

# ИНЖЕНЕРНЫЕ КОНСТРУКЦИИ



# Расчетные сопротивления

*Расчетные сопротивления  $R$ .* Это сопротивления, принимаемые при расчетах конструкций и получаемые делением нормативного сопротивления на *коэффициент надежности по материалу*.

*Коэффициент надежности по материалу* учитывает возможные отклонения сопротивлений материалов в неблагоприятную сторону от нормативных значений в зависимости от свойств материалов, изменчивости прочностных показателей.

При расчетах по первой группе предельных состояний коэффициент надежности по материалу принимают:

- для стального проката  $\gamma_m = 1,025..1,15$ ;
- для бетона  $\gamma_{bc} — 1,3$  (при сжатии) и  $\gamma_{bt} = 1,5$  (при растяжении);
- для арматуры  $\gamma_s — 1,05... 1,20$ ;
- для древесины  $\gamma_t — 1,7...5,5$ .

- Особенности действительной работы и предельных состояний материалов, конструкций и сооружений в целом, имеющие систематический характер, но не отражаемые в расчетах прямым путем, учитывают *коэффициентами условий работы  $\gamma$* , величины которых установлены СНиПом.

Коэффициенты условий работы учитывают

- *влияние температуры, влажности и агрессивности среды;*
- *длительности действия нагрузки;*
- *условия, характер и стадию работы конструкции;* приближенность расчетных схем и др.
- При благоприятных условиях работы  $\gamma > 1$ , а при неблагоприятных  $\gamma < 1$ .

Степень капитальности сооружений, значимость последствий наступления тех или других предельных состояний, определяемая материальным и социальным ущербом, учитывается в расчетах **коэффициентом надежности по назначению  $\gamma_n$** . Его значение зависит от класса ответственности зданий.

- Для I класса - объекты особо важного народнохозяйственного значения  $\gamma_n = 1$ ;
  - для сооружений II класса (важные народнохозяйственные объекты)  $\gamma_n = 0,95$ ;
  - для сооружений III класса (имеющих ограниченное народнохозяйственное значение)  $\gamma_n = 0,9$ ;
  - для временных сооружений со сроком службы до 5 лет  $\gamma_n = 0,8$ .
- Гидротехнические сооружения по капитальности** делятся на четыре класса, для которых коэффициенты надежности по назначению составляют:
- 1 класс — 1,25;
  - 2 класс — 1,2;
  - 3 класс — 1,15;
  - 4 класс — 1,1.

На коэффициент  $\gamma_n$  следует делить **предельные значения несущей способности** или **расчетные сопротивления**, предельно допустимые деформации и величины раскрытия трещин либо **умножать величины расчетных нагрузок или усилия**.

При расчете конструкций **по первой группе предельных** состояний (по несущей способности) условие прочности с учетом рассмотренных расчетных коэффициентов можно представить в общем виде:

$$\sum N_n \gamma_f \gamma_{lc} \leq \Phi \left[ S; \frac{R_n}{\gamma_m} \frac{\gamma}{\gamma_n} \right],$$

где  $\sum N_n \gamma_f \gamma_{lc}$  — расчетное усилие, полученное от различных нагрузок со своими коэффициентами надежности по нагрузкам и сочетаний;

$\Phi$  — функция несущей способности;

$S$  — геометрические характеристики сечения.

Смысл этой формулы состоит в том, что наибольшее внешнее расчетное усилие не должно превышать наименьшую несущую способность.

Основное условие для расчета конструкций по **второй группе предельных состояний** — по перемещениям

$$\Delta \leq f \frac{1}{\gamma_n} ,$$

где  $\Delta$  — перемещения от расчетных нагрузок с коэффициентом надежности по нагрузке  $\gamma_f = 1$ ;  $f$  — предельная нормативная величина перемещений. Железобетонные конструкции, кроме того, в зависимости от категории требований к их трещиностойкости рассчитывают по образованию трещин

$$T \leq T_{crc} \frac{1}{\gamma_n}$$

или по их раскрытию

$$a_{crc} \leq [a_{crc}] \frac{1}{\gamma_n} .$$

Расчет по предельным состояниям конструкции в целом, а также отдельных ее частей должен производиться для всех стадий: изготовления, транспортирования, возведения и эксплуатации. В зависимости от применяемых материалов и функционального назначения конструкций и сооружений их проектирование производится по соответствующим СНиП или другим нормативным документам.

# МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ

## СТАЛИ, ИХ СОСТАВ И СВОЙСТВА

Материалами для инженерных металлических конструкций являются прокатная сталь, стальное литье и алюминиевые сплавы. Наиболее часто (более 95%) применяют прокатную сталь.

**Сталь** — это *сплав железа с углеродом* и незначительным количеством примесей (которые попадают из руды или образуются в процессе выплавки) и легирующих добавок (которые вводят для улучшения свойств стали).

Стали подразделяются на *углеродистые и легированные*.

**Углеродистые стали** в зависимости от содержания углерода делят на: малоуглеродистые (0,09... 0,23% углерода), среднеуглеродистые (0,24...0,5% углерода) и высокоуглеродистые (0,51...1,2% углерода).

В инженерных конструкциях применяют в основном *малоуглеродистую сталь*, обладающую *большой пластичностью и хорошей свариваемостью*.

# Механические свойства стали

Эти свойства стали определяют такие показатели, как прочность, упругость и пластичность, а также склонность к хрупкому разрушению, которое косвенно оценивается ударной вязкостью.

**Прочность** стали определяется сопротивляемостью материала внешним силовым воздействиям.

**Упругость** характеризуется свойством материала восстанавливать свою первоначальную форму после снятия внешних нагрузок.

**Пластичность** — свойство материала не возвращаться в свое первоначальное состояние после снятия внешних нагрузок, т. е. получать остаточные деформации.

**Хрупкость** характеризуется разрушением материала при малых деформациях.

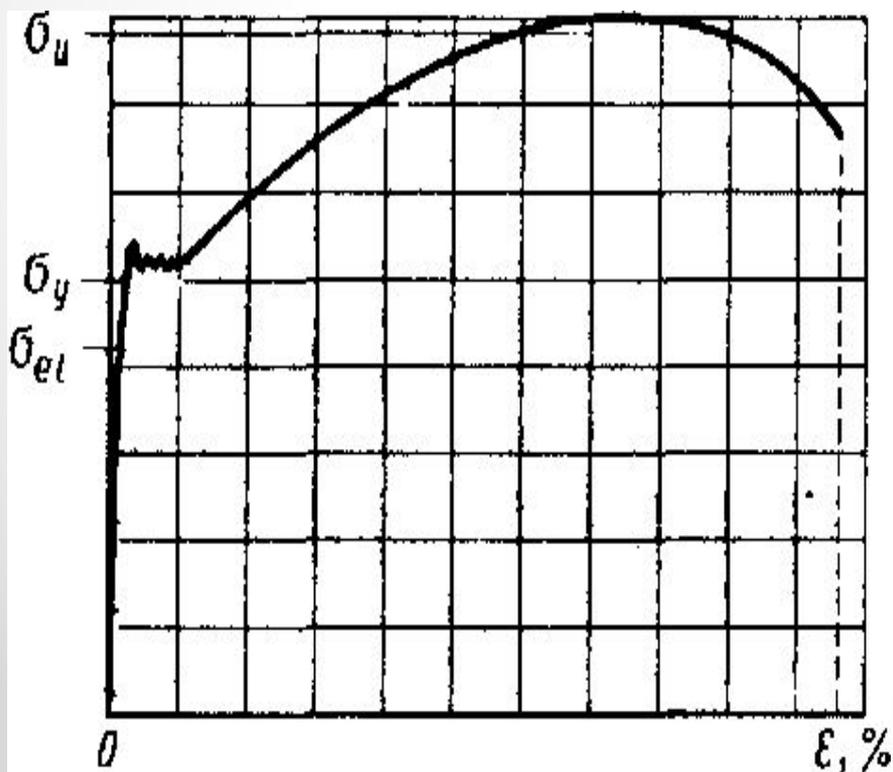
Важнейшими показателями механических свойств стали являются:

*предел текучести* ( $\sigma_y$ ),

*временное сопротивление* (предел прочности —  $\sigma_u$ ),

*относительное удлинение* ( $\varepsilon$ ).

