

# ИНЖЕНЕРНЫЕ КОНСТРУКЦИИ



## 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; прочность соединений.

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

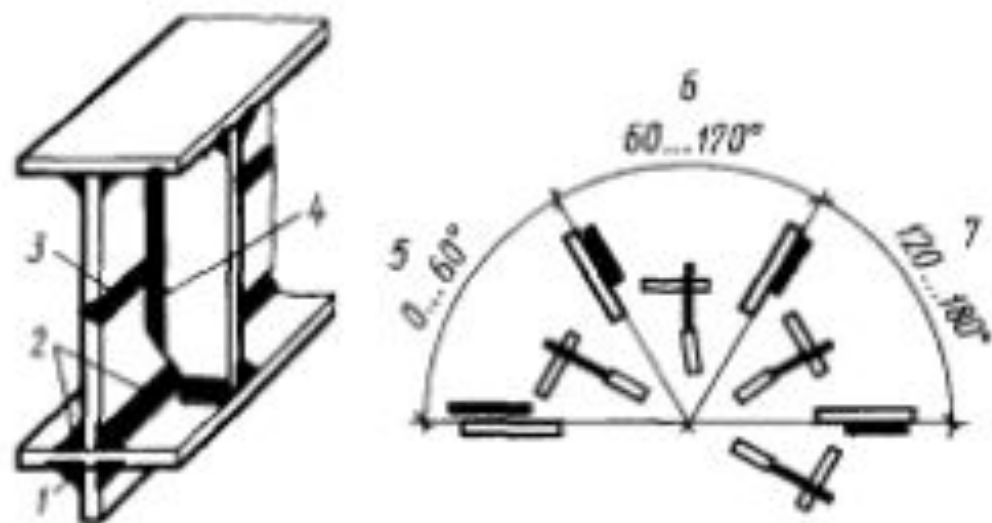


Рис. 4.1. Положение швов в пространстве:  
 1 — потолочный угловой шов; 2 — нижний угловой шов «в лодочку»; 3 — горизонтальный стыковой шов; 4 — вертикальный угловой шов; 5, 6, 7 — нижние, вертикальные и потолочные швы горизонтальными и потолочными (рис. 4.1).

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 (рис. 4.1).

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.

