

ИФО | 01.03.04 | ПМ | 6-й семестр

Строительные конструкции

Лекция №16



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ

**СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

www: mgsu.ru/universityabout/Struktura/Kafedri/ZhBK/

e-mail: gbk@mgsu.ru; dpekin@mail.ru

тел.: +7 495 287 49 14 доб. 3036, 3084

Пекин Дмитрий Анатольевич, доцент, к.т.н.

Лекция №16 – Соединение стальных элементов

- Классификация сварки
- Виды сварки
- Типы сварных соединений и швов
- Классификация сварных швов
- Конструирование сварных швов
- Расчет сварных соединений
- Виды болтов
- Болтовые соединения
- Расчет болтовых соединений

Сварка

Сварка и резка металлов применяется при строительстве, ремонте металлургических, химических, машиностроительных предприятий, уникальных общественных и гражданских зданий, мостов и нефтегазопроводов, резервуаров для хранения нефтепродуктов и сжиженных газов

Сваркой называется процесс получения **неразъемных** соединений путем установления межатомных связей между соединяемыми элементами при их местном нагревании или пластической деформации или совместном действии того и другого, обеспечивающий необходимую **прочность** и **пластичность** сварного соединения

По **физическим** признакам сварку **классифицируют**:

- по форме используемой энергии определяют класс сварки
- по виду источника энергии определяют вид сварки

Классификация сварки по ГОСТ 19521:

- **Термический** – виды сварки, осуществляемые плавлением: электродуговая, электрошлаковая, электронно-лучевая, плазменная, световая, газовая, термитная и др.
- **Термомеханический** – виды сварки, при которых используются тепловая энергия и давление: контактная, диффузионная, индукционно-прессовая, газопрессовая, термокомпрессионная, печная, кузнечная и др.
- **Механический** – виды сварки, производимые с использованием различных видов механической энергии и давления: холодная, взрывом, ультразвуковая, трением, магнитно-импульсная

Классификация по другим признакам:

- К **техническим** признакам относится способ защиты металла в зоне сварки, непрерывность процесса, степень механизации сварки и т.д.
- К **технологическим** признакам относят **форму** сварного соединения: контактная сварка точечная, шовная, стыковая и т. д. и **род** сварочного тока: переменный ток, постоянный ток, пульсирующий ток

Электрошлаковая сварка классифицируется по виду электродов: проволочный, пластинчатый, плавящимся мундштуком и т. д.

Основная доля **сварных** соединений в строительстве выполняется **электродуговой** сваркой:

- Ручной
- Механизированной
- Автоматической

Термический класс сварки

Ручная дуговая сварка (**РДС**) в строительстве производится покрытыми металлическими **электродами** диаметром от **2** до **6** мм

Источниками сварочного тока могут быть сварочные трансформаторы переменного тока, выпрямители, инверторы и генераторы постоянного тока

РДС применяется на заводах по изготовлению металлических и железобетонных конструкций, строительных и монтажных площадках

Около **70%** всех сварочных работ выполняется РДС, так как она имеет ряд преимуществ перед другими видами сварки: простоту, дешевизну, мобильность оборудования, высокое качество металла шва, равнопрочность шва и основного металла, возможность выполнения сварки в труднодоступных местах и во всех пространственных положениях

Недостаток – сравнительно невысокая производительность

Сущность процесса

Электрическая сварочная дуга возбуждается и горит между покрытым металлическим электродом и кромками свариваемого изделия ($T_{\text{дуги}} = 6000 \dots 8000 \text{ } ^\circ\text{C}$). Теплота дуги расплавляет электрод и металл кромок. Получается общая сварочная ванна **жидкого металла**, которая при охлаждении превращается в **сварной шов**. Покрытие электрода во время сварки расплавляется и частично испаряется, образуя жидкий шлак и газовое облако вокруг места сварки, и служит для:

- **Стабилизации** устойчивого горения дуги за счет поступающих из покрытия легкоионизирующихся элементов калия, натрия, кальция и др.
- **Защиты** зоны сварки и жидкого металла от атмосферы
- **Рафинирования** (очистка металла шва от вредных примесей (серы и фосфора)
- **Раскисления** металла шва (восстановления окислов железа)
- **Легирования** металла шва марганцем, кремнием, никелем, хромом, титаном для повышения прочностных, пластических и коррозионных свойств шва

Механизированная дуговая сварка (МДС)

В **углекислом** газе и с применением **проволоки** (без покрытия) отличается от РДС механизмом одновременной подачи электродной проволоки и защитного газа, который внутри дуги при температуре 6000...8000 °С диссоциирует: $CO_2 \rightarrow CO + O$, а образовавшийся кислород окисляет металл $Me + O \rightarrow MeO$

Для восстановления окисленного металла и предотвращения окисления применяют сварочную проволоку, **легированную** марганцем и кремнием (Св-08Г2С), в которой содержится от 1 до 2% марганца, до 1% кремния и 0,08% углерода

Применяется на заводах металлоконструкций (ЗМК) и в некоторых случаях – на строительных площадках, если есть защита сварки от **ветра**

Обеспечивает **высокое** качество шва при достаточно **высокой** производительности

Сварку можно производить в **любом** пространственном положении

К недостаткам относится невозможность сварки средне- и высоколегированных сталей из-за выгорания легирующих элементов

Автоматическая сварка под флюсом (АДС_ф)

При этом виде сварки электродная проволока подается в зону сварки с помощью механизма подачи, а перемещение дуги вдоль свариваемых кромок осуществляется **автоматизированным** механизмом перемещения

Для защиты жидкого металла сварочной ванны от атмосферы используют **флюс**, который засыпают впереди дуги из бункера слоем толщиной 30-40 мм и шириной 40-100 мм (чем больше толщина свариваемого металла, тем больше толщина и ширина слоя флюса)

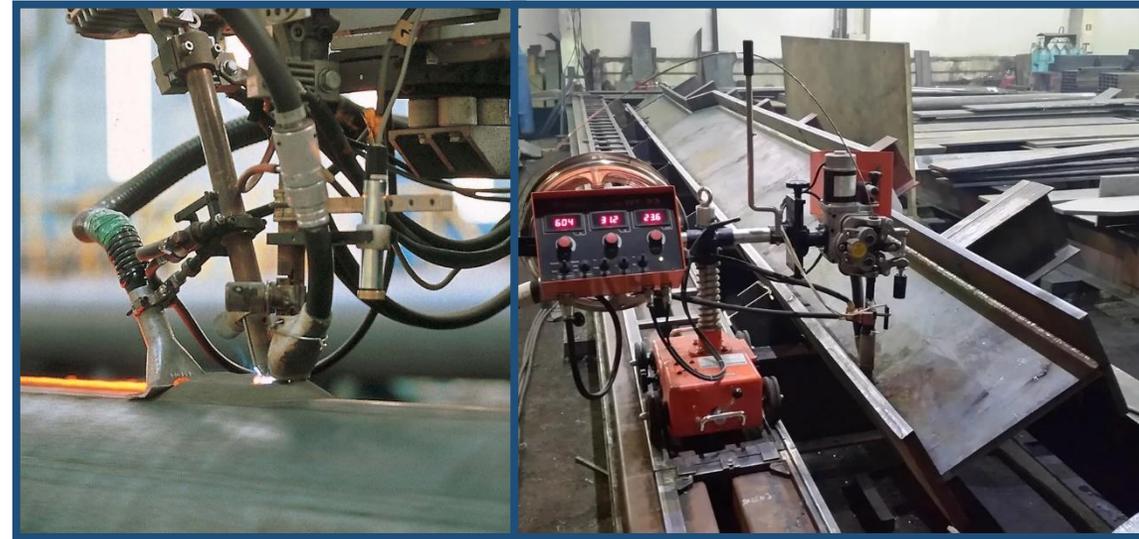
Сварочная дуга горит в **газовом пузыре** (пары **флюса** в смеси с парами свариваемого металла и электродной проволоки), образованном в результате частичного испарения при плавлении **флюса** и металла

По мере продвижения **дуги** расплавленный **флюс** при остывании образует шлаковую **корку**, которая легко отделяется с поверхности шва.

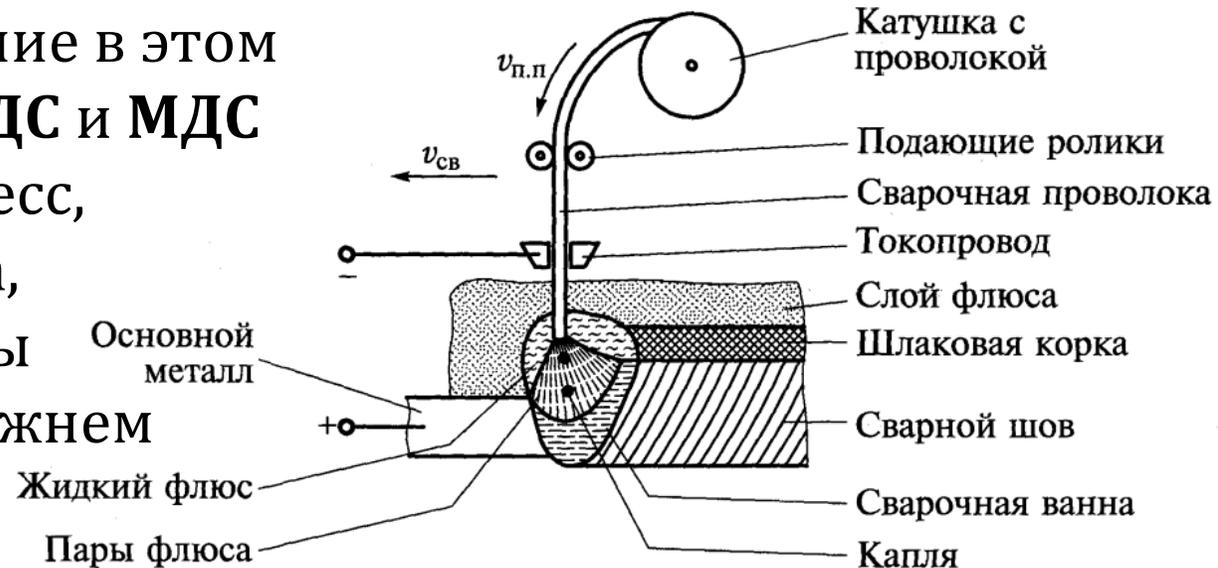
Расплавленный электродный и основной металлы в сварочной ванне перемешиваются и при кристаллизации образуют **сварной шов**

