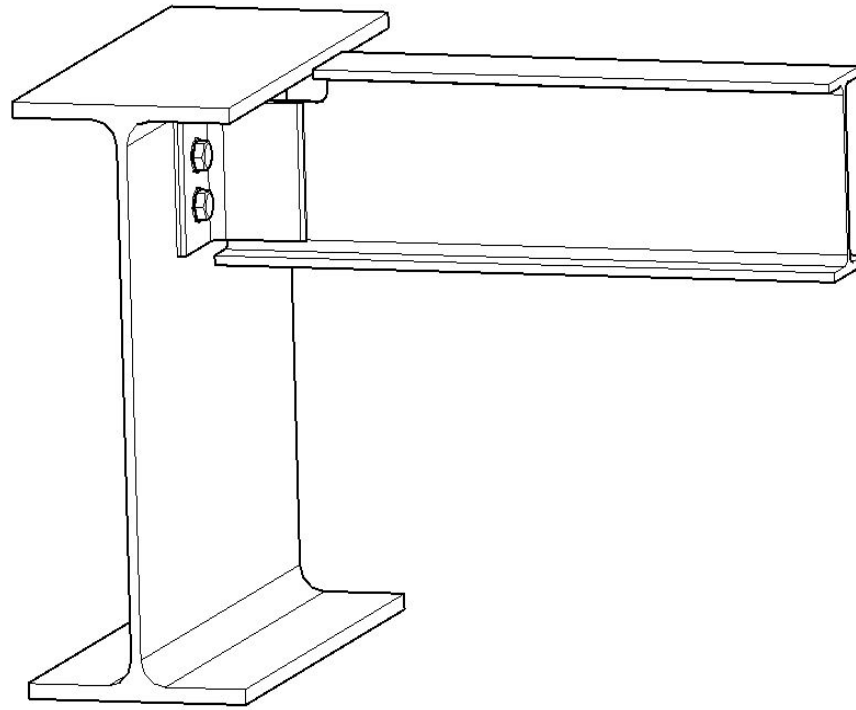
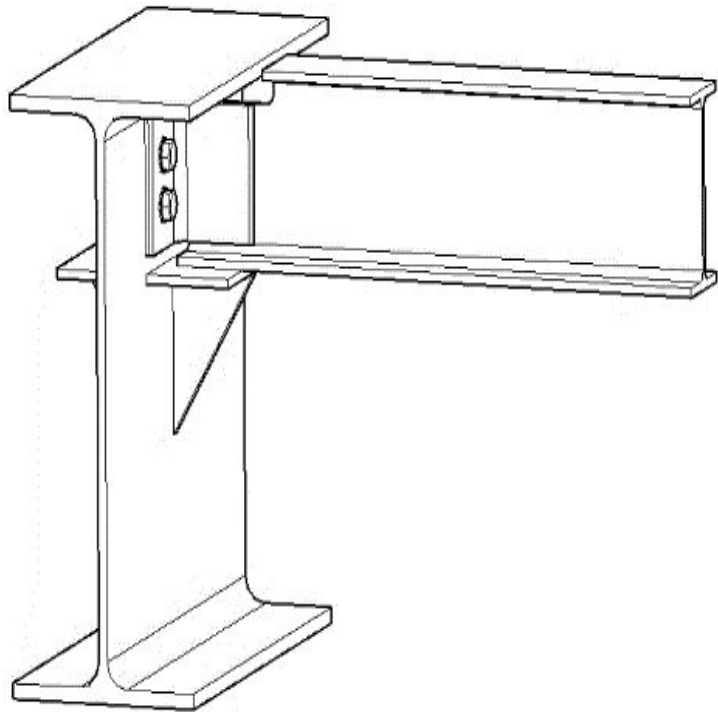
- γ_c - коэффициент условий работы;

- d_b – диаметр болта;

- $\sum t$ – наименьшая суммарная толщина элементов, сминаемых в одном направлении.

Расчёт болтовых соединений.

Для правильности применения формулы необходимо чётко представлять работу узла и характер воздействия на болт.



Расчёт болтовых соединений. Упрощённый расчёт.

На практике применяют упрощённый расчёт и точный расчёт (в зависимости от поставленной задачи).

Упрощённый расчёт.