Предел текучести и временное сопротивление характеризуют *прочность стали*, относительное удлинение — *пластические свойства стали*.



До достижения стандартным образцом из малоуглеродистой стали напряжений, равных *пределу текучести*, материал работает *практически упруго*. Затем в нем развиваются большие деформации при постоянном напряжении. В результате образуется *площадка текучести* (горизонтальный участок диаграммы на рис

# Обозначение марок малоуглеродистой стали

Например, ВСтЗспб, ВСтЗГпсб, 18сп, 18Гпс.

**Буква В** указывает, что сталь поставляется с гарантиями механических свойств и химического состава, **буквы Ст — сталь, цифра 3 — условный порядковый номер** марки малоуглеродистой стали. Марки стали различаются в зависимости от химического состава и механических свойств от Ст0 до Ст5.

В инженерных конструкциях применяется сталь **СтЗ**, которая имеет достаточно **высокий предел текучести, пластична, хорошо сваривается**. Степень раскисления стали обозначается индексами «сп» (спокойная), «пс» (полуспокойная) и «кп» (кипящая). Для обозначения **полуспокойной стали** с повышенным содержанием **марганца добавляют букву Г**.

Последняя цифра указывает **катеорию стали**. Стали марок 18сп и 18пс поставляются по группе В (цифра **18 показывает среднее содержание углерода в сотых долях процента**; остальные обозначения те же).

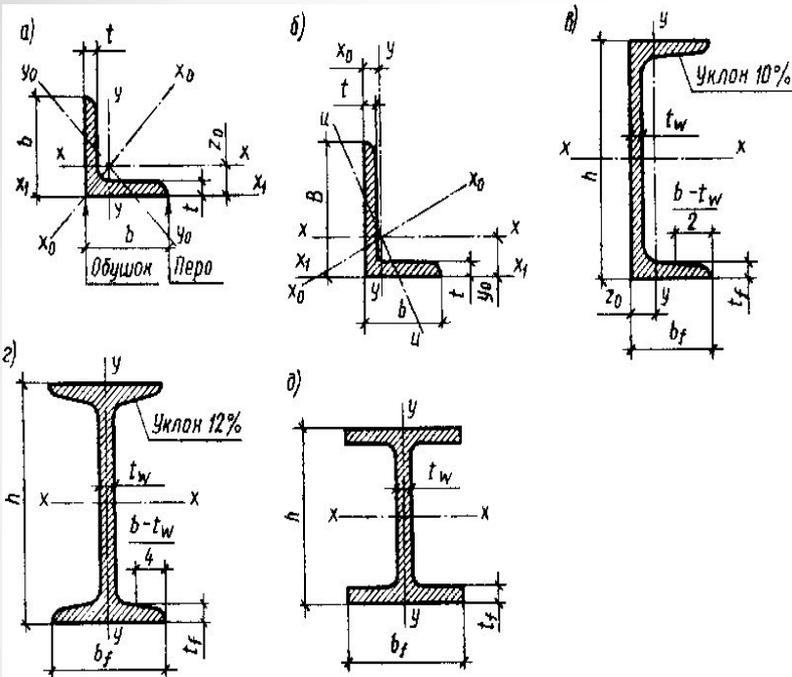
**Для гидротехнических сооружений**, мостов и других особо ответственных конструкций предназначены малоуглеродистые **стали марки М16С** (по ГОСТ 6713—75\*) и **марки 16Д** (по ГОСТ 6713—75\*)..

# СОРТАМЕНТ СТАЛЕЙ

**В инженерных конструкциях сталь применяют в виде прокатных изделий**, получаемых с металлургических заводов и имеющих различную форму поперечного сечения.

**Листовая сталь** распространена наиболее широко. Она часто составляет 40...60 % массы всего сооружения. Некоторые конструкции (составные балки, листовые оболочки и др.) почти целиком выполняют из листовой стали. Причиной такого широкого применения листа является неограниченная возможность создания любых профилей необходимых размеров, мощности и конфигурации сечения путем сварки листов.

# Прокатные профили



Угловые профили (рис. а, б) широко применяют для несущих элементов, работающих на *осевые силы*, в качестве связующих элементов.

Более экономичны уголки с меньшими толщинами полок.

Уголки -двух типов: *равнополочные и неравнополочные*.

Двутавры, используемые в инженерных конструкциях, прокатываются двух типов: *обыкновенные и широкополочные*.

Балки двутавровые – основной балочный профиль, работают на изгиб, чем и определяется их конфигурация (рис. г). Балки двутавровые широкополочные высотой до 1000 мм имеют параллельные грани полок (рис. д). Выпускают трех типов: *нормальные двутавры (Б), широкополочные двутавры (Ш) и колонные двутавры (К)*. Из широкополочных двутавров путем разрезки стенки в продольном направлении получают *тавровые профили*.

*Швеллер* отличается от двутавра сдвинутой к краю полок стенкой. Он прокатывается двух типов с уклоном внутренних граней полок (рис. в) и с параллельными гранями полок.

**Трубы стальные** бывают бесшовные **горячекатаные и электросварные.**

Трубы менее подвержены коррозии, чем фасонные профили, благодаря чему их часто применяют в гидротехническом строительстве.