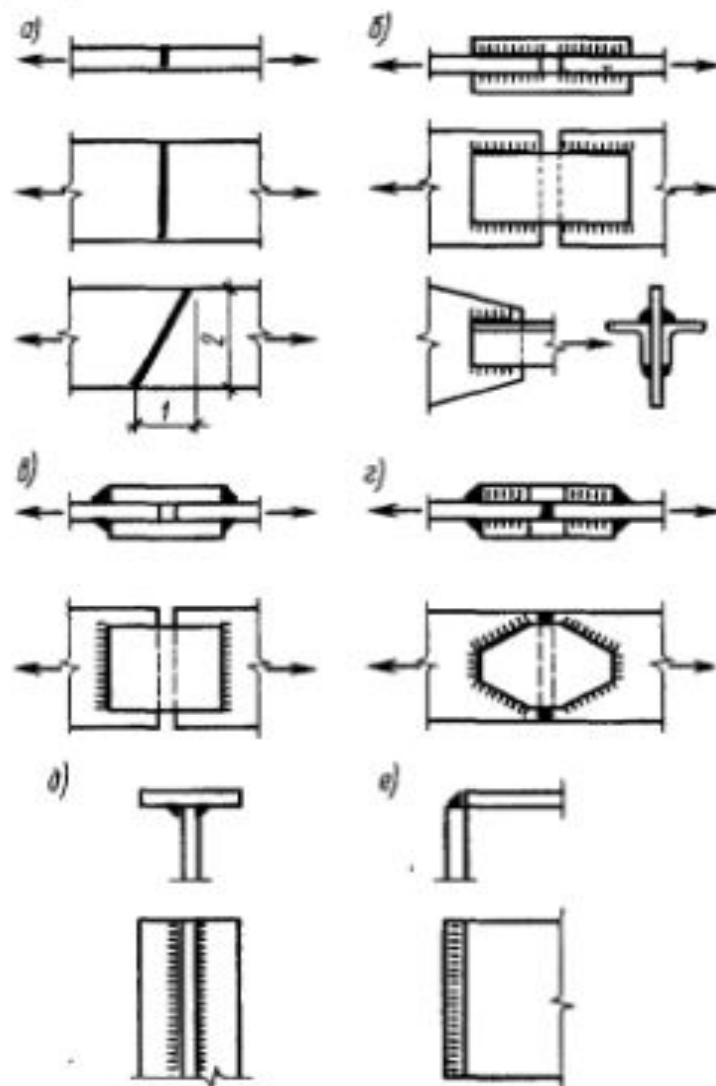


Рис. 4.2. Виды сварных соединений:  
а — стыковое; б — внахлестку фланговыми швами; в — то же, лобовыми швами; г — комбинированное; д — впритык тавровое; е — то же, угловое

# РАСЧЕТ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИИ

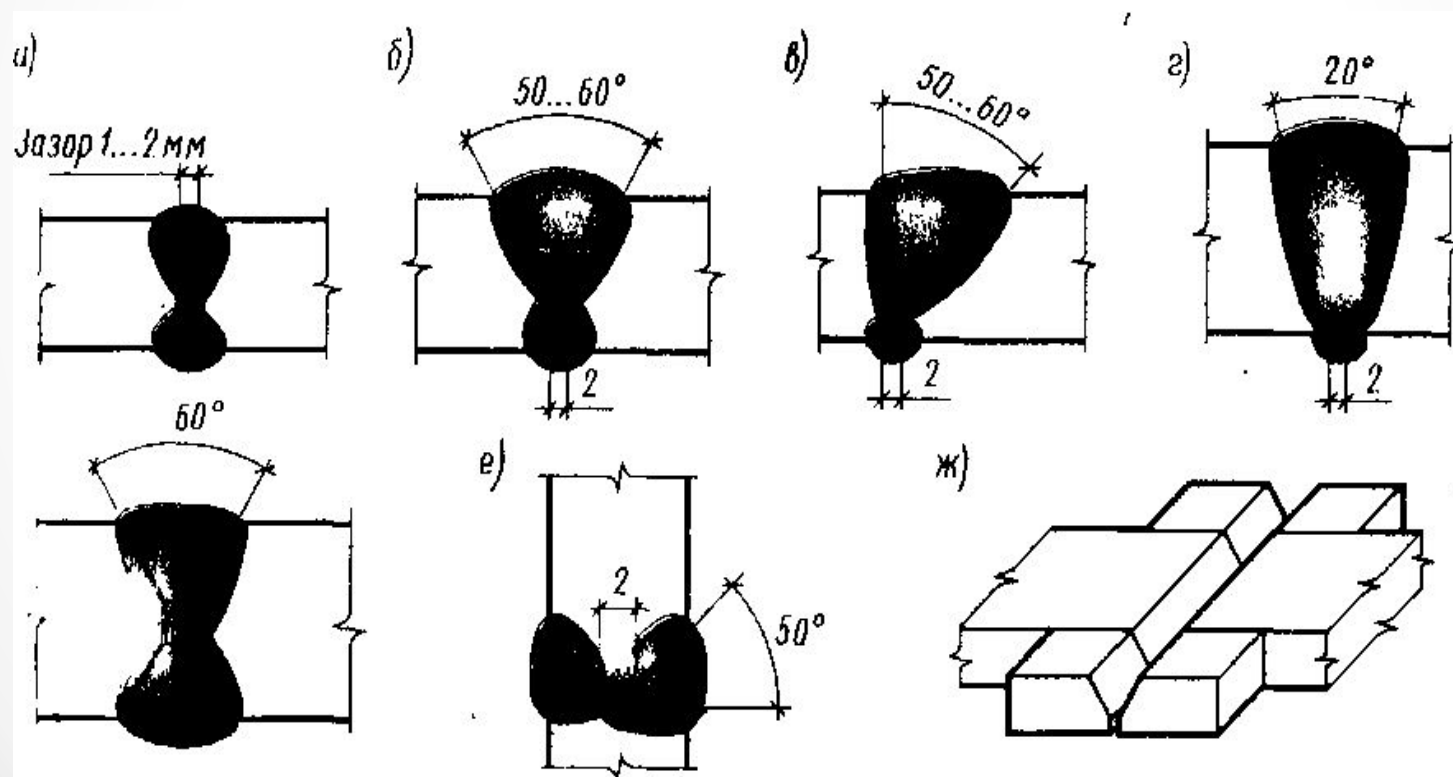
**Стыковые соединения.** Для удобства передачи силовых потоков наиболее совершенными являются **соединения встык**, так как в них практически нет отклонений этих потоков, а следовательно, почти **отсутствуют концентрации напряжений**.