При воздействии на болтовое соединение линейной нагрузки определяется самый загруженный болт. Далее определяется максимальное усилие воздействия на него и характер работы (срез, смятие или растяжение). Считается, что:

1. Усилие в болтах распределяется равномерно;
2. При действии изгибающего момента усилие между болтами распределяется пропорционально расстоянию от центра поворота;
3. При одновременном воздействии более двух силовых факторов, учитывается одновременная работа .

Расчёт болтовых соединений. Упрощённый расчёт.

Например, при срезе и растяжении усилие определяется как равнодействующая

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

где

N_s - наибольшие усилия в болте от срезающей нагрузки;

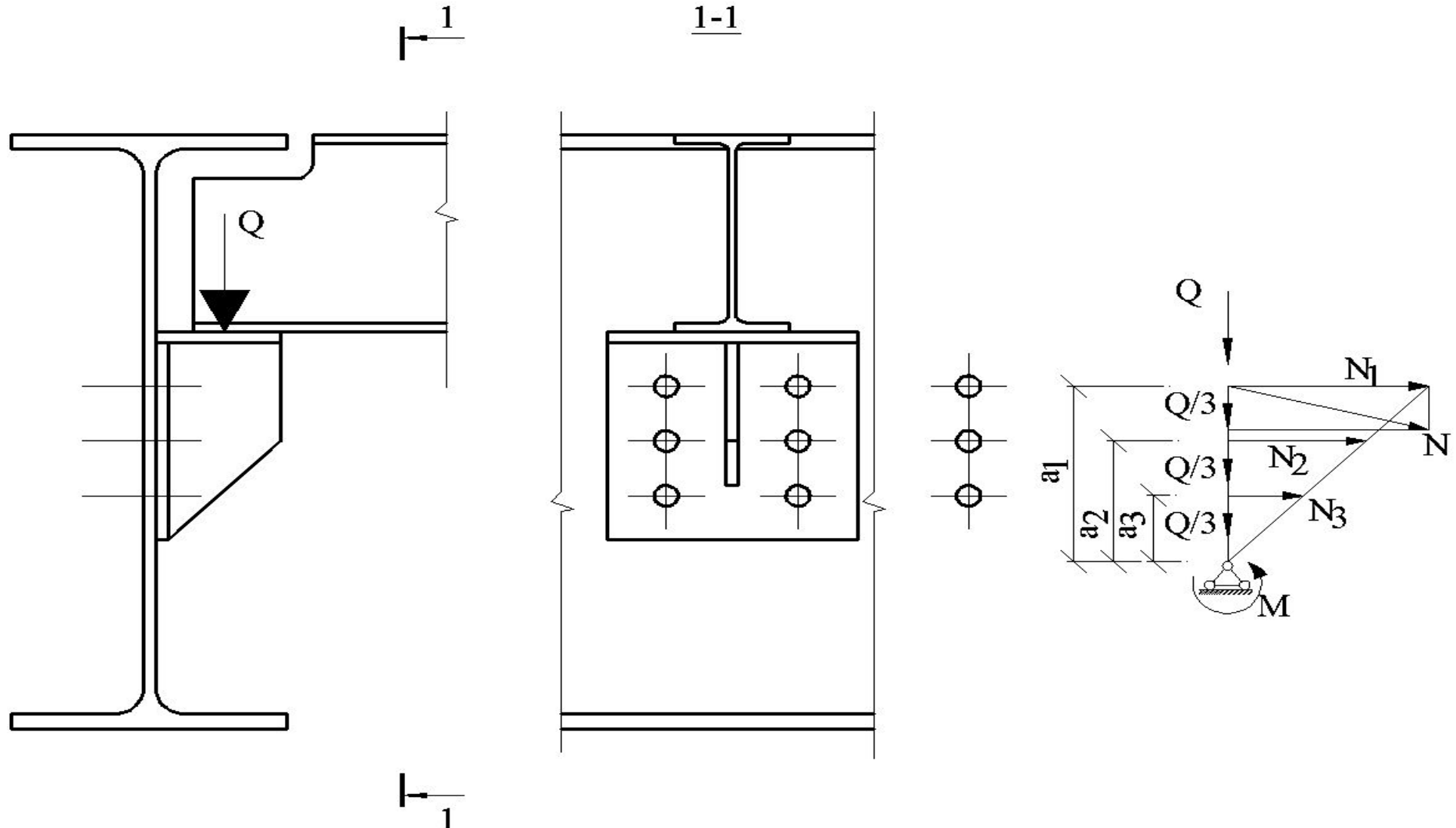
N_t - наибольшие усилия в болте от растягивающей нагрузки;

N_{bs} – несущая способность болта на срез;

N_{bt} - несущая способность болта на растяжение.