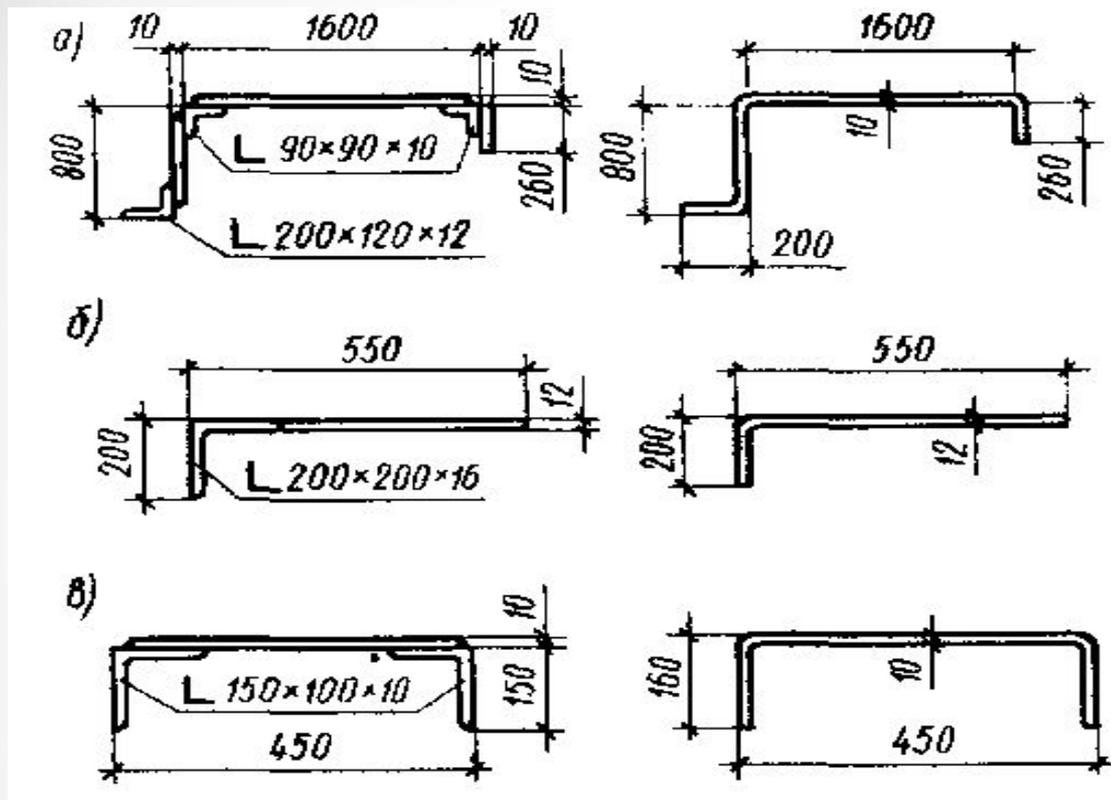
Кроме перечисленных основных профилей в инженерных конструкциях применяют

**сталь квадратную;**

**сталь круглую;**

также ряд других профилей.

# гнутые профили (рис. )



Сложные составные профили, замененные гнутыми: а — закладные части и облицовка пазов гидротехнических затворов; б — закладные части обратного пути гидротехнического затвора; в — ветвь колонии промышленного здания

# ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ РАСЧЕТА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ. РАСЧЕТНЫЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Металлические конструкции рассчитывают на все виды *силовых воздействий по методу предельных состояний*.

За нормативное сопротивление металла  $R_{ynj}$ , принимают наименьшее значение *предела текучести*, т. е.  $R_{yn} = \sigma_y$ .

Для хрупких металлов, а также конструкций, работающих на растяжение за *величину нормативного сопротивления*  $R_{un}$  принимают наименьшее значение *временного*

*сопротивления на разрыв* (предел прочности), т.е.  $R_{un} = \sigma_u$ .

Расчетное сопротивление  $R_y$  или  $R_u$  (по пределу текучести или по временному сопротивлению) определяют делением нормативного на коэффициент надежности по материалу  $\gamma_m > 1$ .  $\gamma_m$  меняется от 1,025 до 1,15.

# ЦЕНТРАЛЬНО-РАСТЯНУТЫЕ И ЦЕНТРАЛЬНО-СЖАТЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

**Центрально-растянутые элементы.** Основная проверка для центрально-растянутых элементов - *проверка прочности*, относящаяся к первой группе предельных состояний.

*Напряжения в центрально-растянутом элементе*

$$\sigma = N/A_n < R_y \gamma_c$$

где  $N$  — усилие в элементе от расчетных нагрузок;

$A_n$  — площадь поперечного сечения проверяемого элемента за вычетом ослаблений (площадь сечения нетто);

$R_y$  — расчетное сопротивление;

$\gamma_c$  — коэффициент условий работы.

Расчет на *прочность растянутых элементов* конструкций из стали с отношением  $R_u/\gamma_u > R_y$ , эксплуатация которых возможна и после достижения металлом предела текучести, выполняют по формуле

$$\sigma = N/A_n < R_y \gamma_c / \gamma_u$$

$\gamma_u$  — коэффициент надежности.

● **Центрально-сжатые элементы.** Эти элементы рассчитывают по первой группе предельных состояний, при этом для коротких элементов, длина которых превышает наименьший поперечный размер не более чем в 5...6 раз, проверяют прочность по формуле (3.1), а для длинных гибких элементов — устойчивость по формуле

$$\sigma = N/A\varphi \leq R_y\gamma_c,$$

где  $A$  — площадь поперечного сечения брутто;  $\varphi$  — коэффициент продольного изгиба, определяемый из табл. 3.3 в зависимости от гибкости элемента  $\lambda$ .

Учитывая традиционное соотношение размеров элементов в металлических конструкциях, основной является проверка устойчивости.

На работу сжатых элементов оказывают влияние случайные эксцентриситеты, возникающие во всех элементах реальных конструкций.

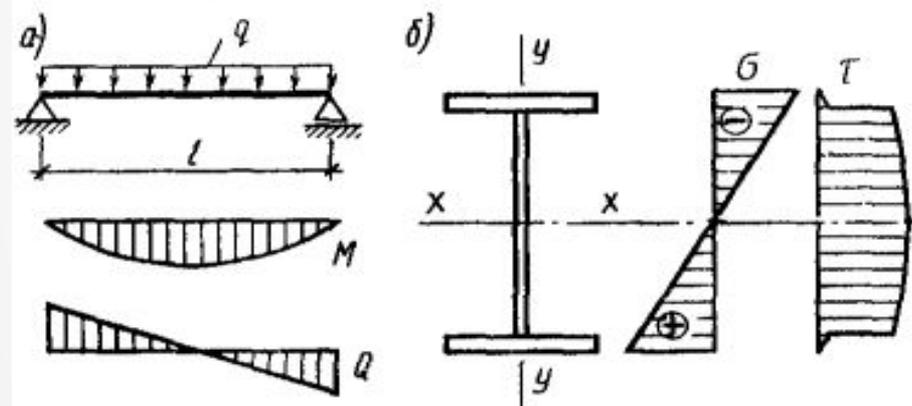
Происхождение этих эксцентриситетов разнообразно: ими могут быть эксцентриситеты в приложении нагрузки, начальные прогибы (погнутости) и т. п. За счет эксцентриситетов практически все элементы, кроме сжатия, работают и на изгиб. Влияние случайных эксцентриситетов на работу элементов разной гибкости оценено методами математической статистики.

Таким образом, несущая способность сжатого элемента исчерпывается в результате того, что напряжения в нем достигли критического значения. Проверка устойчивости центрально-сжатого элемента сводится к сравнению напряжений, равномерно распределенных по сечению, с критическим вычисленным с учетом случайных эксцентриситетов:  $\sigma = N/A \leq \sigma_{cr}$ . Чтобы не вычислять

## ИЗГИБАЕМЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Изгибаемые элементы рассчитывают по первой группе предельных состояний, когда проверяют их прочность и устойчивость, и по второй группе предельных состояний, когда проверяют их жесткость (прогиб). Расчеты на прочность и устойчивость ведут по расчетным нагрузкам, а расчет на прогиб — по нормативным.