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 большой толщине 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 K-образные швы, рис. д, е)**.



Разделка кромок стыковых сварных соединений

Напряжения в шве проверяют по формуле

$$\sigma_w = N/A_w = N/(t l_w) < R_{wy} \gamma_c,$$

где  $N$ —расчетное усилие;

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

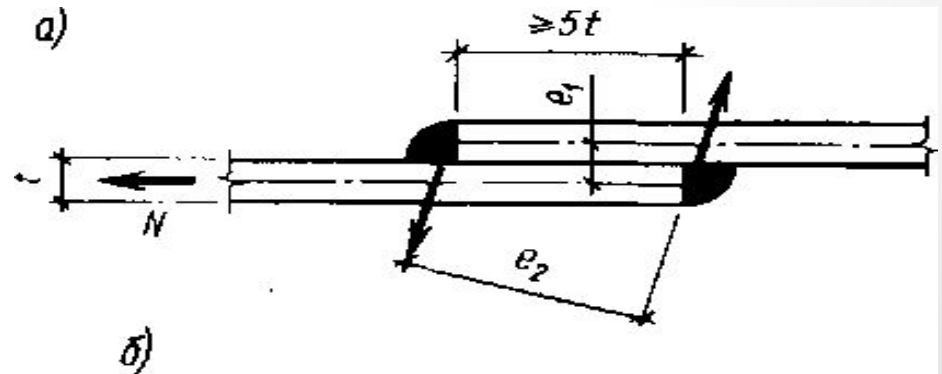
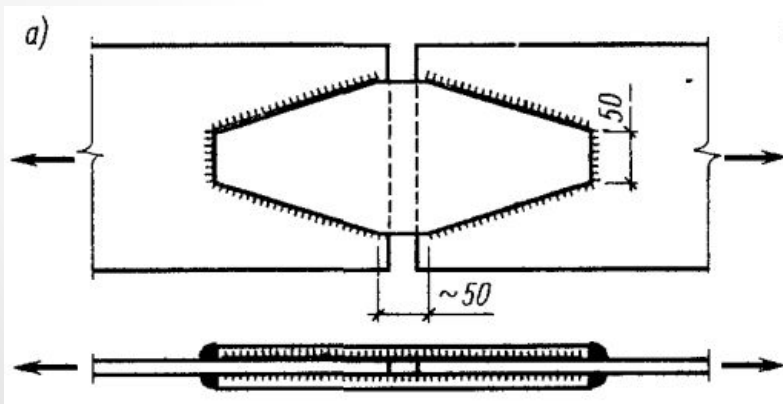
При действии изгибающего момента  $M$  на соединение нормальные напряжения в шве

$$\sigma_w = M/W_w,$$

где  $W_w = t l^2 w / 6$ — 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.