Автоматическая сварка под флюсом (АДС_ф)

Слой **флюса** над сварочной ванной замедляет ее остывание и кристаллизацию металла шва, что способствует наиболее полному протеканию металлургических процессов взаимодействия металла шва с флюсом, что улучшает его качество



Потери металла на угар и разбрызгивание в этом случае значительно **меньше**, чем при РДС и МДС
АДС_ф – высокопроизводительный процесс, обеспечивающий высокое качество шва, позволяющий варить большие толщины длинномерных изделий, но только в нижнем положении и «в лодочку»



Электрошлаковая сварка (ЭШС)

При **ЭШС** процесс плавления основного и электродного металла происходит за счет **тепла**, выделяемого в расплавленном **флюсе-шлаке** при прохождении через него электрического **тока**, который поддерживает в жидкой шлаковой **ванне** температуру около 2000...2500 °С. Этим способом осуществляется сварка деталей **вертикальными** швами с **принудительным** формированием шва

Минимальная толщина металла элементов, образующих стыковое соединение при **ЭШС** без усложнения технологии проведения сварки, находится в пределах **25-30** мм. Экономически целесообразно использовать **ЭШС** при сварке **толстостенных** конструкций

Недостатки: производство сварки только в **вертикальном** положении, снижение прочностных и пластических свойств металла околошовной зоны, зоны термического влияния из-за длительного пребывания при повышенных температурах

Электрошлаковая сварка (ЭШС)

Для образования шлаковой **ванны** в начальный период сварки возбуждается **дуга** между электродной проволокой и дном «кармана», после расплавления некоторого количества **флюса** она шунтируется расплавленным электропроводным шлаком и гаснет. Расплавленный металл электродной проволоки стекает на дно шлаковой ванны, образуя металлическую сварочную ванну. Из-за отвода тепла в основной металл и медные ползуны, металл ванны охлаждается и в нижней части кристаллизуется в сварной шов, соединяющий кромки свариваемых элементов

1 – свариваемые детали; **2** – скоба; **3** – сварной шов

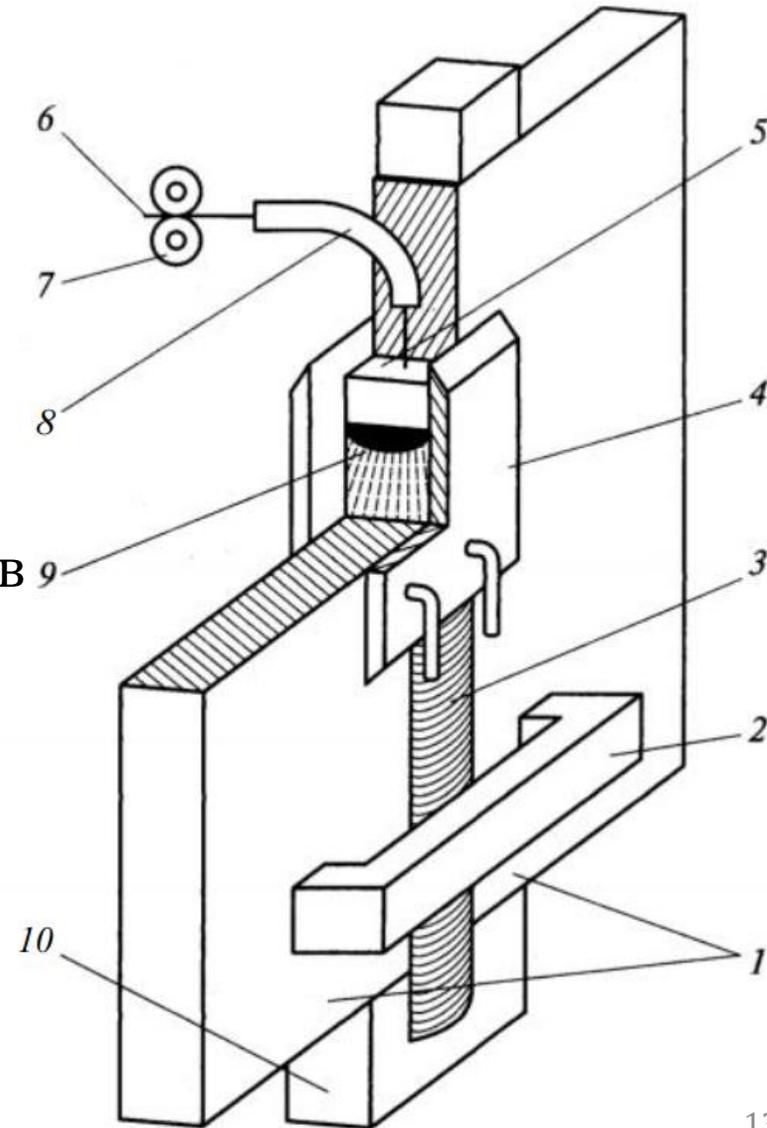
4 – водоохлаждаемые ползуны; **5** – шлаковая ванна

6 – электродная проволока; **8** – подводящий мундштук

7 – ролики механизма подачи проволоки

9 – металлическая (сварочная) ванна

10 – технологическая приставка «карман»



Газовая сварка (ГС)

В строительстве **ГС** используется при монтаже трубопроводов газо- и водоснабжения, водяного отопления в жилых домах и производственных зданиях, а также при сборке конструкций вентиляционных систем из тонколистового металла, сварке цветных металлов, алюминия и свинца и ремонтной наплавке подверженных износу элементов строительных машин (зубья ковшей экскаваторов, ножи бульдозеров и др.)

Источником тепла при сварке является сварочное **пламя** газовой горелки, которое образуется в результате **сгорания** горючего газа в **кислороде**. Температура сгорания горючих газов в кислороде достигает 2100...3150 °С (метан – 2150 °С, пропан + бутан – 2400 °С, ацетилен – 3150 °С)

Количество **тепла**, вводимого в изделие, регулируют с помощью сменных **наконечников** с различными проходными сечениями в мундштуке и угла наклона мундштука горелки к изделию: чем тоньше металл, тем меньше угол наклона

Термомеханический класс сварки

Контактная сварка представляет собой процесс, при котором соединение свариваемых элементов осуществляется за счет тепла, выделяющегося в месте их контакта при прохождении электрического тока и давления

Основные виды контактной сварки: **стыковая, точечная**

При стыковой сварке свариваемые элементы соединяются по поверхности стыкуемых торцов двумя способами: сопротивлением (**КССС**) и оплавлением (**КССО**)

При **КССС** включение тока и нагрев производят после плотного прижатия **торцов** элементов друг к другу. За счет тепла, выделяемого в месте контакта, торцы деталей и металл в зоне сварки нагреваются до **пластического** состояния, после чего к свариваемым элементам прикладывается усилие **осадки** и одновременно **выключается** электрический ток. Часть металла при этом выдавливается, образуя усиление округлой формы

Контактно-стыковая сварка оплавлением (КССО)

При сварке **оплавлением** вначале включают **ток**, а затем сближают торцы свариваемых деталей до **соприкосновения**. Касание происходит в одной, двух или нескольких точках контактной поверхности, которые под действием тока большой величины практически мгновенно нагреваются до **расплавления** и **испарения**

Перегретый и расплавленный металл выбрасывается из зоны стыка в виде **брызг** и **искр**. Дальнейшее сближение деталей обеспечивает распространение процесса плавления на всю торцевую поверхность свариваемых деталей с одновременным нагревом близлежащих участков металла до **пластического** состояния

Сварочный процесс заканчивается выключением электрического **тока** и сжатием элементов – **осадкой**, в результате которой жидкий металл **выдавливается** из зоны сварки, образуя так называемый **грат**

Контактно-точечная сварка (КТС)

При **точечной** сварке (КТС) листовые детали (заготовки) в местах соединений располагают **внахлестку**, а свариваемые **стержни** – перпендикулярно или под углом один к другому между электродами сварочной контактной машины

Медные электроды служат для подключения электрического тока и для передачи сжимающих усилий на свариваемые детали. После сжатия деталей пропускают электрический ток, при прохождении которого выделяется определенное количество тепла, расплавляющего контактируемые поверхности на некоторую глубину

Выключают электрический ток и **увеличивают** усилие сжатия во время кристаллизации расплавленного металла точки, что приводит к уменьшению (исчезновению) **усадочной** раковины в ядре сварной точки

Точечная сварка выполняется при различных циклах взаимодействия тока и давления

Основные типы сварных соединений и швов

Сварным соединением называют участок конструкции (конструктивный элемент), в которой отдельные ее элементы соединены с помощью сварки

В сварное соединение входит **сварной шов**, прилегающая к нему зона **основного металла** со структурными и другими изменениями в результате термического действия сварки (зона термического влияния – ЗТВ) и примыкающие к ней **участки** основного металла

Сварным швом называют элемент сварного соединения, образовавшийся в результате кристаллизации жидкого металла сварочной ванны. Он определяет геометрическую форму, сплошность, прочность и другие свойства металла непосредственно в месте сварки

Сварные швы могут быть **стыковыми** и **угловыми**. Угловой шов – это шов **углового, нахлесточного** и **таврового** сварного соединения. Короткие швы, применяемые для фиксации взаимного расположения подлежащих сварке деталей, называются **прихватками**

Основные типы сварных соединений:

Стыковые соединения являются наиболее распространенными, так как дают наименьшую концентрацию напряжений, а также **высокую** прочность при статических и динамических нагрузках

Они применяются при сварке в конструкциях из листового металла и при стыковке уголков, швеллеров, двутавров, труб и т. д. **Типы соединений:**

