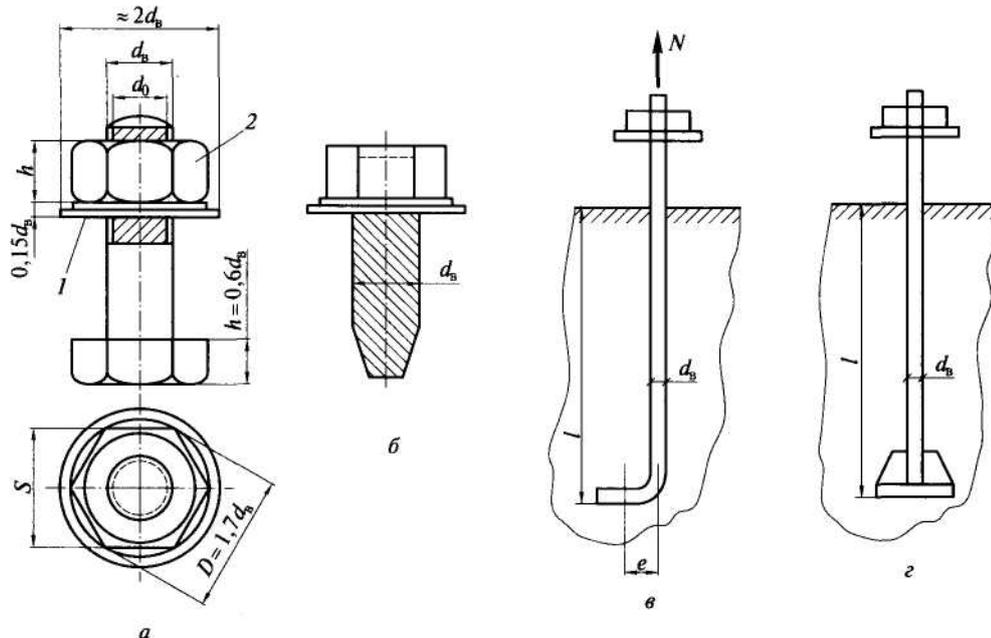


Болтовые соединения

Виды болтов, применяемых в строительных конструкциях

В строительных конструкциях применяются болты грубой, нормальной и повышенной точности, высокопрочные, самонарезающие и фундаментные (анкерные). Болт для соединения конструкций имеет головку, гладкую часть стержня длиной на 2 — 3 мм меньше толщины соединяемого пакета и нарезную часть стержня, на которую надевается шайба и навинчивается гайка.



Виды болтов:

a — болт с шайбой (1) и гайкой (2); *б* — самонарезающий болт; *в* и *г* — фундаментные болты; тип 1 при $d_b < 36$ мм, тип 2 при $d_b > 30$ мм

Болты грубой точности (класс точности С) и нормальной точности (класс точности В) различаются допусками на отклонения диаметра болта от номинала. Для болтов грубой и нормальной точности отклонения диаметра могут достигать соответственно 1 и 0,52 мм (для болтов $d_b < 30$ мм). Изготавливают болты из углеродистой стали горячей или холодной высадкой, иногда с последующей термообработкой.

Изготавливают болты из углеродистой стали горячей или холодной высадкой, иногда с последующей термообработкой. В зависимости от процесса изготовления различают несколько классов прочности болтов от 4,6 до 8,8. Класс прочности болтов обозначен числами. Первое число, умноженное на 10, обозначает временное сопротивление (σ_u , кгс/мм²), а произведение первого числа на второе - предел текучести материала (σ_y , кг/мм²); вторая цифра, умноженная на 10, обозначает соотношение σ_y / σ_u в %.

Болты класса точности А ставят в отверстия, просверленные на проектный диаметр в собранных элементах, продавленные по кондукторам в отдельных элементах или просверленные на меньший диаметр с

последующей рассверловкой до проектного диаметра в собранных элементах.