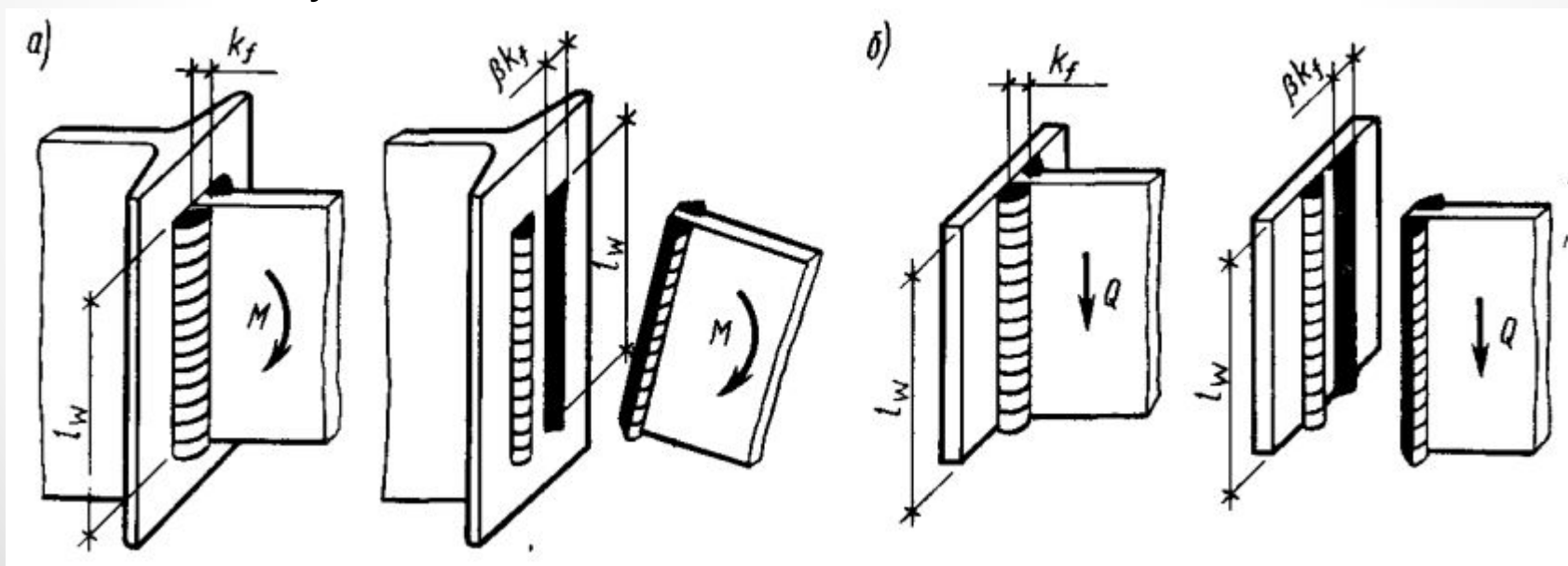


Простота соединения **внахлестку**, для которого не требуется точной подгонки и обработки кромок, а только очистка, удаление заусениц и правка, является причиной широкого распространения этого вида сварного-соединения.