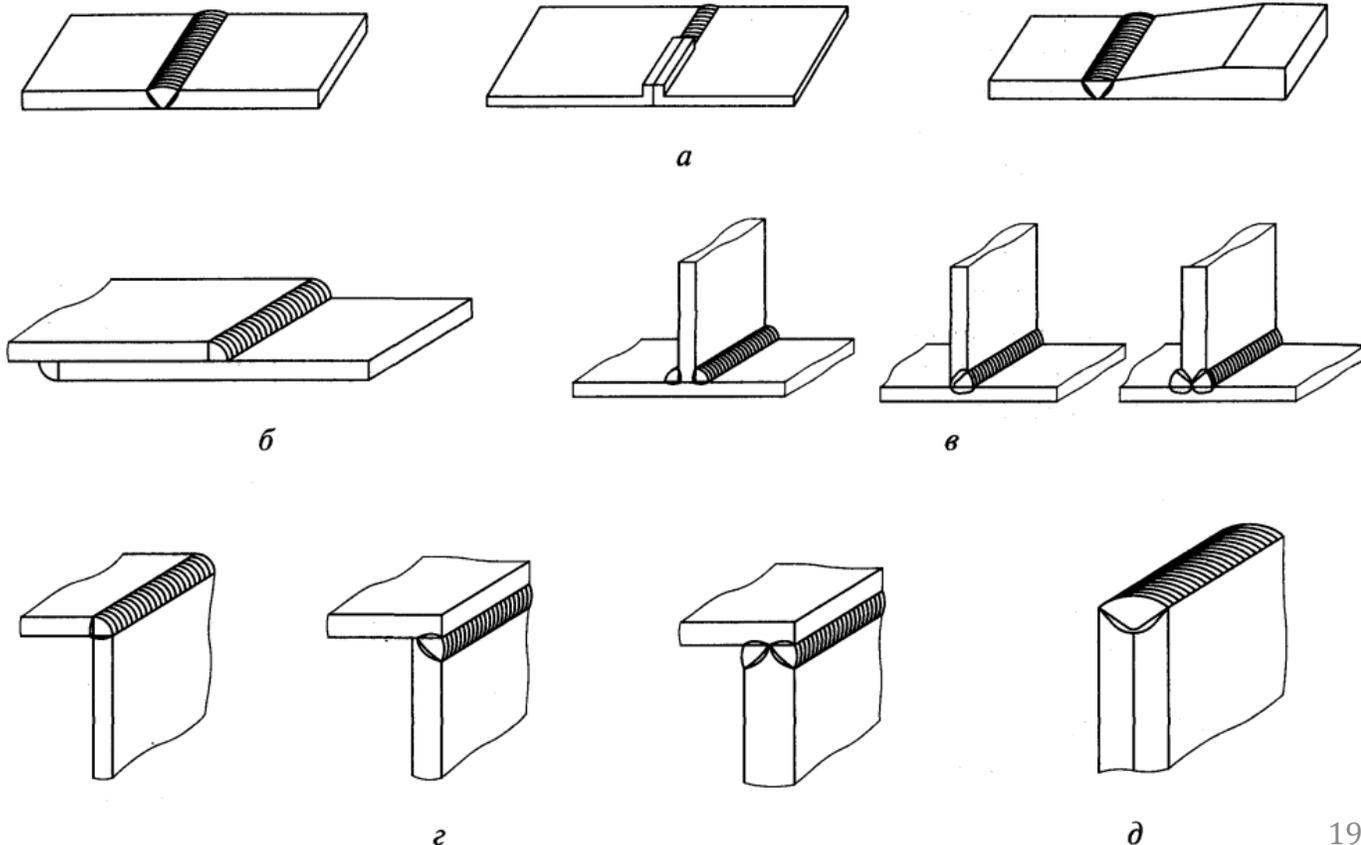
а) – стыковые

б) – нахлесточные

в) – тавровые

г) – угловые

д) – торцевые



Классификация сварных швов:

I – по положению в пространстве в процессе сварки:

а) – нижнее; **б)** – горизонтальное

в) – вертикальное; **г)** – потолочное; **д)** – «в лодочку»

II – по протяженности:

е – цепной; **ж** – шахматный

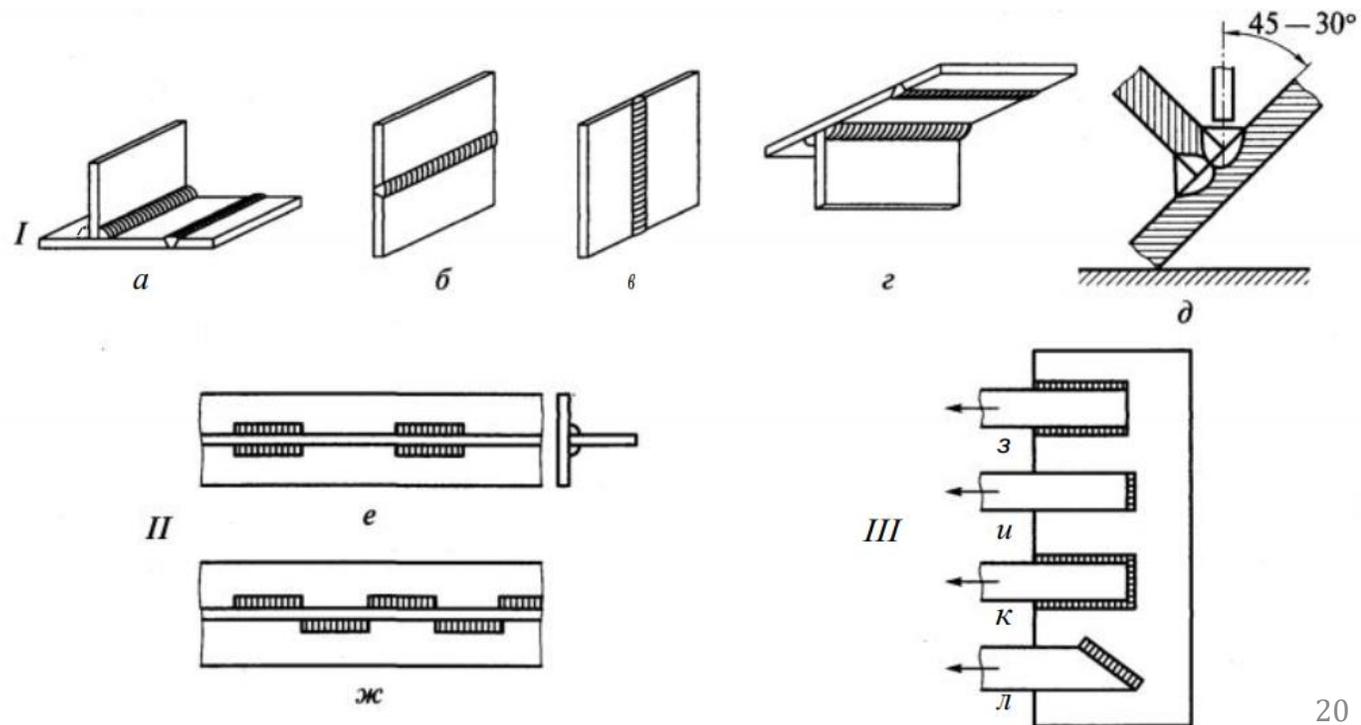
III – по отношению к направлению действия усилий:

з – фланговый

и – лобовой

к – комбинированный

л – косой

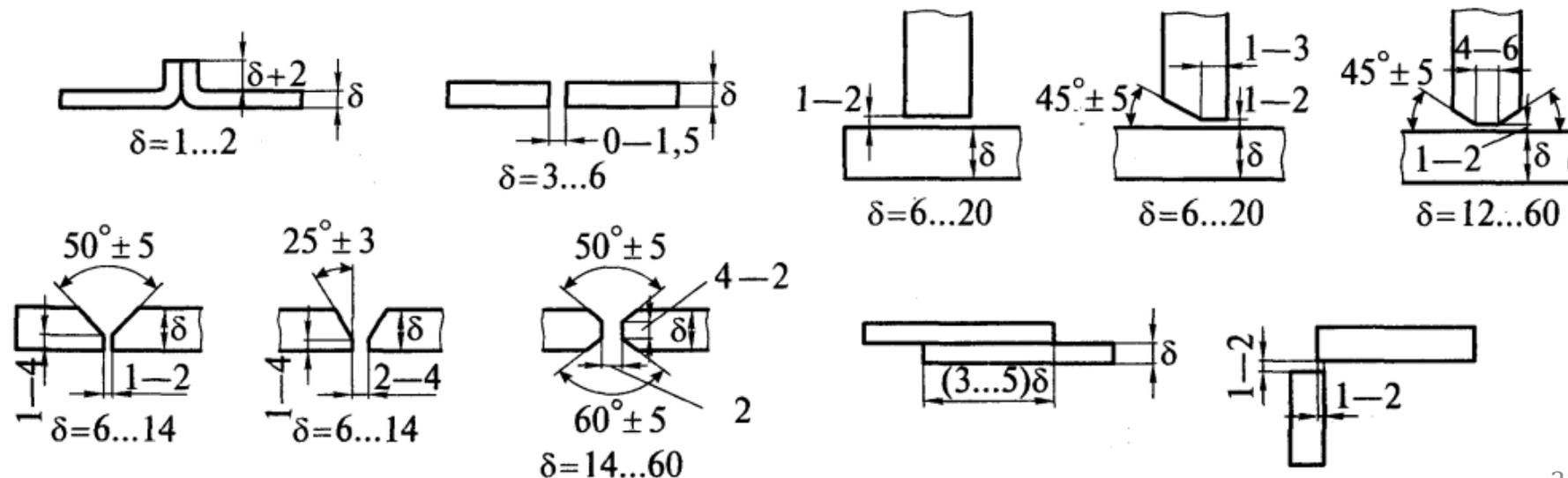


Разделка кромок для сварки элементов

При сварке металла большой толщины необходимо разделять **кромки**. **Скос кромок** необходим для того, чтобы можно было **проникнуть** электродом в глубь шва и **проварить** металл по всему сечению. Форму разделки кромок и их сборку под сварку характеризуют три основных конструктивных элемента: **зазор**, **притупление**, **угол скоса** кромок. В скошенных кромках оставляют притупление, которое необходимо для предотвращения прожогов, легко образующихся при сварке кромок, скошенных без притупления

Форма разделки кромок:

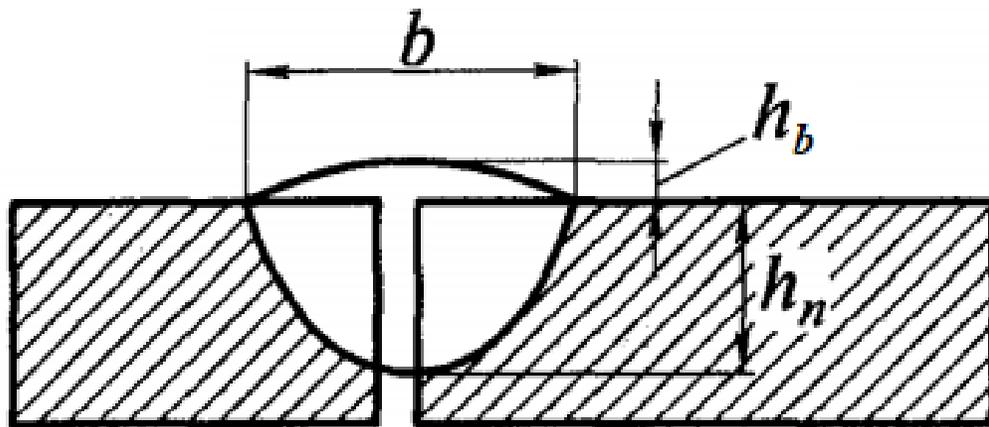
- с отбортовкой кромок
- без разделки кромок
- односторонние
- двусторонние



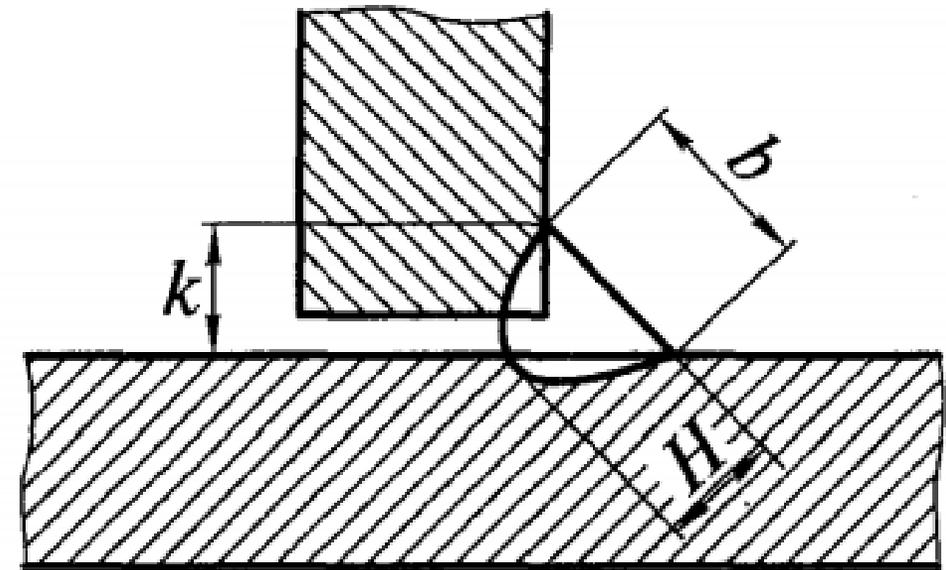
Геометрическую форму сварных швов

Определяют три конструктивных размера:

- **а)** для стыкового шва – **ширина** шва b , **глубина** проплавления $h_{\text{п}}$ и величина **выпуклости** сварного шва h_b
- **б)** для углового шва – **ширина** шва b , **глубина** проплавления H и **катет** сварного шва k



a



б

Многослойные сварные швы

Сварку больших толщин с разделкой кромок выполняют, как правило, **многослойными** швами, которые имеют разное количество слоев и проходов

Количество проходов может быть определено по площади сечения всего шва

При выполнении **многослойных** швов режим сварки устанавливается **отдельно** для каждого **прохода**

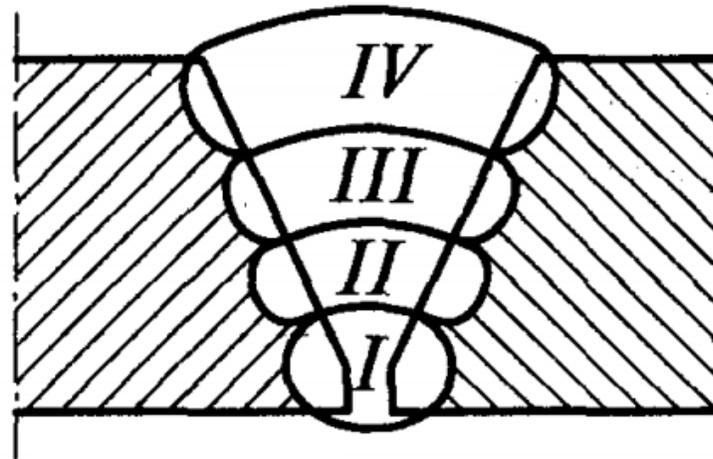
Схемы многослойных – рис. **а)** и многопроходных швов – рис. **б)**:

I, II, III, IV –

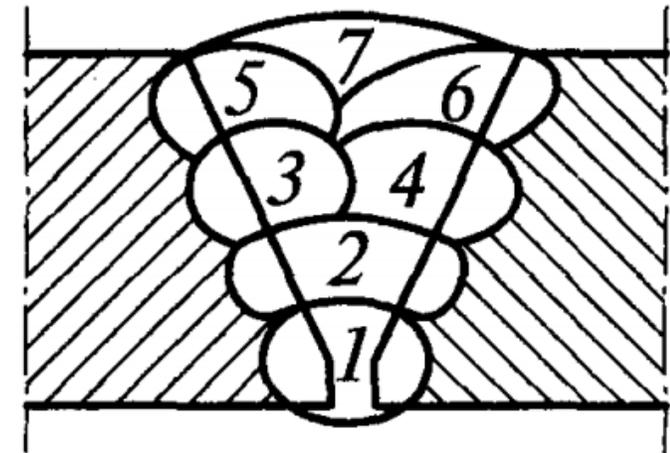
номера слоев

1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 –

номера проходов



а



б

Электрическая сварочная дуга

Сварочная дуга представляет собой мощный длительный электрический разряд в газах, который характеризуется выделением большого количества **теплоты** и сильным **световым** эффектом

Температура дуги достигает 6000...8000 °С. Зона дугового разряда может быть разделена на три части: катодное пятно, столб дуги и анодное пятно

Такая **дуга** находит наиболее широкое применение при **сварке**

1 – электрод; **2** – катодное пятно; **3** – катодная область

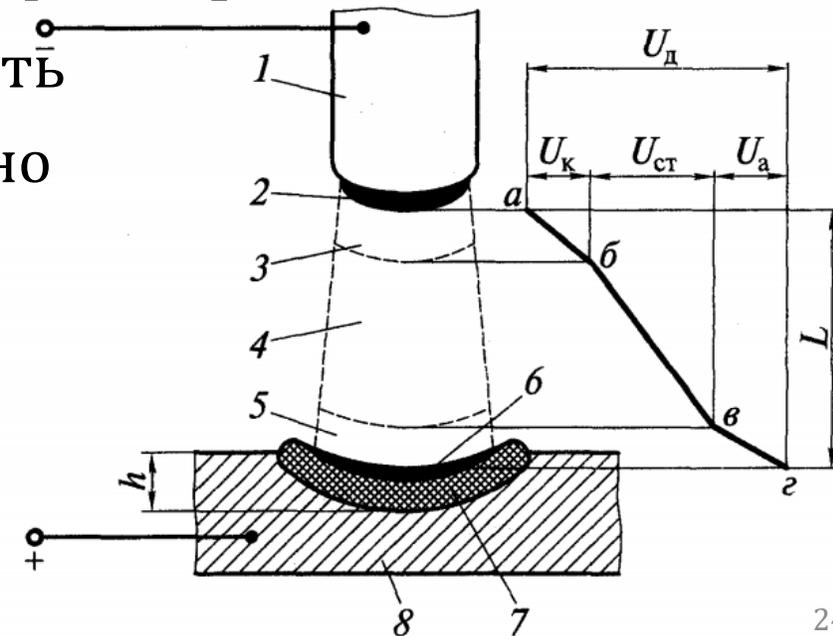
4 – столб дуги; **5** – анодная область; **6** – анодное пятно

7 – сварочная ванна; **8** – основной металл

абвг – кривая падения напряжения U в дуге

U_d – напряжение дуги; L – длина дуги

h – глубина проплавления (провар)



Термический цикл (ТЦ) сварки

Последовательность **нагрева** и **охлаждения** металла в какой-либо точке сварного соединения называют **термическим циклом**

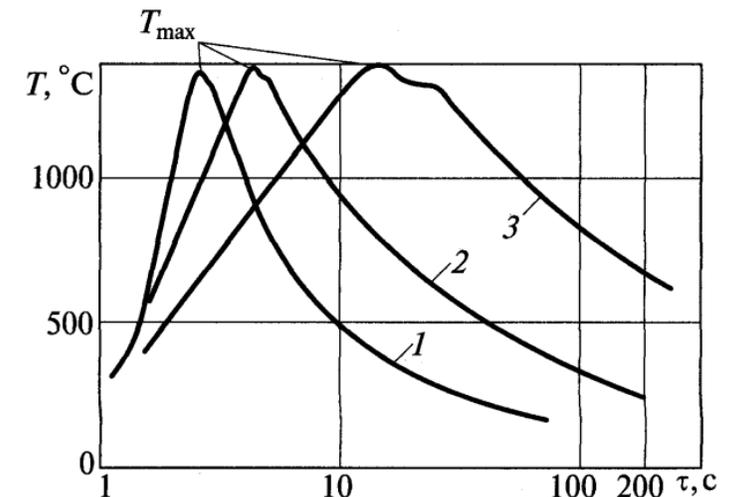
ТЦ зависит от вида сварки, режима, условий ее проведения, а также от теплофизических характеристик свариваемого металла и расположения данной точки по отношению к источнику теплоты. ТЦ характеризуется максимальной температурой T_{max} , скоростью нагревания v_H и скоростью охлаждения $v_{охл}$, продолжительностью нагрева τ выше определенной температуры T

Термические циклы:

1 – при ручной дуговой сварке

2 – при автоматической дуговой сварке под флюсом

3 – при электрошлаковой сварке



Сварочные напряжения и деформации

Собственные напряжения при **сварке** подразделяются на уравновешенные в макрообъемах **макронапряжения**, область распределения которых соизмерима с областью распределения напряжений от внешних усилий, и **микронапряжения**, распределенные и уравновешенные в объеме, соизмеримом с объемом кристалла

Наличие **микронапряжений** проявляется и учитывается при определении механических свойств металла

Наличие **макронапряжений** учитывается либо специальными методами расчета конструкций, либо назначением специальных коэффициентов надежности сварных соединений в различных конструкциях

Сварочные макронапряжения

Могут быть следствием либо **неравномерного** распределения температуры в изделии при сварке, либо структурных **превращений**, происходящих с изменением **объема** металла. Если при этом объем металла увеличивается (например, образование мартенситных прослоек при закалке), то фазовая составляющая напряжения в области фазовых превращений металла будет иметь знак «минус» (сжатие). Сжатие в самой прослойке уравнивается растяжением в прилежащих участках металла. Знак результирующих напряжений (температурных и фазовых) определяется соотношением температурной и фазовой составляющих

Надо заметить, что строительные стали, за некоторым исключением, не склонны к образованию **закалочных** структур, поэтому при проектировании строительных конструкций существенное значение имеют лишь напряжения, являющиеся следствием **неравномерного** нагревания при сварке (сварочные напряжения, как временные, так и остаточные)

Виды деформаций сварных конструкций

Неравномерное и несвободное изменение размеров при изменении температуры в процессе сварки соединений приводит к возникновению напряженно-деформированного состояния конструкции (изделия)

Напряжения на отдельных участках изделия достигают предела текучести. Дальнейшее повышение температуры нагревания приводит к развитию пластических деформаций, часто высокого уровня. Напряжения в процессе сварки возникают при отсутствии внешних силовых воздействий, поэтому сварочные напряжения иногда называют внутренними или собственными

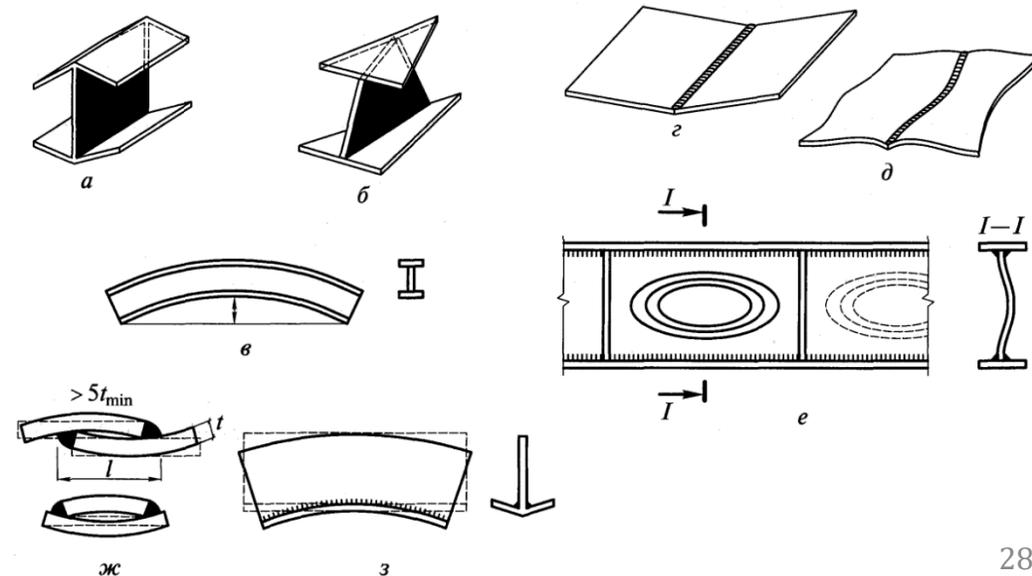
а) – грибовидность; **б)** – винтообразность

в) – серповидность; **г)** – крыльчатость

д) – хлопуны; **е)** – хлопуны в стенке балки

ж) – деформации нахлесточного соединения

з) – деформации сварного тавра



Конструирование стыковых швов

Хорошо сваренные **встык** соединения имеют весьма небольшую концентрацию **напряжений** от внешних сил, поэтому прочность таких соединений при растяжении или сжатии, в первую очередь, зависит от прочностных характеристик **основного металла** и **металла шва**. Различия разделки **кромки** соединяемых элементов практически не влияют на статическую прочность соединения и могут не учитываться

Гарантировать допустимые величину и число **дефектов** в сварном соединении на любом его участке **затруднительно**, поэтому необходим **контроль** качества соединения

Надежными методами контроля являются **физические** методы (ультразвук, рентгеновское просвечивание, просвечивание гамма-лучами). Как правило, стыки в строительных конструкциях выполняются **прямыми**. Лишь при невозможности (или затруднительности) использования физических методов контроля стык проектируют **косым**

Виды сварных стыковых швов

Стыковой шов, работающий в условиях **сжатия**, может быть **прямым**, и требование проверки физическими методами контроля для него **необязательно**, так как сжимающие напряжения тормозят развитие разрушения и наличие дефектов становится менее опасным

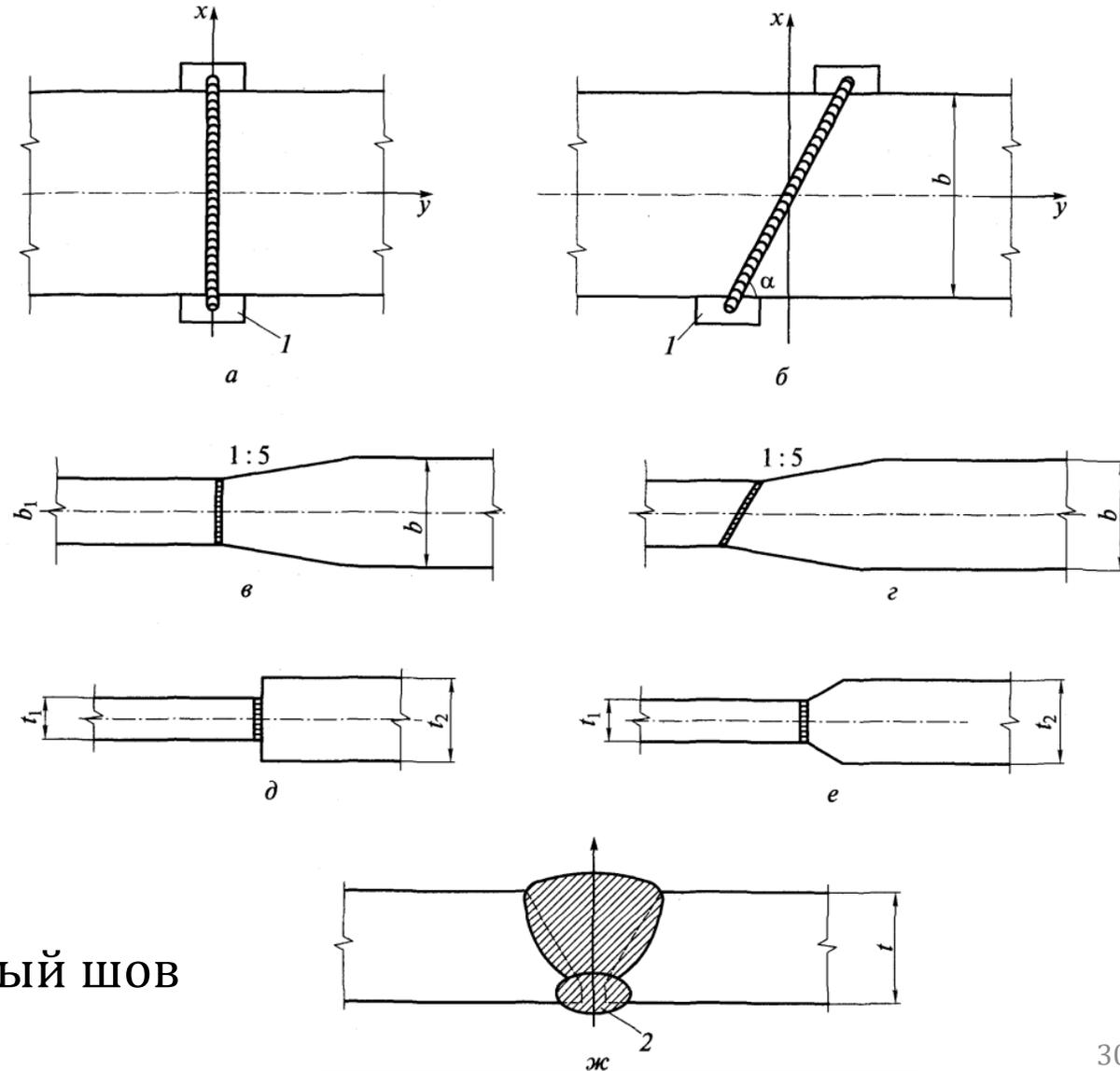
а) – прямой стык; **б)** – косой стык

в) и **г)** – при разной ширине соединяемых элементов

д) и **е)** – при разной толщине соединяемых элементов

ж) – однослойный с подваркой корня

1 – технологические планки; **2** – подварочный шов



Конструирование угловых швов

С помощью **угловых** швов выполняются различные виды соединений в металлических конструкциях: **тавровые, в угол, нахлесточные**. Соединения внахлестку выполняются угловыми швами, они могут быть как фланговыми, так и лобовыми

Фланговые швы, расположенные по кромкам прикрепляемого элемента параллельно действующему усилию, вызывают большую **неравномерность** распределения напряжений по **ширине** соединения