Расчёт болтовых соединений. Упрощённый расчёт.

Рассмотрим узел присоединения одной балки к другой через опорный столик. Из кинематики видно, что болты срезаются поперечной силой Q и растягиваются.



Расчёт болтовых соединений. Упрощённый расчёт.

Из уравнения равновесия получим зависимость

$$M = N_1 \cdot a_1 + N_2 \cdot a_2 + N_3 \cdot a_3$$

Учитывая пропорциональность между усилиями в болтах и расстоянию до центра поворота, можно выразить усилия в каждом болте через самый нагруженный болт (№3)

$$N_2 = N_1 \frac{a_2}{a_1}, N_3 = N_1 \frac{a_3}{a_1} \text{ или } N_i = N_1 \frac{a_i}{a_1}$$

Подставляя в верхнюю формулу, получим

$$M = N_1 \cdot a_1 + N_1 \frac{a_2^2}{a_1} + N_1 \frac{a_3^2}{a_1} \text{ или } M = \frac{N_1}{a_1} (a_1^2 + a_2^2 + a_3^2) \text{ или } M = \frac{N_1 \cdot \sum a_i^2}{a_1}$$

Выражая усилие (растяжения) в первом болту, получим

$$N_1 = N_{\max} = \frac{M \cdot a_1}{\sum a_i^2}$$

Расчёт болтовых соединений. Упрощённый расчёт.

От срезающей силы усилие будет равно

$$N_s = \frac{Q_x}{n}$$

где n – Количество болтов в стыке.