**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

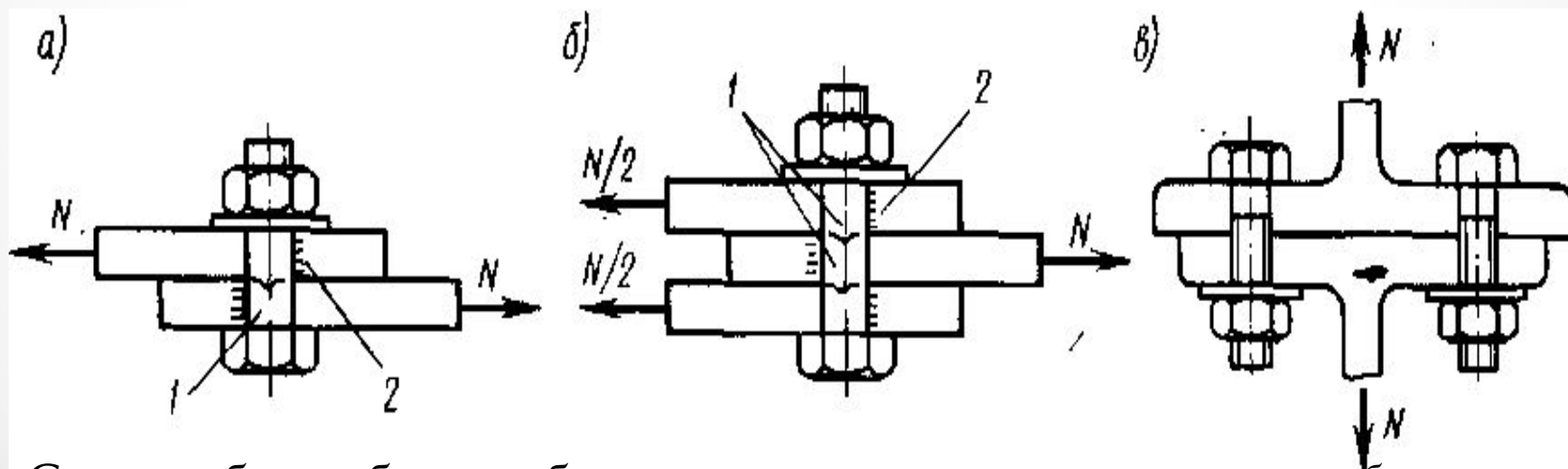


Схема работы обычных болтов: а — односрезное соединение; б — двухсрезное соединение; в — на растяжение; 1 — плоскости среза; 2 — смятие стенок отверстий



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).

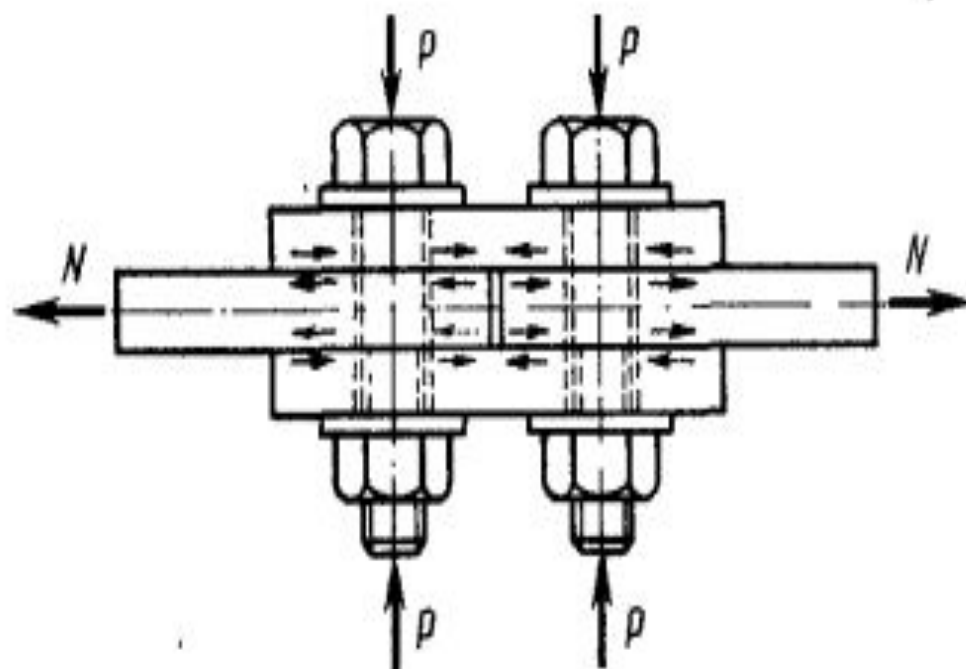


Рис. 4.12. Схема работы соединения на высокопрочных болтах

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.