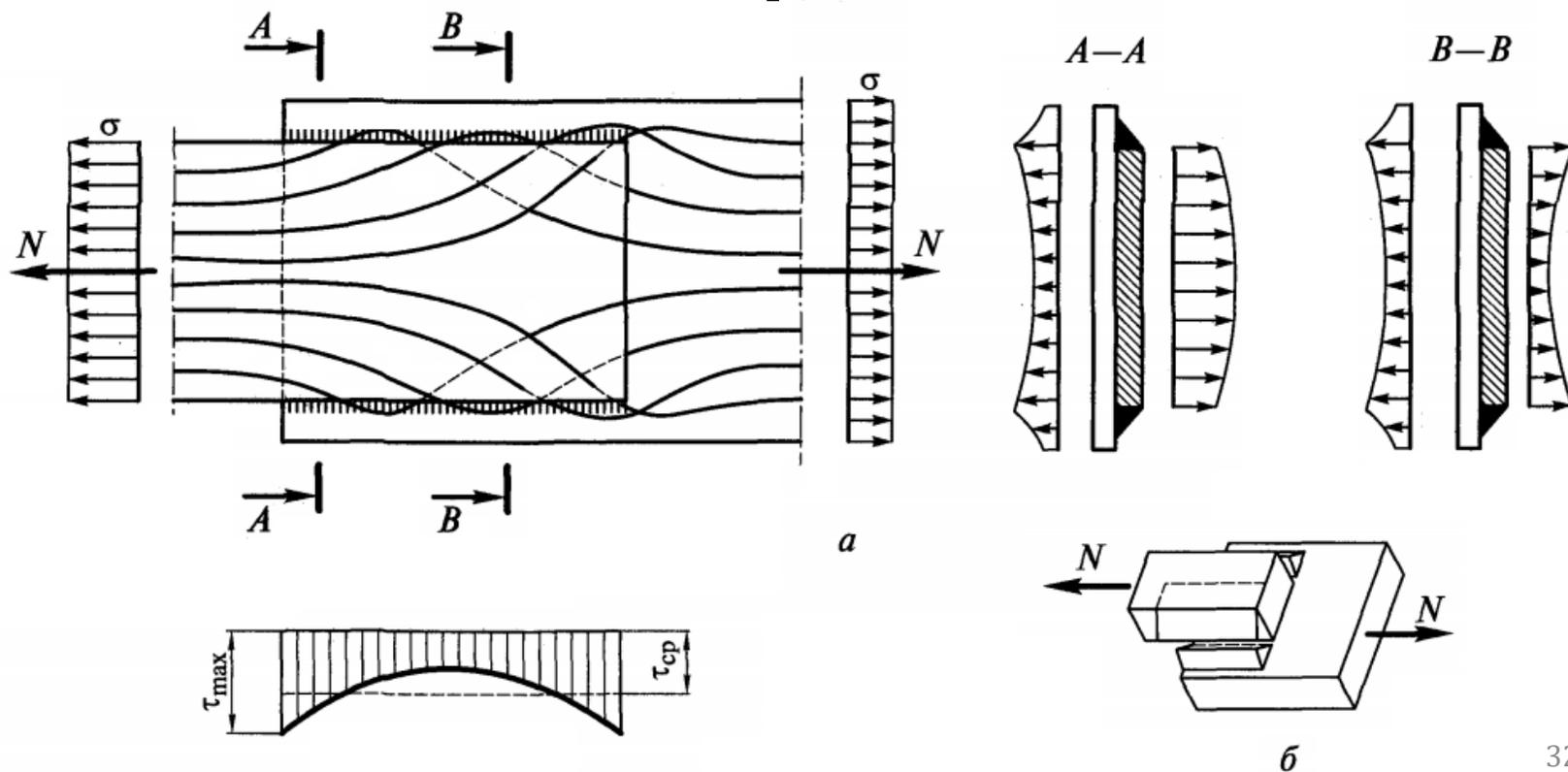
Неравномерно работают они и по **длине**, так как помимо непосредственной передачи усилия с элемента на элемент концы шва испытывают дополнительные усилия вследствие разной напряженности и неодинаковых деформаций соединяемых элементов

Фланговые швы

В соответствии с характером передачи усилий **фланговые швы** работают одновременно на **срез** и **изгиб**. Разрушение шва обычно начинается с **конца** и может происходить как по **металлу шва**, так и по **металлу границы сплавления**, особенно если наплавленный металл прочнее основного

а) – распределение напряжений в соединении с фланговыми швами

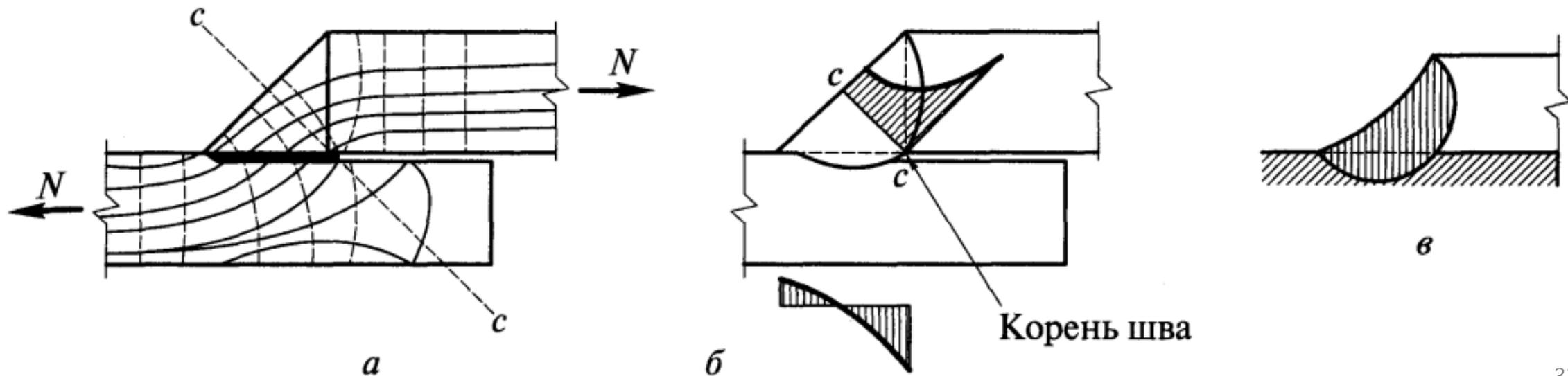
б) – вид разрушенного шва



Лобовые швы

Передают усилия достаточно **равномерно** по **ширине** элемента, но крайне неравномерно по **толщине** шва вследствие резкого **искривления** силового потока при переходе усилия с одного элемента на другой. Особенно велики напряжения в **корне шва**

а) – траектория силовых линий; **б)** – распределение напряжений в сечении **с-с** с учетом концентрации напряжений; **в)** – сечение вогнутого лобового шва



Влияние остаточных сварочных напряжений

На работу **сварных** конструкций определяется уровнем и характером распределения **остаточных** сварочных напряжений (**ОСН**), которые зависят, в свою очередь, от **механических** и **теплофизических** свойств основного металла, **сварочных** материалов, **режима сварки** (тепловложения), **геометрических параметров** свариваемого изделия и **технологических** приемов сварки (условия, при которых выполнялись сварка, закрепление элементов, порядок выполнения швов и т. п.)

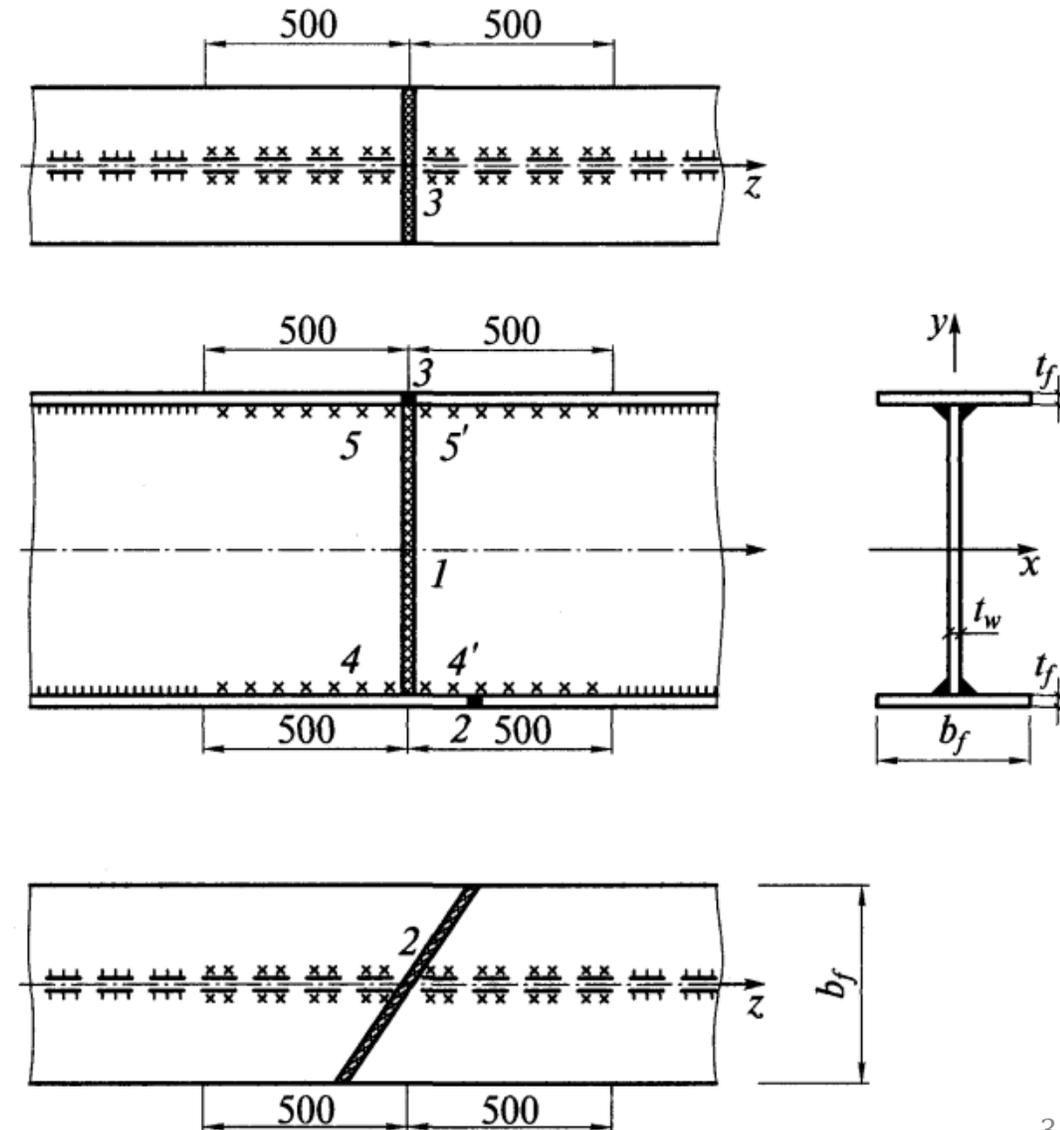
Влияние ОСН на работу конструкций может быть как **отрицательным**, так и **положительным**. Поскольку ОСН в области металла шва и на прилегающих участках основного металла, как правило, **растягивающие**, то снижение работоспособности соединения происходит в условиях, когда стеснено развитие **пластических** деформаций. Такими условиями являются: **неодноосное** напряженное состояние, **низкие температуры**, при которых заметно изменяются механические характеристики материала, **циклическое** и **малоцикловое** нагружения, наличие материалов, склонных к образованию закалочных структур при сварке