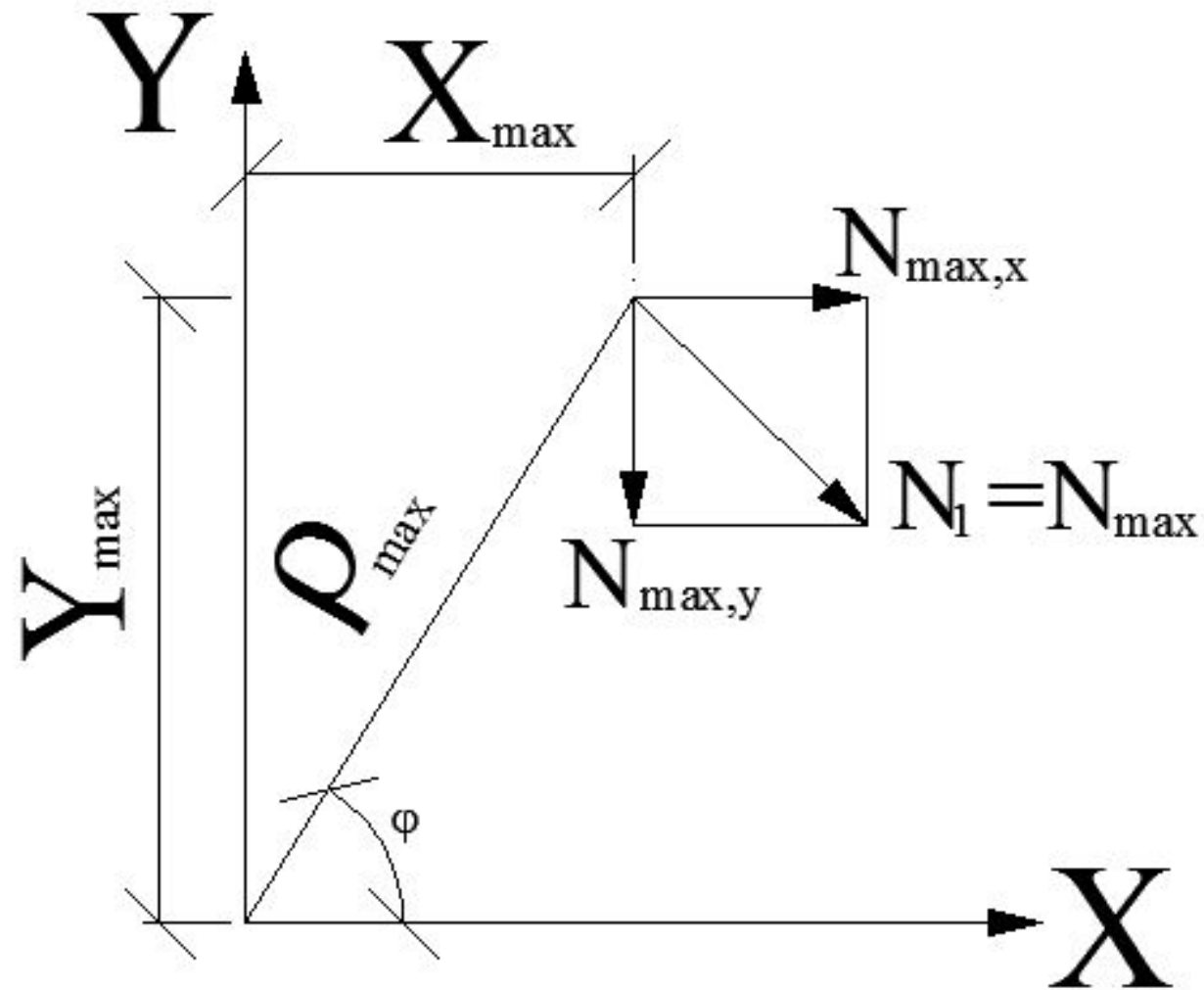
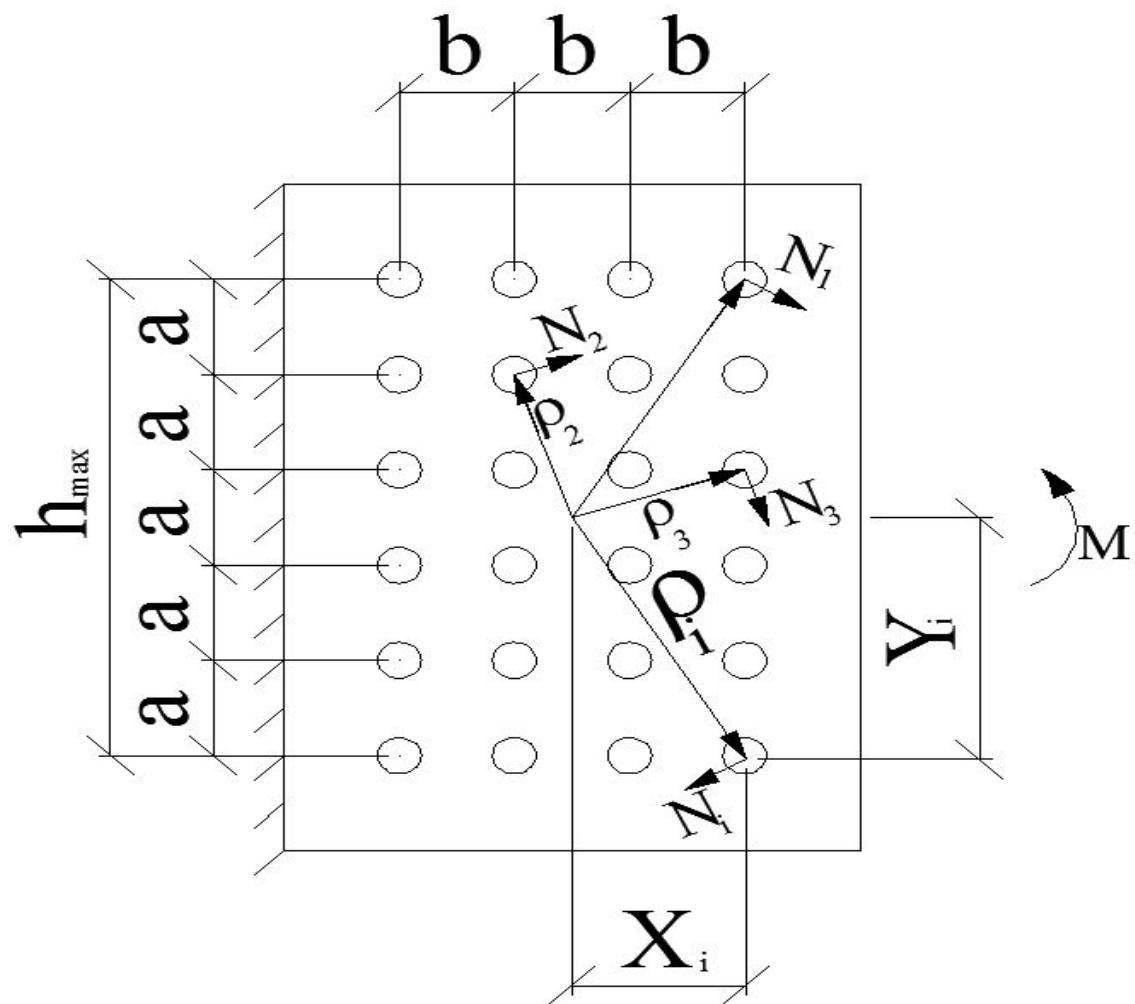
Если узел содержит несколько вертикальных рядов (на рисунке было два ряда), формулу на растяжение запишется так