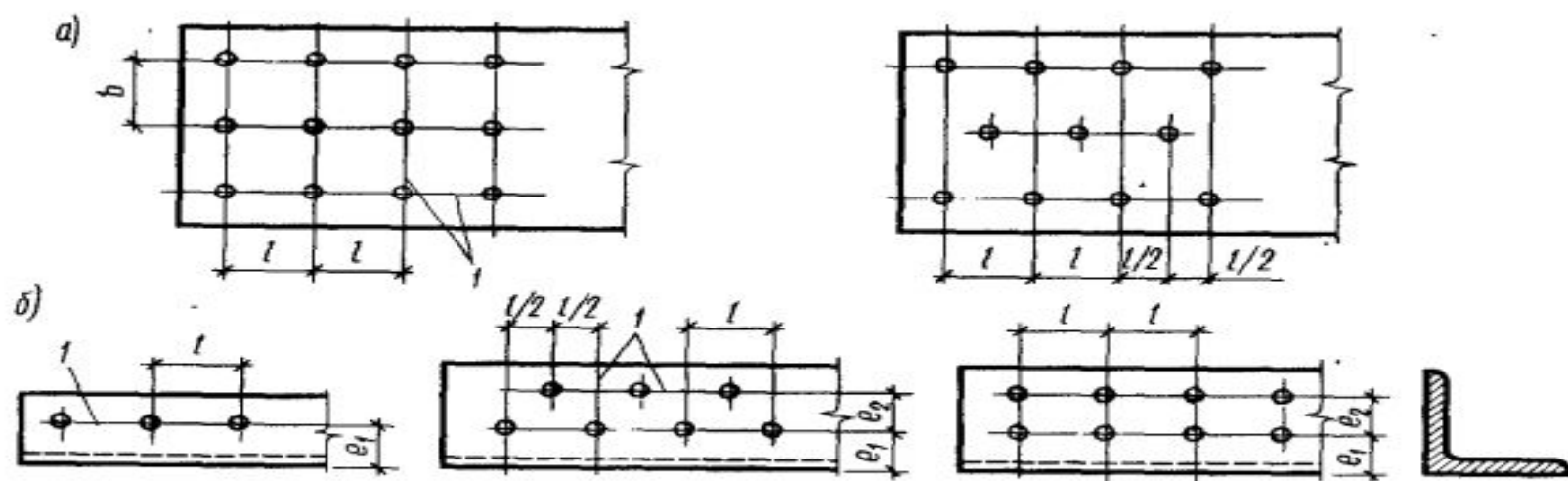


Рис. 4.13. Размещение отверстий:

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

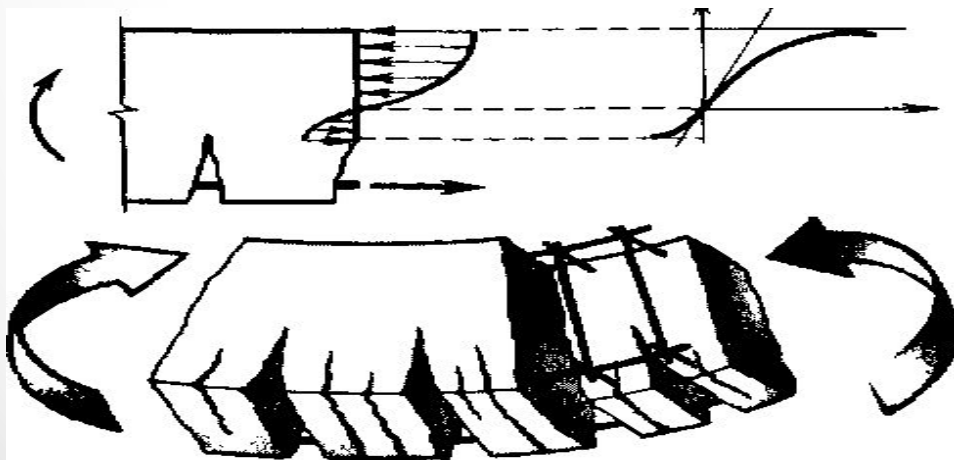
# ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ЖЕЛЕЗОБЕТОНЕ

**Железобетон** - комплексный строительный материал, состоящий из бетона и стали, которые **работают совместно как одно целое** при силовых воздействиях.

Бетон, как любой каменный материал, характеризуется **высоким сопротивлением при сжатии** и низким (в 10...20 раз меньше — **при растяжении**).

Сталь одинаково хорошо сопротивляется как растяжению, так и сжатию. Эти особенности материалов и используются в железобетоне.

Бетонная балка (рис. а), испытывающая при изгибе растяжение ниже нейтральной оси и сжатие выше нее, имеет низкую несущую способность вследствие слабого сопротивления бетона растяжению. При этом прочность бетона в сжатой зоне используется не полностью.





Железобетонные конструкции, усиленные в растянутой зоне арматурой, обладают значительно более высокой несущей способностью. Так, несущая способность железобетонной балки с уложенной внизу арматурой в 10...20 раз больше, чем несущая способность бетонной балки таких же размеров. При этом прочность бетона в сжатой зоне балки используется полностью.