Прочность изгибаемых элементов проверяют по нормальным, касательным и приведенным напряжениям. Если балка работает на изгиб в одной из главных плоскостей



(рис. 3.1, а) в пределах упругости, то в сечениях балки получается треугольная эпюра нормальных напряжений (рис. 3.1, б). Максимальное значение этих напряжений в крайних волокнах

Рис. 3.1. Работа балки на изгиб:

а — расчетная схема и эпюры моментов и поперечных сил; б — поперечное сечение и эпюры нормальных и касательных напряжений

$$\sigma = M/W_{n,\min} \leq R_y \gamma_s, \quad (3.12)$$

где  $W_{n,\min}$  — наименьшее значение момента сопротивления с учетом ослаблений.

Касательные напряжения в изгибаемых элементах проверяют в местах наибольшей поперечной силы  $Q$  по формуле

$$\tau = QS/(It) \leq R_s \gamma_c, \quad (3.13)$$

где  $S$  — статический момент (брутто) сдвигаемой части сечения относительно нейтральной оси;  $I$  — момент инерции брутто всего поперечного сечения;  $t$  — толщина элемента в месте, где проверяют касательные напряжения (обычно толщина стенки по нейтральному слою);  $R_s$  — расчетное сопротивление на сдвиг.

## ВНЕЦЕНТРЕННО РАСТЯНУТЫЕ И ВНЕЦЕНТРЕННО СЖАТЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

● **Внецентренно растянутые элементы.** К ним относят элементы, в которых одновременная работа на растяжение и изгиб может происходить как от внецентренно расположенных растягивающих сил, так и от совместного действия сил, центрально растягивающих элемент, и сил, создающих поперечный изгиб.

Возникающие при этом нормальные напряжения от обоих силовых воздействий суммируются и достигают максимальных значений в наиболее удаленных точках сечения. Во внецентренно растянутых элементах производят проверку прочности:

при изгибе в одной плоскости и растяжении

$$\sigma = N/A_n + M/W_n \leq R_y \gamma_c; \quad (3.21)$$

при изгибе в двух главных плоскостях (косом изгибе) и растяжении

$$\sigma = \frac{N}{A_n} + \frac{M_x}{W_{xn}} + \frac{M_y}{W_{yn}} \leq R_y \gamma_c. \quad (3.22)$$

● **Внецентренно сжатые элементы.** В этих элементах сжимающая сила прикладывается с эксцентриситетом  $e$  (рис. 3.3, а). При

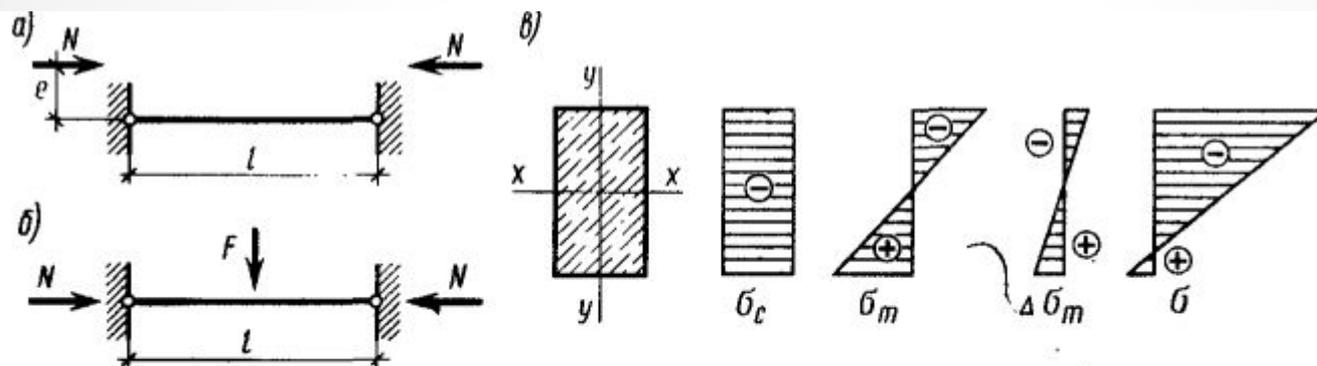


Рис. 3.3. Работа элемента на внецентренное сжатие

одновременном приложении продольной осевой силы и поперечной нагрузки, вызывающей изгиб, стержень будет сжатоизогнутым (рис. 3.3, б).

Проверку устойчивости в плоскости действия момента для элементов постоянного сечения производят по формуле

$$\sigma = \frac{N}{\varphi_e A} \leq R_y \gamma_c, \quad (3.24)$$

где  $N$  — продольная сжимающая сила, приложенная с эксцентриситетом  $e = M/N$ ;  $A$  — площадь поперечного сечения элемента брутто;  $\varphi_e$  — коэффициент понижения несущей способности внецентренно сжатого элемента вследствие возможности потери устойчивости.

## ВИДЫ СВАРКИ И ИХ ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Наиболее распространенным видом соединений стальных конструкций являются электросварные соединения. При этом чаще применяют электрическую дуговую (ручную, автоматическую и полуавтоматическую) сварку.

Значительно реже пользуются электрошлаковой и контактной электросваркой.

Широкое применение сварки (более 90 % всех соединений) объясняется преимуществами этого вида соединений по сравнению с другими видами соединений. К ним относятся: экономия металла (в составных балках до 20 %); снижение трудоемкости изготовления конструкций (до 20 %); компактность соединений, которая приводит к упрощению конструктивной формы; возможность непосредственного соединения элементов друг с другом без соединительных накладок или уголков; отсутствие ослаблений; плотность соединений.

К недостаткам сварных соединений следует отнести деформацию изделий от усадки сварных швов и наличие остаточных напряжений в конструкции, что при действии низких температур динамических нагрузках приводит к хрупкому разрушению стали. Кроме того, необходимо отметить трудность исчерпывающего контроля качества сварных швов.

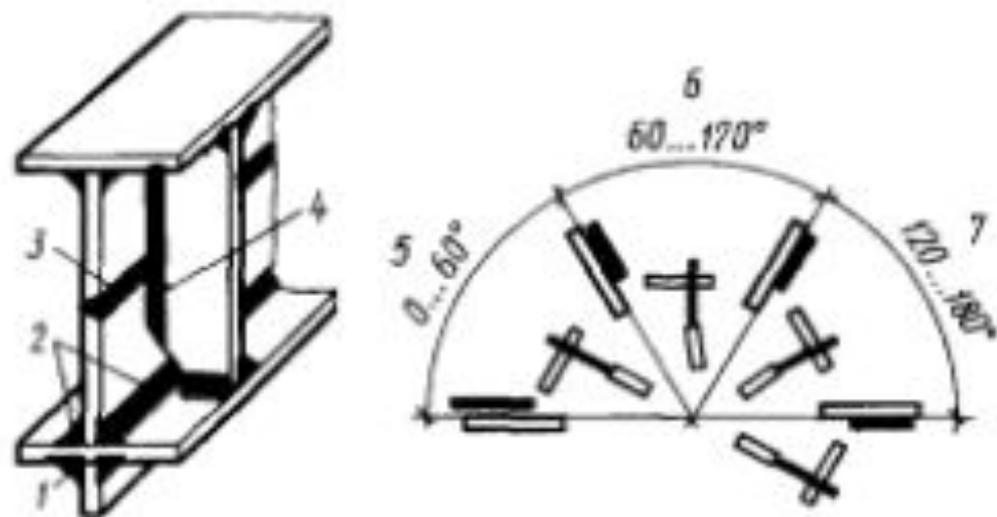


Рис. 4.1. Положение швов в пространстве:  
 1 — потолочный угловой шов; 2 — нижний угловой шов «в лодочку»; 3 — горизонтальный стыковой шов; 4 — вертикальный угловой шов; 5, 6, 7 — нижние, вертикальные и потолочные швы горизонтальными и потолочными (рис. 4.1).