Диаметр отверстия для таких болтов не должен отличаться более чем на 0,3 мм от диаметра болта. Плюсовой допуск для диаметра болтов и минусовой допуск для отверстия не разрешаются. Поверхность ненарезанной части болта обтачивают до строго цилиндрической формы.

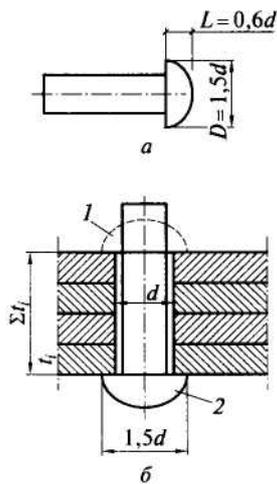
Высокопрочные болты изготавливают из легированной стали. Готовые болты подвергают термической обработке. Высокопрочные болты являются болтами нормальной точности. Их ставят в отверстия большего диаметра, чем болт. Обычно их гайки затягивают тарировочным ключом, позволяющим создавать и контролировать силу натяжения болтов. Большая сила натяжения болта позволяет плотно стягивать 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. Таким образом, 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 в месте стыка очищают от грязи, масла, ржавчины и окалины металлическими щетками, пескоструйным или дробеструйным аппаратом, огневой очисткой и не окрашивают.

Чтобы соединение с накладками с двух сторон работало надежно, необходима строго одинаковая толщина соединяемых элементов, так как даже при небольшой разнице их толщин не удастся добиться плотного прилегания элементов и силы трения, а следовательно, и несущая способность болта резко уменьшаются.

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 обеспечивает высокий коэффициент трения.

Заклепочные соединения, являющиеся в прошлом основным видом соединений металлических конструкций, из-за неудобств технологического процесса клепки (необходимость нагрева заклепок до температуры 800 °С) и перерасхода металла на соединение в настоящее время почти полностью вытеснены сваркой и высокопрочными болтами при монтаже. Они сохранили весьма ограниченное применение только в тяжелых конструкциях, подверженных воздействию динамических и вибрационных нагрузок, а также при использовании трудно-свариваемых материалов. Заклепки изготавливают из специальной углеродистой или низколегированной стали, обладающей повышенными пластическими свойствами. Отверстия в соединяемых элементах образуют так же, как в болтовых соединениях. В отверстия вставляют стержень заклепки, ударами пневматического молотка или давлением клепальной скобы его осаживают, увеличивая в диаметре,

плотно заполняя отверстие с одновременным образованием замыкающей головки.



Заклепочные соединения:
a — заклепка с полукруглой головкой; *б* — постановка заклепки в соединение; 1 — замыкающая головка; 2 — закладная головка

Болтовые соединения

Различают несколько видов болтовых соединений. По числу поставленных болтов они подразделяются на одноболтовые и многоболтовые, а по характеру передачи усилия в соединении от одного элемента к другому — на несдвигоустойчивые и сдвигоустойчивые (фрикционные). В несдвигоустойчивых соединениях сила затяжки гайкой не контролируется и считается, что усилие не передается через трение поверхностей соединяемых элементов. В соединениях же сдвигоустойчивых сдвигающие силы передаются трением между соединяемыми элементами и учитываются при проектировании соединений. В соединениях без контролируемого натяжения могут использоваться болты различных классов прочности, в том числе и высокопрочные. В расчетах таких соединений учитываются сопротивления растяжению, смятию и срезу без учета сил трения.

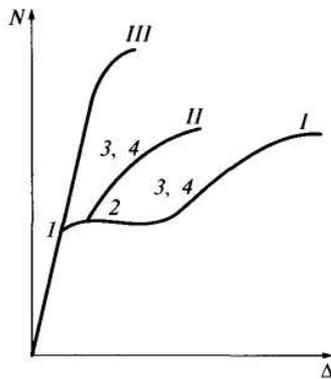
Болтовые соединения на высокопрочных болтах с контролируемым натяжением могут быть как фрикционными, так и фрикционно-срезными (часть усилия передается через трение поверхностей соединяемых элементов, а часть — через смятие, как при неконтролируемом натяжении).