Укрупнительный стык двутавровой балки

При сварке на заводе оставляют недоваренными **концевые** участки швов (**ропуски**). Предполагаем, что нагрузка приложена к **верхнему** поясу балки

Первым сваривают стык стенки (**1**) как наиболее **гибкого** элемента (из плоскости стенки) и поэтому оказывающего наименьшее сопротивление сокращению размеров при сварке последующих швов

Вторым сваривают стык **2**, создающий некоторый строительный подъем в балке, а **третьим** – стык **3**, не полностью компенсирующий изгиб при выполнении шва **2**, в результате строительный подъем остается. Далее завариваются швы **4** и **4'**, а затем **5** и **5'**



Расчет стыковых сварных соединений

При действии осевой силы N , проходящей через центр тяжести соединения, выполняют по формуле:

$$\sigma_{\text{ст}} = \frac{N}{t \cdot l_w} \leq R_{wy} \cdot \gamma_c$$

где N – продольная сила от расчетных нагрузок

t – наименьшая из толщин соединяемых элементов

l_w – расчетная длина шва, равная его полной длине, уменьшенной на $2t$, или полной его длине, если концы шва выведены на планки за пределы стыка

R_{wy} – расчетное сопротивление стыковых сварных соединений растяжению, сжатию, изгибу по пределу текучести

γ_c – коэффициент условий работы

Расчетные схемы стыковых швов:

а) – на продольную силу

б) – на продольную силу стыка с косым швом:

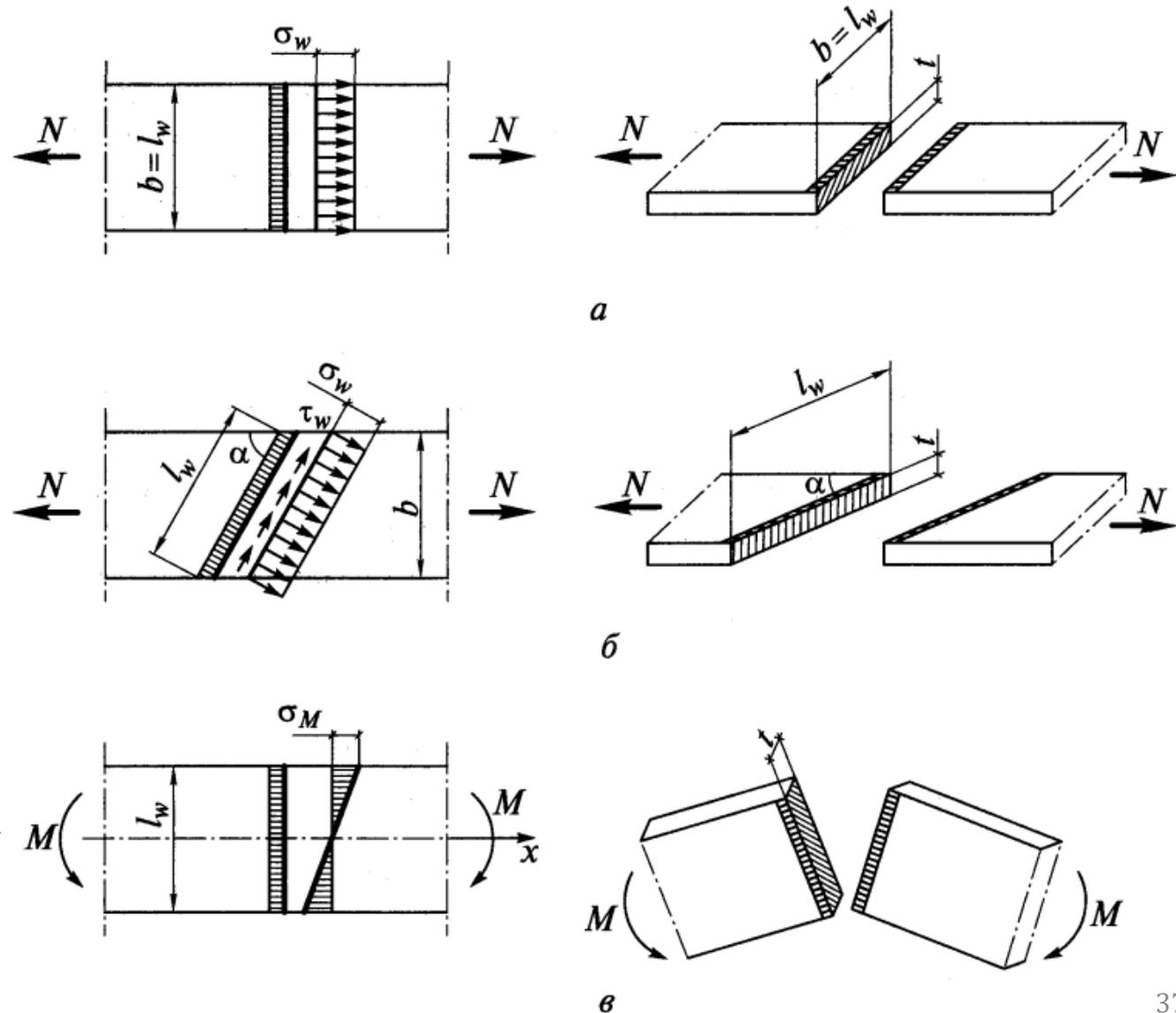
$$\sigma_w = \frac{N \cdot \sin \alpha}{t \cdot l_w} \leq R_{wy} \cdot \gamma_c$$

$$\tau_w = \frac{N \cdot \cos \alpha}{t \cdot l_w} \leq R_{ws} \cdot \gamma_c$$

где $l_w = \frac{b}{\sin \alpha} - 2t$ – расчетная длина косого шва

R_{wy} – расчетное сопротивление стыковых сварных соединений сдвигу

в) – на изгиб



Расчет сварных соединений с угловыми швами

Разрушение сварных соединений с **угловыми** лобовыми и фланговыми швами возможно как по **металлу шва**, так и по **металлу границы сплавления**

В соответствии с этим расчет сварного соединения при действии силы N , проходящей через центр тяжести соединения, следует выполнять по одному из двух сечений: **сечению 1** – по металлу шва и **сечению 2** – по металлу границы сплавления в зависимости от того, какое сечение **более опасно**

Несмотря на то что **угловые** швы работают всегда в условиях **сложного** напряженного состояния, характер их разрушения показывает, что доминирующим напряжением является **срезающее**

Поэтому строительные нормы и правила допускают производить расчет на срез, названный **условным срезом**

Расчетные схемы угловых швов:

а) – разрушение соединений с фланговыми швами

б) – разрушение соединений с лобовыми швами

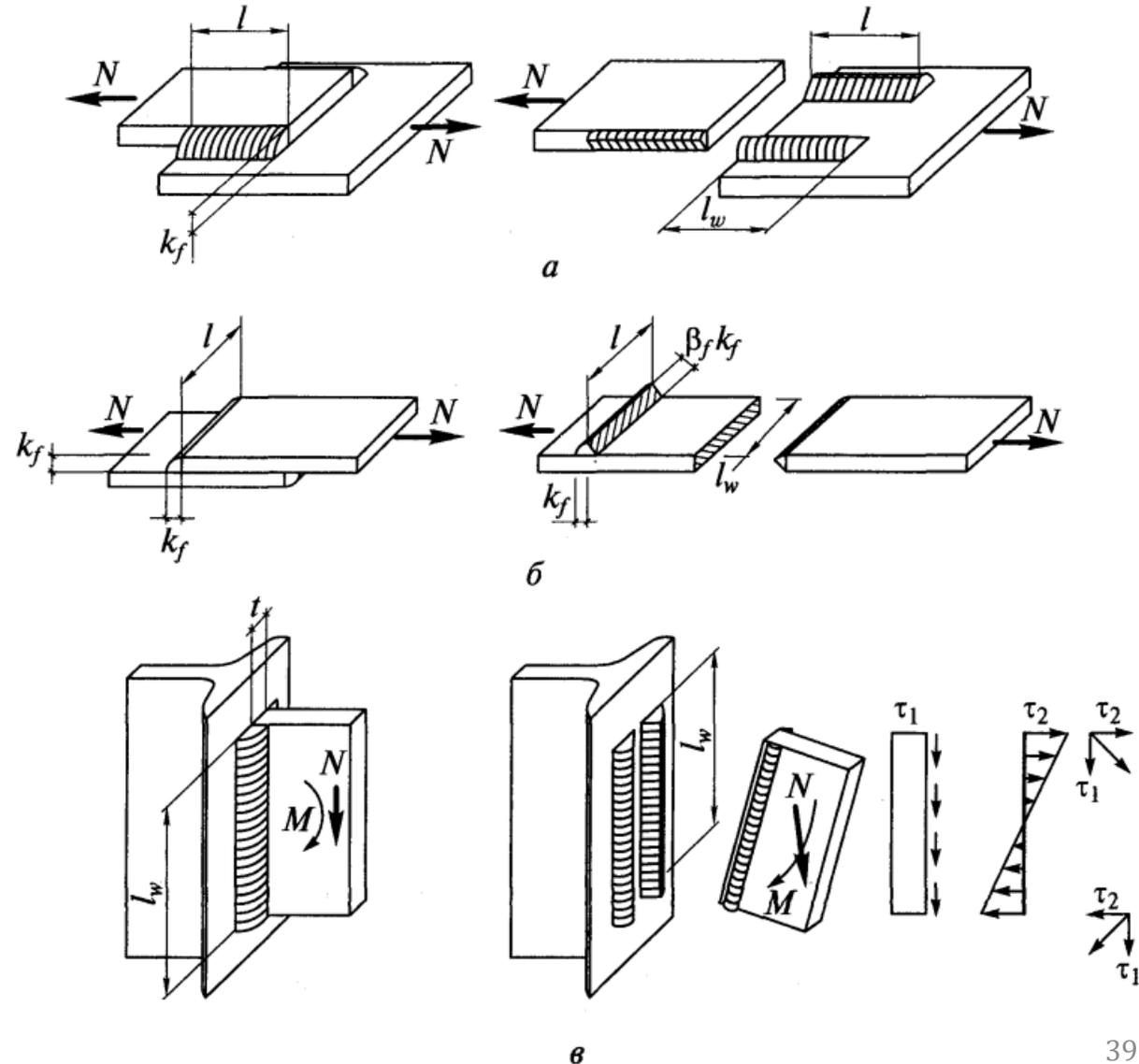
в) – разрушение соединений, работающих на изгиб и срез