По конструктивному признаку швы разделяют на стыковые и угловые (валиковые). Если усилие действует вдоль углового шва, он называется *фланговым*, если поперек, то *лобовым*. Швы могут быть рабочими или связующими (конструктивными), сплошными или прерывистыми. По положению в пространстве во время их выполнения они бывают нижними, вертикальными, горизонтальными и потолочными

наиболее удобна, легко поддается механизации, дает лучшее качество шва. Вертикальные, горизонтальные и потолочные швы в большинстве своем выполняются на монтаже. Они плохо поддаются механизации, выполнить их вручную трудно, качество шва получается хуже, а потому применение их в конструкции следует ограничивать.

По числу слоев, накладываемых при сварке, швы подразделяют на однослойные (однопроходные) и многослойные (многопроходные), по месту производства — на заводские и монтажные.

Различают следующие виды сварных соединений (рис. 4.2): стыковые, внахлестку и впритык (тавровые и угловые). Стыковые соединения осуществляют швами встык, соединения внахлестку — угловыми швами, соединения впритык могут быть выполнены как угловыми, так и стыковыми швами.

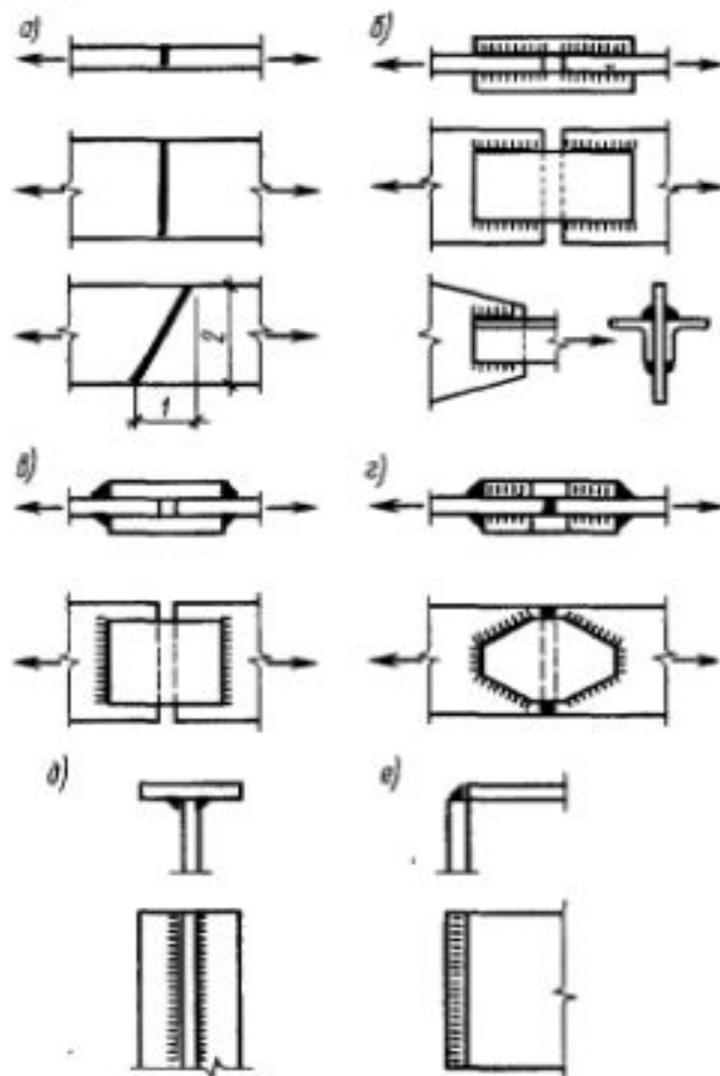


Рис. 4.2. Виды сварных соединений:  
*a* — стыковое; *б* — внахлестку фланговыми швами;  
*в* — то же, лобовыми швами; *г* — комбинированное;  
*д* — впритык тавровое; *е* — то же, угловое

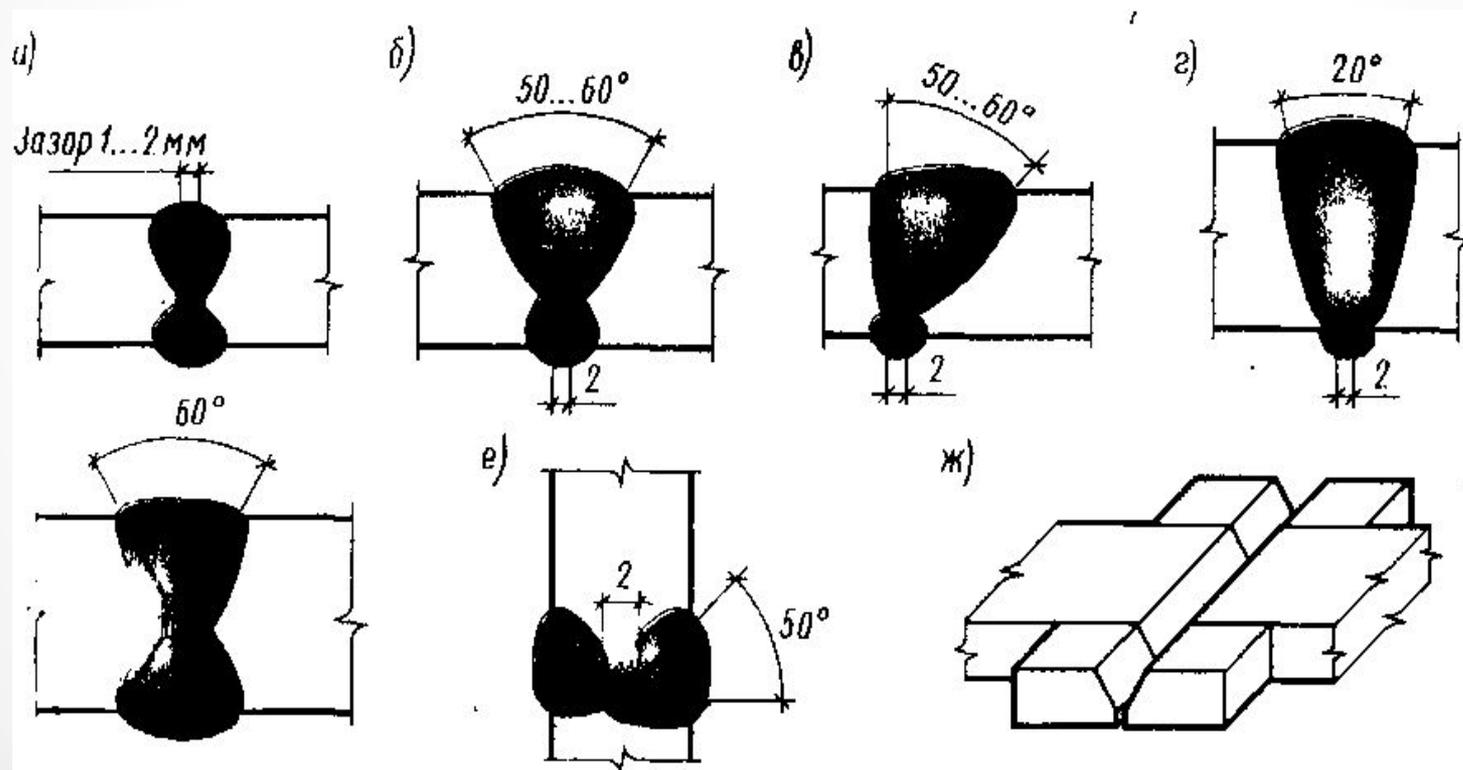
# РАСЧЕТ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИИ

**Стыковые соединения.** Для удобства передачи силовых потоков наиболее совершенными являются **соединения встык**, так как в них практически нет отклонений этих потоков, а следовательно, почти **отсутствуют концентрации напряжений**.

Поэтому из всех сварных соединений **под динамической нагрузкой лучше работают соединения встык**. Эти соединения экономичны по затрате материалов.

Основной недостаток стыковых соединений — **необходимость точно резать соединяемые элементы**, а часто и разделявать кромки.

- При большей толщину элементов кромки для удобства сварки и для обеспечения полного провара разделяют (**скашивают под углом**). Скосы можно делать только **с одной стороны (V- и U-образные швы, рис. б, в, г)** или с **двух сторон (X- и К-образные швы, рис. д, е)**.



Разделка кромок стыковых сварных соединений

Напряжения в шве проверяют по формуле

$$\sigma_w = N/A_w = N/(tl_w) < R_{wy} \gamma_{c'}$$

где  $N$ —расчетное усилие;

$R_{wy}$ —расчетное сопротивление сварного соединения встык растяжению или сжатию .

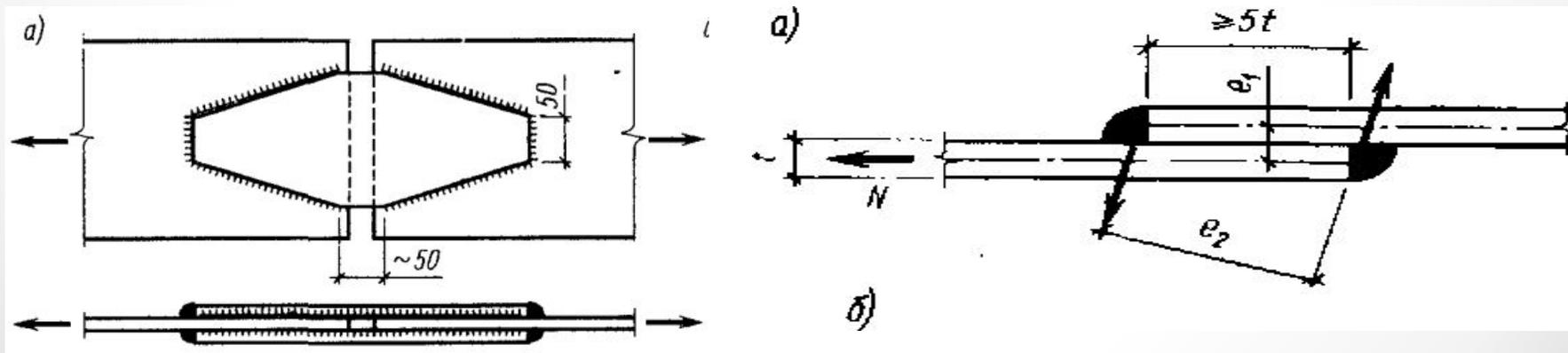
При действии изгибающего момента  $M$  на соединение нормальные напряжения в шве

$$\sigma_w = M/W_w,$$

где  $W_w = tl^2w/6$ — момент сопротивления шва.

# Соединение внахлестку

Соединение внахлестку выполняют с **накладками** или без них с **помощью угловых швов**. В зависимости от расположения швов по отношению к направлению передаваемого усилия различают **фланговые швы** (рис. а), расположенные параллельно усилию, и **лобовые швы** (рис. б), расположенные перпендикулярно усилию.

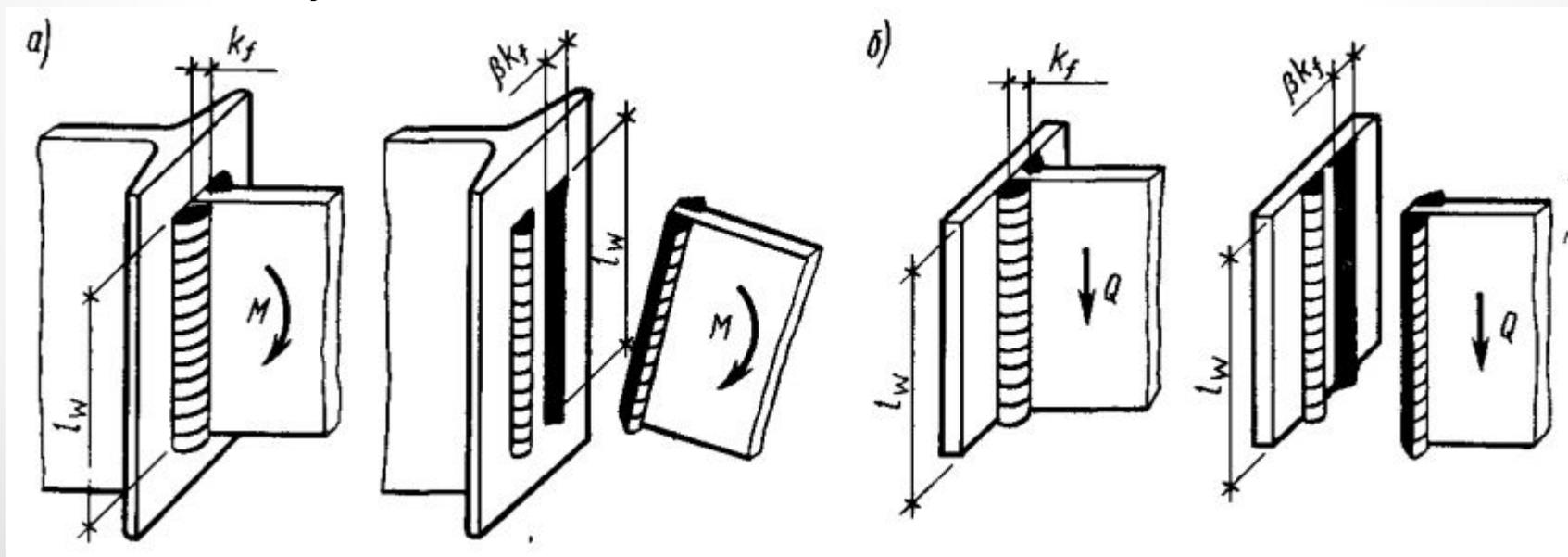


Простота соединения **внахлестку**, для которого не требуется точной подгонки и обработки кромок, а только очистка, удаление заусениц и правка, является причиной широкого распространения этого вида сварного-соединения.