Болтовые соединения без контролируемого натяжения болтов

Расчет одноболтовых соединений. В соединениях на болтах с грубой, нормальной и повышенной точностью (с неконтролируемой силой затяжки гайки) сила стягивания пакета болтами не определена и в большинстве случаев недостаточна для полного восприятия этих сил. Работу такого соединения можно разбить на четыре этапа.

На 1-м этапе, пока силы трения между соединяемыми элементами не преодолены, болты не испытывают сдвигающих усилий и работают только на растяжение, все соединение работает упруго. Так работает сдвигоустойчивое соединение на высокопрочных болтах. При увеличении нагрузки на соединение силы внутреннего трения оказываются

преодоленными и наступает 2-й этап — сдвиг всего соединения на величину зазора между поверхностями отверстия и стержня 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 и растягивается, так как головка и гайка препятствуют свободному изгибу стержня. Постепенно 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 элементов или отрыва головки болта.



Работа болтового соединения на сдвиг:
 /— болты грубой и нормальной точности; //— болты повышенной точности; /// — высокопрочные болты и сдвигоустойчивые болты; 1—4 — этапы работы соединений

Расчет ведут исходя из возможного вида разрушения соединения по срезу болта при толстых соединяемых листах или по смятию поверхности отверстия при тонких листах. Расчетное усилие, воспринимаемое одним болтом на срез,

$$N_b = R_{bs} \gamma_b A n_s \gamma_c,$$

где R_{bs} — расчетное сопротивление материала болта на срез, кН/см²

$$A = \pi d^2 / 4 = 0,785 d^2$$

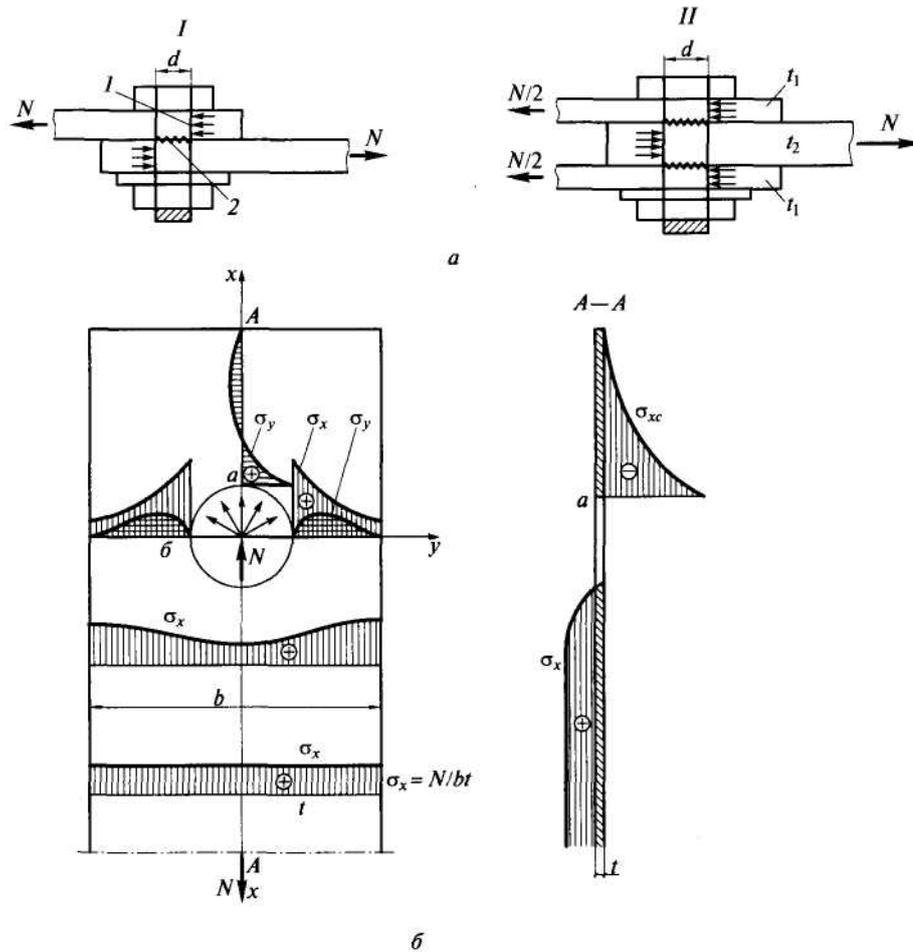
- площадь сечения стержня болта (по ненарезанной части);

n_s — число расчетных срезов одного болта;