В качестве арматуры применяют стальные стержни, проволоки, прокатные профили



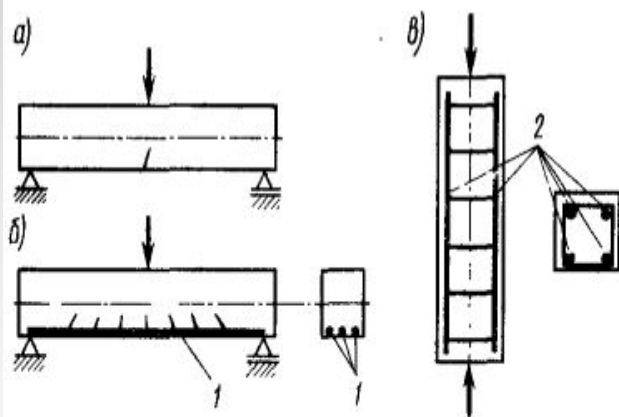


Рис. 14.1. Схемы элементов под нагрузкой:  
1 — растянутая арматура; 2 — сжатая арматура

Конструкции армируют при их работе на *растяжение и изгиб, на сжатие* (рис. 14.1, в). Сталь имеет высокое сопротивление растяжению и сжатию, включение ее в сжатые элементы значительно повышает их несущую способность.

Совместная работа таких различных по свойствам материалов, как бетон и сталь, обеспечивается следующими факторами:

1) *сцеплением арматуры с бетоном*, возникающим при твердении бетонной смеси; благодаря сцеплению оба материала деформируются совместно; 2) *близкими по значению коэффициентами линейных температурных деформаций*, что исключает появление начальных напряжений в материалах и проскальзывание арматуры в бетоне при изменениях температуры до  $100^{\circ}\text{C}$

3) надежной защитой стали, заключенной в плотный бетон от коррозии, непосредственного действия огня и механических повреждений.

Особенностью железобетонных конструкций является **возможность образования трещин в растянутой зоне** при действии внешних нагрузок.

Раскрытие этих трещин во многих конструкциях в стадии эксплуатации невелико (0,1...0,4 мм) и не вызывает коррозии арматуры или нарушения нормальной работы конструкции. Но имеются конструкции, в которых **образование трещин недопустимо** (напорные трубопроводы, лотки, резервуары и т.п.).

В этом случае **те зоны элемента**, в которых под действием эксплуатационных нагрузок **появляются растягивающие усилия, заранее** (до приложения внешних нагрузок) **подвергают интенсивному обжатию путем предварительного натяжения арматуры.**

Такие конструкции называют **предварительно напряженными**. Предварительное обжатие конструкций выполняют в основном двумя способами:

- натяжением арматуры на упоры (до бетонирования) и
- на бетон (после бетонирования).

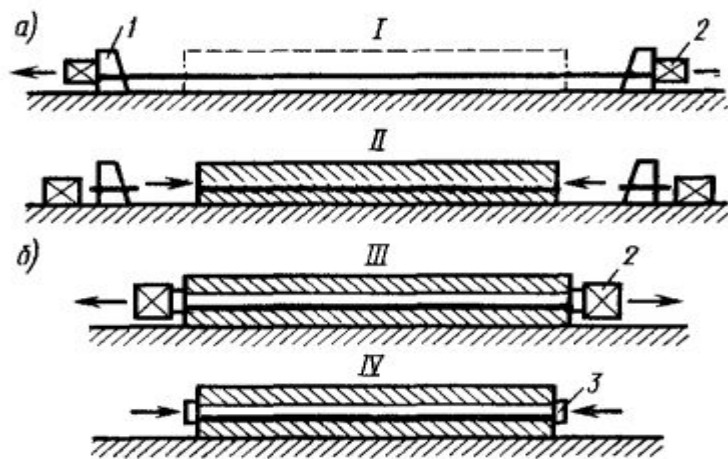


Рис. 14.2. Способы создания предварительного напряжения:

а — натяжение на упоры; б — натяжение на бетон; I — натяжение арматуры и бетонирование элемента; II, IV — готовый элемент; III — элемент во время натяжения арматуры; 1 — упор; 2 — домкрат; 3 — анкер

закрепляют на упорах или торцах формы (рис. 14.2, а). Затем бетонируют элемент. После приобретения бетоном необходимой прочности для восприятия сил предварительного обжатия арматуру освобождают от упоров и она, стремясь укоротиться, сжимает бетон. Передача усилия на бетон происходит благодаря сцеплению между арматурой и бетоном, а также посредством специальных анкерных устройств, находящихся в бетоне конструкции, если сцепления недостаточно.