**Недостаток** его — сильное искажение силового потока при передаче усилия с одного элемента на другой и связанная с этим концентрация напряжений, вызываемая одновременной работой шва на срез и изгиб.

При соединении *фланговыми* швами неравномерная передача усилия происходит по длине шва и по поперечному сечению соединения. По длине наиболее интенсивна передача усилий на концах швов, где разность напряжений в соединяемых элементах наибольшая.

Неравномерность распределения напряжений приводит к снижению качества соединения. Независимо от вида работы (сжатие, растяжение, срез) расчет лобовых швов условно ведут на срез по минимальной площади сечения шва. При соединении внахлестку с длину нахлестки назначают не менее пяти толщин более тонкого элемента. Это уменьшает влияние изгибающего момента.



# ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА БОЛТОВЫХ И ЗАКЛЕПОЧНЫХ СОЕДИНЕНИИ

Для **соединения элементов в металлических конструкциях** помимо сварки применяют **болты** и **заклепки**.

- **Болтовые соединения** - просты в постановке, потому их широко применяют в монтажных соединениях, незаменимы в сборно-разборных сооружениях.

**Недостаток**— повышенная металлоемкость по сравнению со сварными соединениями, ослабление сечений соединяемых элементов отверстиями под болты, повышенная деформативность конструкций.

Для инженерных конструкций применяют **болты грубой, нормальной и повышенной точности** диаметром 10...30 мм (обычные болты), а также высокопрочные и самонарезающие болты.

Болты грубой и нормальной точности штампуют из малоуглеродистой стали круглого сечения. Их устанавливают в отверстие на 2...3 мм больше диаметра болта, которые образуют продавливанием или сверлением в отдельных элементах.

В зависимости от механических свойств сталей обычные болты разделяют на шесть классов прочности. В инженерных конструкциях наиболее распространены классы прочности 4.6, 5.6, 8.8. Первое число, умноженное на 10, определяет значение минимального временного сопротивления (в кгс/мм<sup>2</sup>), произведение чисел показывает значение предела текучести (в кгс/мм<sup>2</sup>).

**Соединения на высокопрочных болтах.** Такие соединения работают за счет сил трения. Просты в монтаже.

**Самонарезающие болты** отличаются от обычных наличием резьбы полного специального профиля на всей длине стержня болта для нарезания резьбы и завинчивания в ранее образованные отверстия соединяемых деталей. Материал - сталь термоупрочненная.

Применяются в основном  $d = 6\text{мм}$  для прикрепления профилированного настила к прогонам и элементам фахверка. Их большим преимуществом является возможность производить крепежные работы, находясь только с одной стороны конструкции.

**Заклепочные соединения**, в прошлом основной вид соединений металлических конструкций. Из-за неудобства технологического процесса клепки и перерасхода металла на соединение, в настоящее время почти полностью заменены сваркой и высокопрочными болтами.

Они применяются только в **тяжелых конструкциях**, подверженных воздействию динамических и вибрационных нагрузок (например, **высоконапорные глубинные затворы**), а также при использовании трудносвариваемых материалов — некоторые термообработанные стали и алюминиевые сплавы.

# РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ БОЛТОВЫХ СОЕДИНЕНИИ

Работа на сдвиг является основным видом работы болтовых соединений. При этом обычные болты (грубой, нормальной и повышенной точности) работают на срез, а стенки отверстий в соединяемых элементах — на смятие

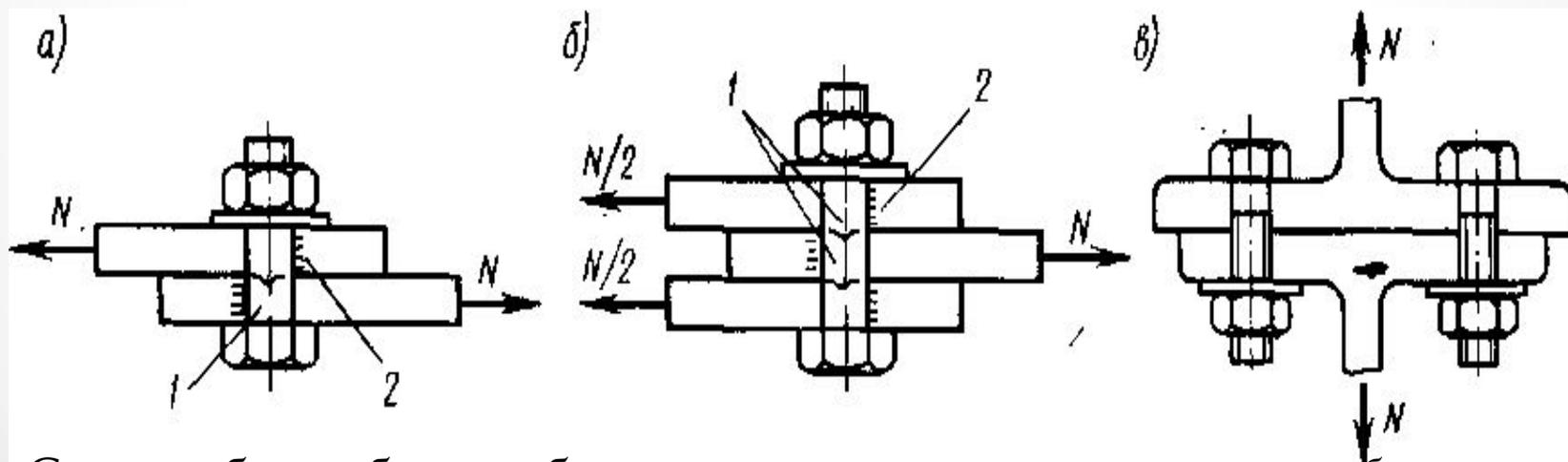


Схема работы обычных болтов: *а* — односрезное соединение; *б* — двухсрезное соединение; *в* — на растяжение; 1 — плоскости среза; 2 — смятие стенок отверстий

Распределение продольной силы  $N$ , проходящей через центр тяжести соединения, между болтами принимается равномерным. Расчетное усилие, которое может быть воспринято одним болтом из условия прочности срезу,

$$N_b = R_{bp} d \Sigma t \gamma_b. \quad (4.13)$$

В формулах (4.12) и (4.13)  $R_{bs}$  и  $R_{bp}$  — расчетные сопротивления болтовых соединений срезу и смятию (табл. 4.4 и 4.5);  $d$  — наружный диаметр стержня болта;  $A_b = \frac{\pi d^2}{4}$  — расчетная площадь сечения стержня болта (табл. 4.6);  $\Sigma t$  — наименьшая суммарная толщина элементов, сминаемых в одном направлении;  $n_s$  — число расчетных срезов одного болта;  $\gamma_b$  — коэффициент условий работы соединения; для болтов грубой и нормальной точности в многоболтовом соединении  $\gamma_b = 0,9$ , для болтов повышенной точности  $\gamma_b = 1$ .