γ_b — коэффициент условия работы соединения, который следует принимать по табл. 35* СНиП 11-23-81*;

γ_c — коэффициент условия работы конструкции.

Расчет болтового соединения на смятие носит условный характер, так как в местах передачи усилия с болта на соединяемые листы развивается сложное напряженное состояние.



Работа болтов:

a — срез болта; b — смятие отверстия; $/$ — односрезные соединения; $//$ — двухсрезные соединения; 1 — поверхность смятия; 2 — поверхность среза; t — толщина пластины

В точке a резко возрастают сминающие напряжения σ_{xc} и растягивающие напряжения σ_y . Сминающие напряжения σ_{xc} могут вызвать преждевременную текучесть материала, а растягивающие напряжения σ_y — разрыв (раскол) соединяемого элемента, тогда болт «прорежет» его. В то же время в точке b болт практически не передает усилий на лист, и в этом месте возрастание напряжений σ_x объясняется только обычной концентрацией напряжений по краям отверстия. Неравномерность работы материала вблизи отверстия увеличивается в соединениях типа С. Трудность учета действительного сложного напряженного состояния привела к тому, что в расчете принимается равномерное давление болта на стенку отверстия по всему диаметру болта. Это несоответствие расчета действительной работе учитывается условным характером расчетных сопротивлений. Расчетное усилие, которое может быть воспринято одним болтом по смятию элементов, рассчитывается по формуле

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

где R_{bp} — расчетное сопротивление материала соединяемых элементов на смятие (материал стержня, как правило, имеет большее значение расчетного сопротивления на смятие, чем материал соединяемых элементов);

Σt — наименьшая суммарная толщина элементов, сминаемых в одном направлении;

γ_b — коэффициент условия работы соединения (см. табл. 35* СНиП П-23-81*);

γ_c — коэффициент условия работы конструкции.

В фундаментных болтах снижение расчетных сопротивлений материала болтов по сравнению с номиналом объясняется еще и тем, что степень натяжения смежных болтов базы колонны в процессе монтажа колонны может быть различна, а потому в действительности возможна некоторая перегрузка отдельных болтов. Усилие, которое может быть воспринято одним болтом, определяют по формуле

$$N_b = R_{bt} A_{bn} \gamma_b \gamma_c,$$

где R_{bt} — расчетное сопротивление материала стержня болта на растяжение (см. табл. 60* СНиП П-23-81*);

A_{bn} — площадь сечения болта нетто с учетом нарезки (см. табл. 62* СНиП П-23-81*);

γ_b — коэффициент условия работы соединения; $\gamma_b = 1$;

γ_c — коэффициент условия работы конструкции.

Расчет многоболтовых соединений

При расчете многоболтовых соединений без контролируемого натяжения коэффициент условия работы соединения γ_b при работе на срез и смятие учитывает качество обработки поверхности отверстия и расположение отверстий для болтов в соединяемых элементах. Значения коэффициента γ_b приведены в табл. 35* СНиП П-23-81*.

Число болтов n в соединении при действии сдвигающей силы N , приложенной в центре тяжести соединения, определяют, предполагая работу всех болтов одинаковой:

$$n = N / N_{bmin},$$

где N_{bmin} — наименьшее из значений расчетного усилия (на срез или смятие) для одного болта, вычисленное по формулам.

Расчет самих соединяемых элементов на прочность ведут с учетом ослабления сечения отверстиями по площади нетто A_n .