Во втором случае изготавливают бетонный или слабоармированный элемент с каналами (рис. 14.2, б). При достижении бетоном требуемой передаточной прочности в каналы заводят арматуру, натягивают ее с упором натяжного приспособления на торец элемента и заанкеривают. Таким образом бетон оказывается обжатым. Для создания сцепления арматуры с бетоном в каналы инъецируют цементный раствор.

Если напрягаемая арматура располагается на наружной поверхности элемента (кольцевая арматура трубопроводов, резервуаров и т. п.), то навивка ее с одновременным обжатием бетона производится специальными навивочными машинами. После натяжения арматуры на поверхность элемента наносят торкретированием защитный слой бетона.

*Основное достоинство предварительно напряженных конструкций — высокая трещиностойкость.*

При загрузении предварительно напряженного элемента внешней нагрузкой в бетоне растянутой зоны погашаются предварительно созданные сжимающие напряжения и только после этого возникают растягивающие напряжения. Чем выше прочность бетона и стали, тем большее предварительное обжатие можно создать в элементе.

Применение высокопрочных материалов позволяет сократить расход арматуры на 30...70% по сравнению с ненапрягаемым железобетоном. Расход бетона и масса конструкции при этом также снижаются.

*Высокая трещиностойкость* предварительно напряженных конструкций *повышает их жесткость, водонепроницаемость, морозостойкость, сопротивление динамическим нагрузкам, долговечность.*

К недостаткам предварительно напряженного железобетона следует отнести значительную трудоемкость изготовления конструкций, необходимость в специальном оборудовании и высокой квалификации рабочих.

# ВИДЫ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Железобетонные конструкции бывают **сборными, монолитными и сборно-монолитными**.

**Сборные конструкции** наиболее распространены. При изготовлении сборных конструкций в заводских условиях можно широко применять наиболее прогрессивную технологию приготовления, укладки и обработки бетонной смеси, автоматизировать производство.

**Монолитные конструкции** широко применяют в сооружениях, (гидротехнические сооружения, тяжелые фундаменты, оболочки покрытий и т.п.), а также при строительстве в отдаленных районах.

**Сборно-монолитные конструкции** - сочетание сборных элементов и монолитного бетона, укладываемого на месте строительства.

Сборные элементы выполняют **функцию опалубки для монолитного бетона**, отдельных несущих или армирующих элементов. Сборно-монолитные конструкции по сравнению со сборными отличаются большей монолитностью и более простым устройством стыков, но уступают им в индустриальности и трудоемкости. Они особенно целесообразны для массивных гидротехнических сооружений, а также в случае если конструкции необходимо придать неразрезность и жесткость.

# Классификация бетонов

**Тяжелый бетон** — это бетон плотной структуры, на цементном вяжущем и плотных крупных и мелких заполнителях. Он является наиболее распространенным в строительстве и в основном применяется для несущих железобетонных конструкций. В гидротехнических сооружениях используют только тяжелый (гидротехнический) бетон. В качестве плотных заполнителей применяют щебень из дробленых горных пород (песчаник, гранит, диабаз и др.) и природный кварцевый песок.

**Легкий бетон** (на цементном вяжущем и пористых заполнителях) применяют в несущих конструкциях зданий, мостов при сравнительно небольших нагрузках и в ограждающих конструкциях.

**Ячеистые бетоны** используют в ограждающих конструкциях, **крупнопористые** — только в бетонных конструкциях (например, дренажи и фильтры гидротехнических сооружений),

**мелкозернистые** — для заполнения швов сборных конструкций и в армоцементных конструкциях.