$$N_1 = N_{\max} = \frac{M \cdot a_1}{m \cdot \sum a_i^2}$$

Необходимо заметить, что формула даёт погрешность в большую сторону до 10 %. При размещении болтов близко к квадрату, погрешность возрастает до 25 %. При развитии по вертикали узлу погрешность падает до 0%.

Расчёт болтовых соединений. Точный расчёт.

Рассмотрим узел с болтовым соединением с развитым количеством рядов по горизонтали и вертикали.



Расчёт болтовых соединений. Точный расчёт.

Аналогично предыдущих формул, запишем уравнения в полярных координатах.

$$M = N_1 \cdot \rho_1 + N_2 \cdot \rho_2 + N_3 \cdot \rho_3 + \dots + N_i \cdot \rho_i$$

преобразуем

$$N_1 = \frac{M \cdot \rho_1}{\sum \rho_i^2}$$

Переходя с полярных координат в декартовы, получим усилия в плоскостях

$$N_{\max,x} = N_{\max} \cdot \cos(\varphi) = \frac{M \cdot \rho_{\max} \cdot \cos(\varphi)}{\sum \rho_i^2} = \frac{M \cdot x_{\max}}{\sum (x_i^2 + y_i^2)}$$

$$N_{\max,y} = N_{\max} \cdot \sin(\varphi) = \frac{M \cdot \rho_{\max} \cdot \sin(\varphi)}{\sum \rho_i^2} = \frac{M \cdot y_{\max}}{\sum (x_i^2 + y_i^2)}$$

Расчёт болтовых соединений. Точный расчёт.

Заменяя $x_{max} = \rho_{max} \cdot \cos(\varphi)$, $y_{max} = \rho_{max} \cdot \sin(\varphi)$, $\rho_i^2 = x_i^2 + y_i^2$

Получим, что максимальное усилие двух составляющих будет равно

$$N_{max,t} = \sqrt{N_{max,x}^2 + N_{max,y}^2} = \frac{M \cdot \sqrt{x_{max}^2 + y_{max}^2}}{\sum(x_i^2 + y_i^2)}$$

Такая запись формулы делает очень трудным вариант получить размеры узла и поэтому приходится сначала компоновать узел, назначая болты, местоположение, диаметр, а потом проводить проверочный расчёт.

Расчёт болтовых соединений. Точный расчёт.

При действии на узел одновременно на узел изгибающего момента и поперечной (продольной) силы, вызывающие срез и смятие соединяемых элементов, проводится проверка

$$N_{\max} = \sqrt{\left(N_{\max,x} + \frac{N}{n}\right)^2 + \left(N_{\max,y} + \frac{Q}{n}\right)^2}$$

При "высоком" узле усилие по оси Y будут не значительны и формула запишется так

$$N_{\max} = \sqrt{\left(\frac{N_1}{k} + \frac{N}{n}\right)^2 + \left(\frac{Q}{n}\right)^2}$$

k и n – количество рядов болтов по горизонтали и вертикали соответственно

Расчёт болтовых соединений. Высокопрочные болты.