Болты, работающие одновременно на срез и растяжение, проверяют отдельно на срез и на растяжение. Болты, работающие на срез от одновременного действия продольной силы и момента, проверяют на равнодействующее усилие.

Фрикционные соединения на высокопрочных болтах

В болтовых соединениях всегда возникают силы трения между соприкасающимися поверхностями в результате стягивания элементов

соединения болтами. Однако в том случае, когда сила натяжения болта не контролируется, трение при расчете соединения не учитывается, а соединение, в том числе и соединение, выполненное на болтах из материала высокой прочности (соединение на высокопрочных болтах с неконтролируемым натяжением болтов), рассчитывается на срез и смятие как обычное болтовое соединение.

Фрикционное соединение на высокопрочных болтах — это соединение с контролируемым натяжением болтов.

Силы трения, возникающие в соединении на соприкасающихся поверхностях от натяжения болтов и воспринимающие сдвигающие силы, определяются в зависимости от прочности стержня болта и характера обработки соприкасающихся поверхностей. Решающее значение в работе такого соединения имеет сила натяжения болта. Считают, что эта сила равна расчетному усилию высокопрочного болта на растяжение:

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

где P — осевое усилие натяжения;

R_{bh} — расчетное сопротивление растяжению материала высокопрочного болта, $R_{bh} = 0,7R_{bun}$, R_{bun} — наименьшее временное сопротивление материала болта растяжению (см. табл. 61 СНиП П-23-81*);

A_{bn} — площадь поперечного сечения болта нетто, определяемая по стандарту (см. табл. 62* СНиП П-23-81*).

Расчетное усилие Q_{bh} , которое может быть воспринято каждой плоскостью трения соединяемых элементов, стянутых одним высокопрочным болтом (одним болтоконтактом), определяют по формуле

$$Q_{bh} = P \gamma_b \mu / \gamma_h = R_{bh} A_{bn} \gamma_b \mu / \gamma_h,$$

где γ_b — коэффициент условия работы болтового соединения;

μ — коэффициент трения, принимаемый по табл. 36* СНиП П-23-81*;

γ_h — коэффициент надежности, определяемый по той же таблице.

В нормах предусмотрен учет неравномерности работы болтов в соединении (например, неравномерность натяжения). В соответствии с этим коэффициент γ_b предлагают считать равным 0,8 при $n < 5$; 0,9 при $5 < n < 10$ и 1,0 при $n > 10$, где n — число болтов в соединении.

При действии продольной силы N число высокопрочных болтов в соединении и определяют по формуле

$$n \geq N / (Q_{bh} k \gamma_c),$$

где k — число плоскостей трения;

γ_c — коэффициент условия работы конструкции.

Расчет на прочность самих соединяемых элементов высокопрочными болтами выполняют с учетом того, что сдвигающие усилия уже переданы (полностью или частично) силами трения соединяемых поверхностей, находящихся вне места ослабления сечения отверстиями. При этом проверку ослабленных сечений производят при статических нагрузках по площади

сечения брутто A в том случае, когда площадь нетто $A_n > 0,85A$, а при $A_n < 0,85A$ — по условной площади $A_c = 1,18A_n$.

При динамических нагрузках расчет производят по площади нетто A_n .

Опыт показывает, что среднестатистическое значение усилия натяжения болтов на 8 — 10% превышает контролируемое, определенное расчетом.

Типы болтовых соединений

Различают две конструктивные разновидности соединений — стыки и прикрепления элементов друг к другу.