Если внешняя сила, действующая на соединение, направлена параллельно продольной оси болтов, то они работают на растяжение; такую работу соединения называют еще работой на отрыв головок (рис. 4.11, в). Расчетное усилие на растяжение, которое может быть воспринято одним болтом,

$$N_b = R_{bt} A_{bn}, \quad (4.14)$$

где  $R_{bt}$  — расчетное сопротивление болтов растяжению;  $A_{bn}$  — площадь сечения болта нетто (табл. 4.6).

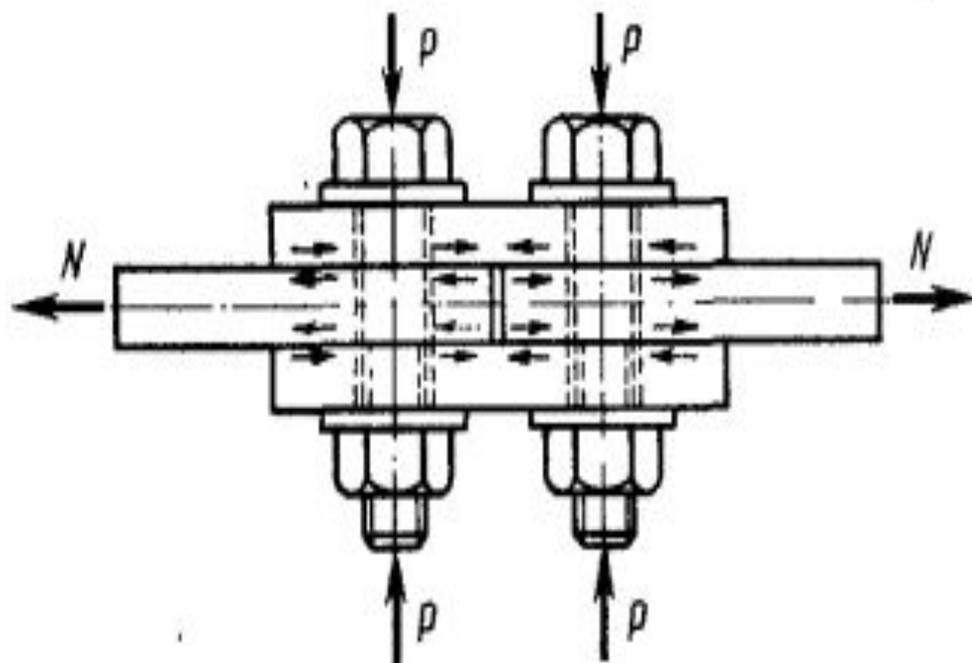


Рис. 4.12. Схема работы соединения на высокопрочных болтах .

Решающее значение в работе соединения на высокопрочных болтах имеют сила натяжения болта и качество поверхностей трения.

Необходимое число болтов в соединении

$$n \geq N / (N_{b, \min} \gamma_c), \quad (4.15)$$

где  $N_{b, \min}$  — меньшее из значений расчетного усилия для одного болта, вычисленных по формулам (4.12) и (4.13) при работе соединения на сдвиг, или усилие по формуле (4.14) при работе соединения на растяжение.

Расчетное усилие, которое может быть воспринято каждой поверхностью трения соединяемых элементов, стянутых одним высокопрочным болтом (рис. 4.12), определяют по формуле

$$Q_{bn} = R_{bh} \gamma_b A_{bn} \mu / \gamma_h, \quad (4.16)$$

где  $R_{bh} = 0,7 R_{bun}$  — расчетное сопротивление растяжению высокопрочного болта ( $R_{bun}$  — наименьшее временное сопротивление материала болта, табл. 4.7);  $\gamma_b$  — коэффициент условий работы соединения, зависящий от количества болтов  $n$  (при  $n < 5$   $\gamma_b = 0,8$ ; при  $5 \leq n < 10$   $\gamma_b = 0,9$ ; при  $n \geq 10$   $\gamma_b = 1$ );  $A_{bn}$  — площадь сечения болта нетто по табл. 4.6;  $\mu$  — коэффициент трения, зависящий от характера обработки поверхностей соединяемых элементов, принимаемый по табл. 4.8;  $\gamma_h$  — коэффициент надежности, зависящий от вида нагрузки (статическая или динамиче-

Размещение болтов в листах и прокатных профилях может быть рядовое и в шахматном порядке. Линии, проходящие по центрам отверстий, называют *рисками*. Расстояние между рисками вдоль усилия называют *шагом*, а поперек усилия — дорожкой (рис.

Минимальные расстояния между центрами болтов в стальных конструкциях определяются условием прочности основного металла, максимальные расстояния — условиями устойчивости соединяемых элементов в промежутке между болтами или заклепками при сжатии и плотностью соединения растянутых элементов и приводятся ниже.

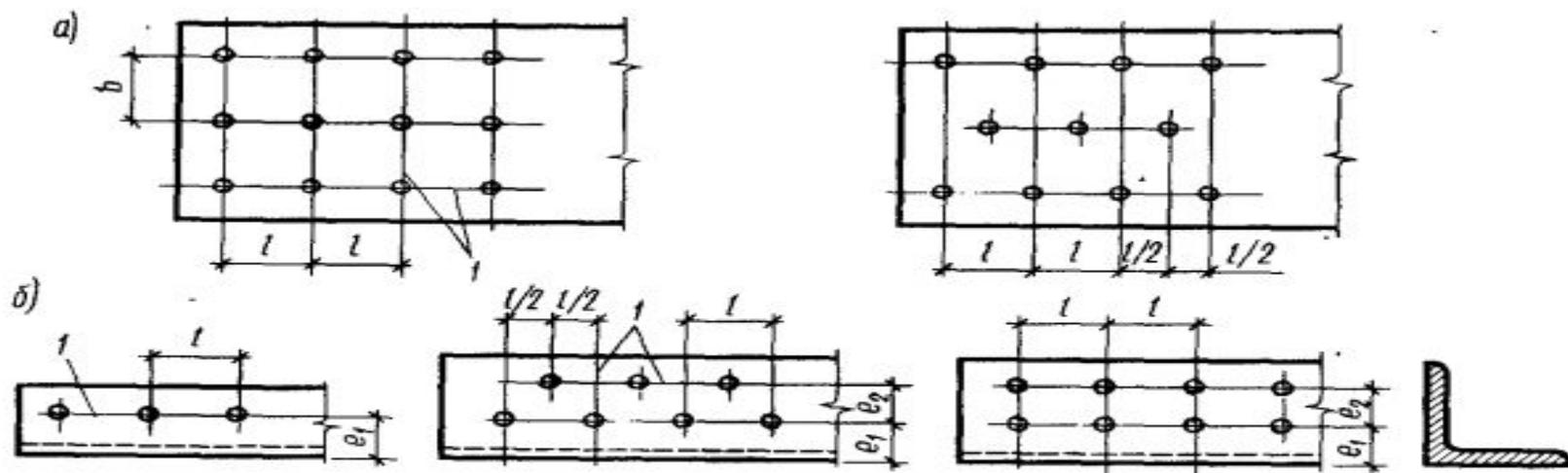


Рис. 4.13. Размещение отверстий:

а — в листовом материале; б — в прокатных профилях;  $l$  — риски;  $l$  — шаг;  $e$  — дорожка