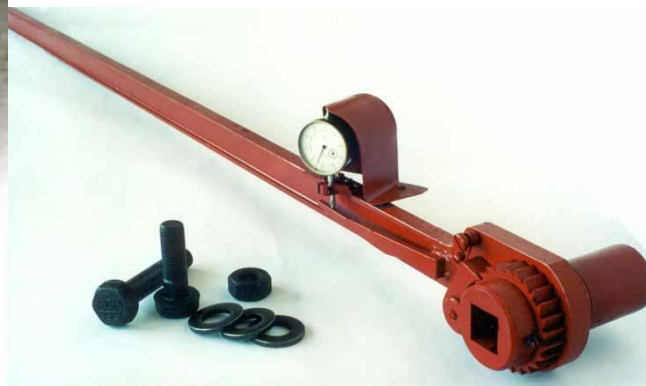
При больших нагрузках на узел чаще всего переходят на высокопрочные болты. Согласно СП – высокопрочным болтам относятся болты класса выше 8.8. наиболее распространены болты из стали марки 40Х "Селект". Болты относят к нормальной точности (класс В). Принципиальное отличие работы такого болта в том, что он так сильно затягивается ключом, что прижимает стягиваемые пластины к друг другу так, что они не могут сдвигаться. И раз нет сдвигов, то расчёт на срез не выполняется. Расчёт производят только на растяжение.

Что бы лучше было сцепление между пластинами, их поверхности обрабатывают щётками, пескоструйным аппаратом ил газовой горелкой.

Обозначение высокопрочного болта такое же как и у обыкновенного с добавлением вспомогательной информации.

Расчёт болтовых соединений. Высокопрочные болты.

Монтаж болтов осуществляется вручную или с использованием пневматического инструмента.



Расчёт болтовых соединений. Высокопрочные болты.

D – Клеймо завода-изготовителя;

11.14 – Номер плавки;

10.9 – Класс прочности,

"S" – Болт с шестигранной головкой с увеличенным размером (крепёж высокой прочности);

"ХЛ" – Данный болт может применяться в холодном климате.



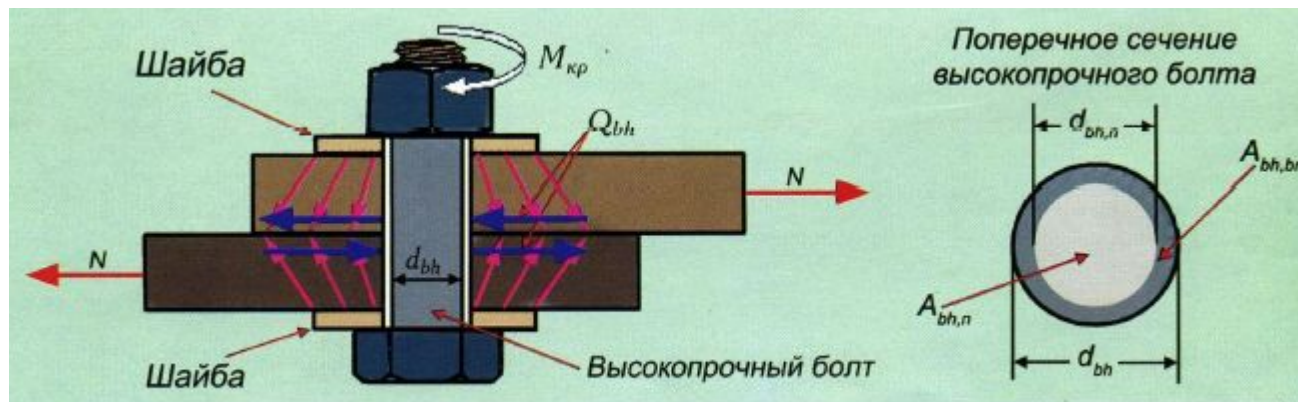
Расчёт болтовых соединений. Высокопрочные болты.

Расчёт производят с определения несущей способности болта

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

где

- R_{bh} - расчётное сопротивление высокопрочного болта;
- A_{bh} - площадь сечения болта по резьбе;
- μ - коэффициент трения, зависящий от типа обработки поверхностей;
- γ_h - коэффициент контроля натяжения, определяемый по табл. 42 СП.



Расчёт болтовых соединений. Высокопрочные болты.

Обработка пескоструйным аппаратом.



Расчёт болтовых соединений. Высокопрочные болты.

Количество необходимых болтов определяется по формуле

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

где





- k – количество плоскостей трения соединяемых элементов;
- γ_c – коэффициент условий работы (в большинстве случаев равен 0,9);
- γ_b – коэффициент, условий работы фрикционного соединения, зависящий от количества болтов (n) и принимается равным 0,8 при $n < 5$, 0,9 при $5 \leq n < 10$ и 1 при $n > 10$.

Расчёт болтовых соединений. Высокопрочные болты.