Стыки листового металла осуществляют двусторонними или односторонними накладками. Двусторонние накладки, обеспечивающие симметричную передачу усилия, предпочтительнее. Стыки с односторонней накладкой дают эксцентричное соединение, в котором силовой поток отклоняется от своего первоначального направления, при этом возникают изгибающие моменты и необходимое по расчету число болтов увеличивается в этом случае на 10%. При соединении листов неодинаковой толщины накладками разницу их толщин компенсируют постановкой прокладок, причем число болтов, работающих через прокладку, должно быть также увеличено на 10 % против расчетного

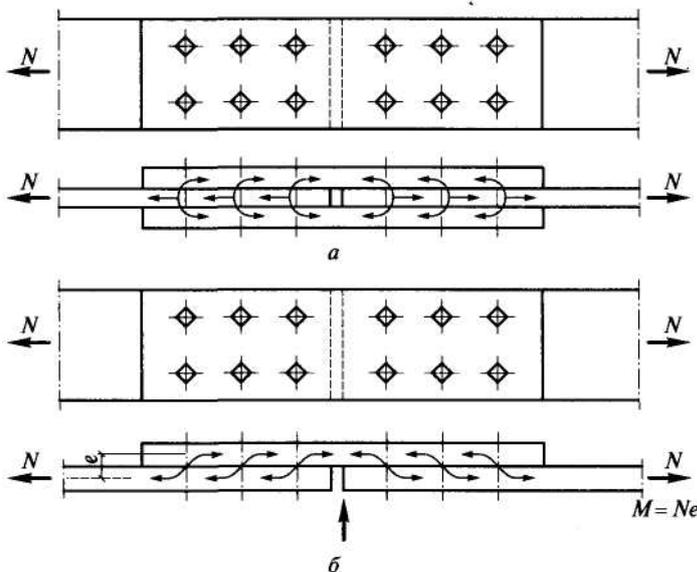
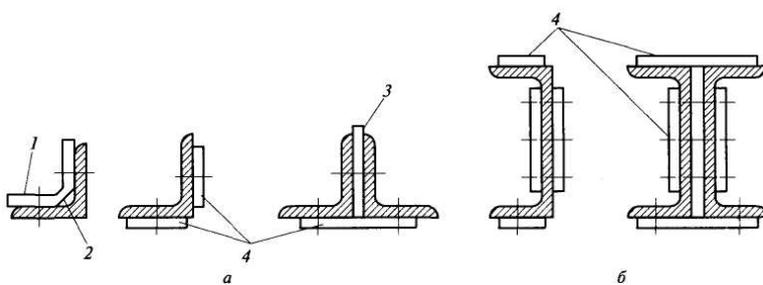


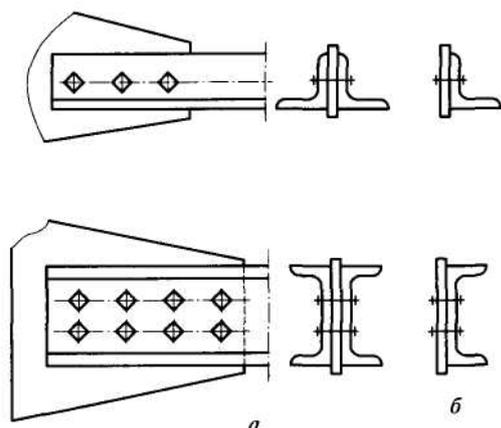
Рис. Стыки элементов с односторонней накладкой (ромбы обозначают болты в соединении с неконтролируемым усилием натяжения болтов)

Стыки профильного металла выполняют накладками: уголки — уголковыми или листовыми, двутавры и швеллеры — листовыми. Благодаря значительной жесткости самого соединяемого профиля эксцентриситет прикрепления накладок слабо сказывается на работе соединения, в связи с чем число болтов по сравнению с расчетным не увеличивается.

Прикрепление элементов осуществляют внахлестку. Для работы соединения предпочтительнее симметричное прикрепление элементов с двух сторон.



Болтовые и клепаные стыки прокатных профилей:
а — уголковых профилей; *б* — швеллеров; 1 — уголковая накладка; 2 — фаска; 3 — прокладка; 4 — листовые накладки



Прикрепления элементов конструкций: *а* — симметричное; *б* — несимметричное

При конструировании болтовых соединений следует стремиться к применению болтов одного диаметра в пределах каждого конструктивного элемента и к наименьшему числу диаметров болтов во всем сооружении. Наибольшее применение находят в конструкциях средней мощности болты диаметром $d_b = 20...24$ мм, а в тяжелых конструкциях — диаметром $d_b = 24...30$ мм.

Размещение болтов в соединении

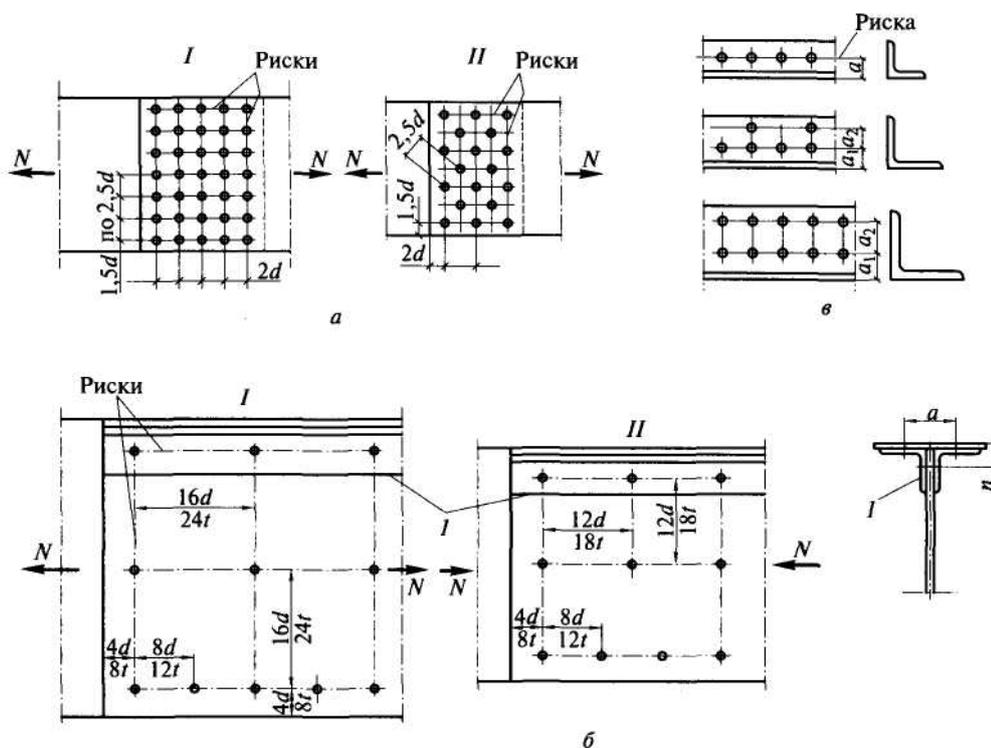
При конструировании соединения следует стремиться к наилучшей передаче усилия с одного элемента на другой кратчайшим путем при одновременном обеспечении удобства выполнения соединения. В стыках и узлах прикреплений (для экономии материала накладок) расстояние между болтами должно быть минимальным.

В малонагруженных (связующих, конструктивных) соединениях расстояние должно быть максимальным (для уменьшения числа болтов).

Болты располагают в соединении по прямым линиям — рискам, параллельным действующему усилию. Расстояние между двумя смежными рисками называется дорожкой, а расстояние между двумя смежными по риске болтами — шагом. Расстояние между центрами болтов и заклепок принимают по табл. 39 СНиП Н-23-81*. Минимальное расстояние определяется условиями прочности основного материала. Максимальное расстояние определяется устойчивостью сжатых частей элементов в промежутках между болтами или условием плотности соединения

растянутых элементов во избежание попадания в щели влаги и пыли, способствующих коррозии элемента.

Для облегчения пользования кондукторами для сверления отверстий желательно иметь шаг и дорожку, кратные 40 мм.



Размещение отверстий для болтов в соединении:

a — минимальные расстояния при рядовом (/) и шахматном (//) расположении болтов; *б* — максимальные расстояния при растяжении (/) и сжатии (//) элементов; 1 — окаймляющий уголок; *в* — размещение болтов в профильных элементах