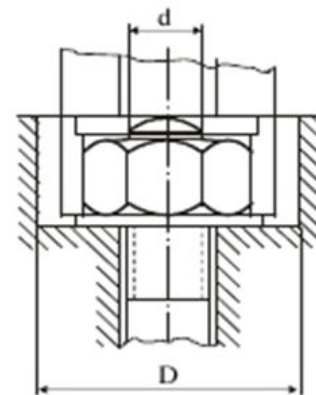
Способ обработки (очистки) соединяемых поверхностей	Коэфф ициент трения μ		
		Динамической $\delta=3-6$; Статической $\delta=5-6$.	Динамической $\delta=1$; Статической $\delta=1-4$.
Дробеметный или дробеструйный двух поверхностей без консервации	0,58	1,35	1,12
Газопламенный двух поверхностей без консервации	0,42	1,35	1,12
Стальными щётками двух поверхностей без консервации	0,35	1,35	1,17
Без обработки	0,25	1,7	1,3

Расчёт болтовых соединений. Высокопрочные болты.

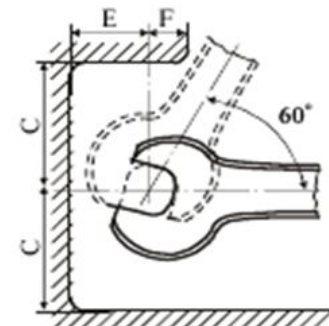
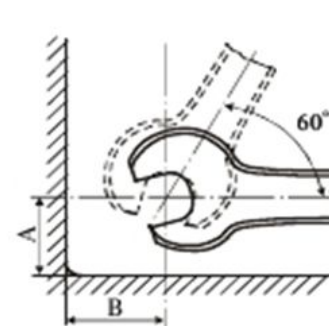
Нормативные и расчётные сопротивления растяжению высокопрочных болтов из стали 40Х по ГОСТ Р 52643 и площади сечения болтов

Номинальный диаметр резьбы d, мм	16	20	24	30	36	42	48
 , в МПа	1078	1078	1078	900	800	650	600
 , в МПа	755	755	755	630	560	455	420
 , см ²	2,01	3,14	4,52	7,06	10,17	13,85	18,09
 , см ²	1,57	2,45	3,54	5,61	8,16	11,2	14,72

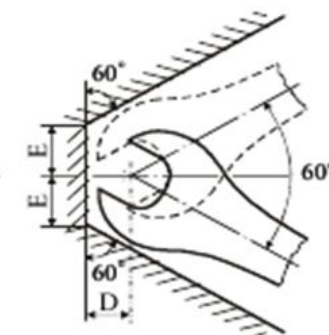
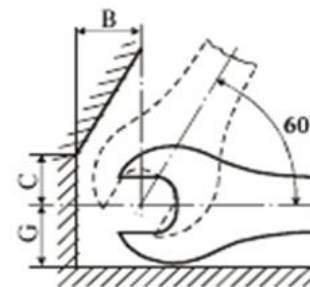
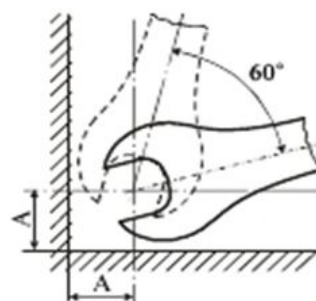
При компоновке узла также уделяют внимание возможности размещения шайб и работе гаечных ключей.



Для ключей по ГОСТ








Для сборочных ключей



Диаметр болта, d	Для ключей по ГОСТ, в мм												Для сборочных ключей, в мм						
	12	16	20	24	27	30	33	36	39	42	45	48	52	12	16	20	24	27	30
D_{min}	38	45	55	62	68	75	80	85	92	100	110	120	125	20	23	26	29	31	33
A_{min}	23	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	90	27	32	36	40	45	48
B_{min}	30	35	40	45	50	55	60	68	75	80	90	95	100	24	28	32	36	40	42
C_{min}	32	38	45	50	58	65	70	80	85	90	95	100	105	16	19	22	27	28	32
E_{min}	22	25	28	30	35	40	42	45	50	55	60	65	70	22	27	30	35	38	40
F_{max}	10	12	16	18	20	25	25	30	30	35	35	35	35	-	-	-	-	-	-
G_{min}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	29	34	39	44	49	52

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	