Расчетная площадь сечения шва при разрушении по металлу шва:

$$A_{wf} = \beta_f \cdot k_f \cdot l_w,$$

при разрушении по металлу границы сплавления:

$$A_{wz} = \beta_z \cdot k_f \cdot l_w$$



Расчет сварных соединений с угловыми швами

Если $\beta_f \cdot R_{wy} / (0,45\beta_z \cdot R_{un}) < 1$, то расчетным сечением является сечение по металлу шва:

$$\tau_{wf} = \frac{N}{\beta_f \cdot k_f \cdot l_w} \leq R_{wf} \cdot \gamma_c$$

Если $\beta_f \cdot R_{wy} / (0,45\beta_z \cdot R_{un}) > 1$, то проверка прочности соединения выполняется по металлу границы сплавления:

$$\tau_{wz} = \frac{N}{\beta_z \cdot k_f \cdot l_w} \leq R_{wz} \cdot \gamma_c \quad \text{и} \quad R_{wz} = 0,45R_{un}$$

где N – расчетная продольная сила, проходящая через центр тяжести соединения

R_{wf} и R_{wz} – расчетное сопротивление угловых швов срезу (условному) по металлу шва и по металлу границы сплавления соответственно

β_f и β_z – коэффициенты, принимаемые по табл. 39 СП 16.13330

k_f – катет углового шва

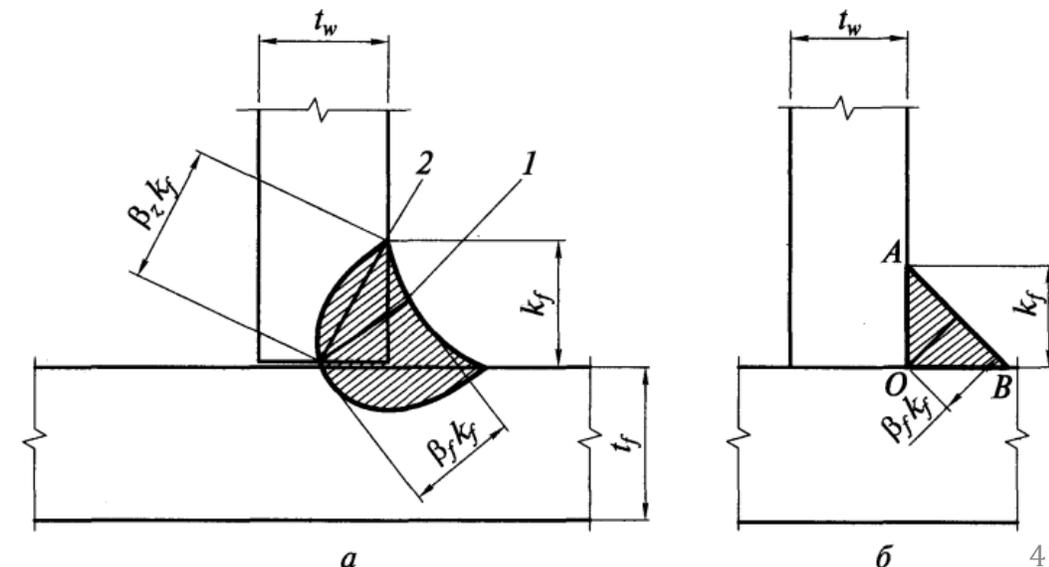
Расчетные сечения шва и коэффициенты β_f и β_z

а) – при глубоком проплавлении; **б)** – при треугольной расчетной схеме
1 – сечение по металлу шва; **2** – сечение по металлу границы сплавления

Коэффициенты β_f и β_z представляют собой отношение минимальных размеров среза шва к катету шва. При ручной сварке, когда глубина проплавления невелика и заштрихованную площадь на рис. **б)** можно считать равносторонним треугольником, $\beta_f = \cos 45^\circ \cong 0,7$

Из формул для τ_{wf} и τ_{wz} предыдущего слайда можно определить требуемый катет шва k_f , однако он не должен быть меньше указанного в табл. 38 СП 16.13330

Кроме того, k_f не должен превышать $1,2t$, где t – наименьшая из толщин свариваемых элементов



Болтовые соединения

Конструкций появились **раньше** сварных. **Простота** соединения и **надежность** в работе способствовали их широкому распространению в строительстве при монтаже металлических конструкций

Однако **болтовые соединения** более **металлоемки**, чем сварные, так как имеют стыковые накладки, а отверстия для болтов **ослабляют** сечения элементов. Последнее частично компенсируется допущением **упругопластической** работы элементов и введением соответствующего коэффициента условий работы, а для элементов стыка на высокопрочных болтах – уменьшением фактического ослабления за счет передачи части действующего усилия **трением** между соединяемыми элементами за пределами ослабленного сечения

В строительных конструкциях применяются болты **грубой, нормальной** и **повышенной** точности, **высокопрочные, самонарезающие** и **фундаментные** (анкерные)

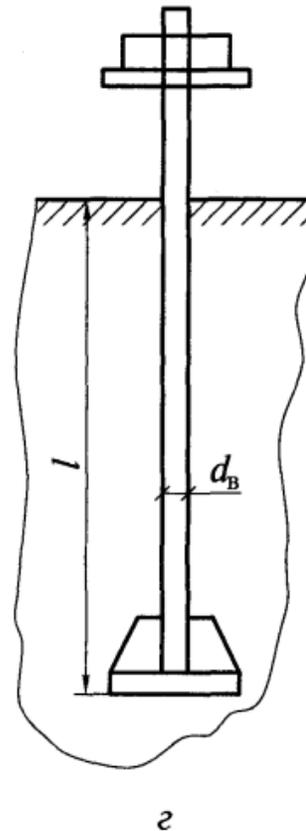
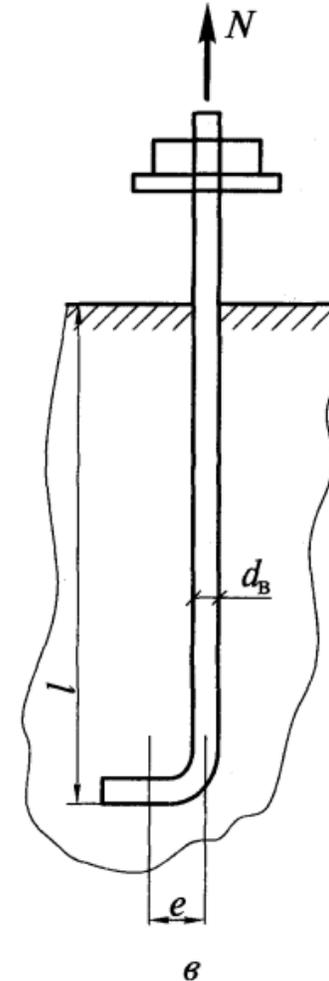
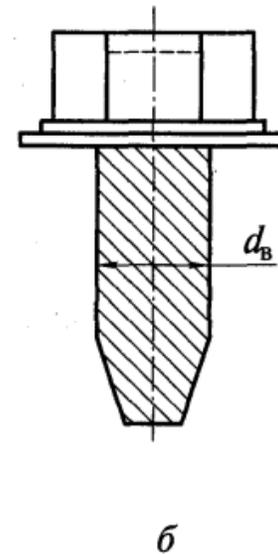
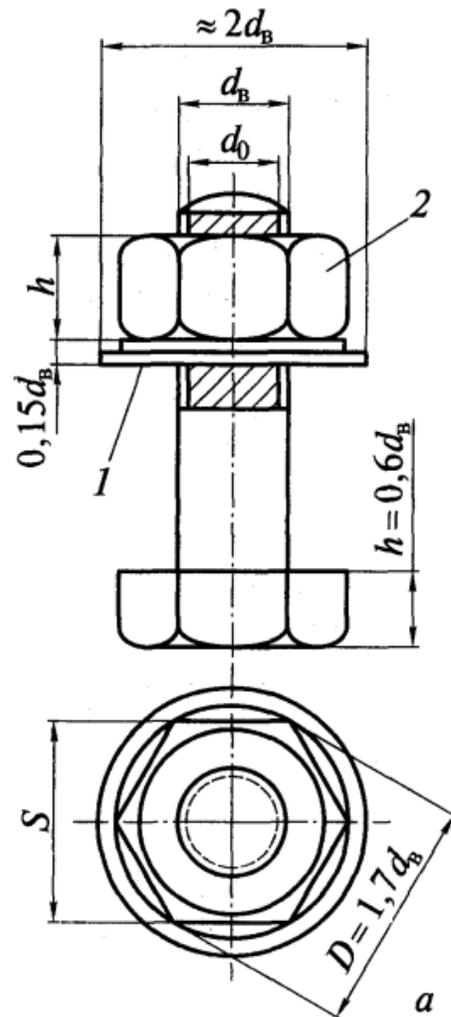
Виды болтов:

а) – болт с шайбой (1) и гайкой (2)

б) – самонарезающий болт

в) – фундаментный болт при $d_b \leq 36$ мм

г) – фундаментный болт при $d_b > 36$ мм



Классы точности болтов:

Болты **повышенной** точности (класс **A**) 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

Болты **грубой** точности (класс **C**) и нормальной точности (класс **B**) различаются допусками на отклонения диаметра болта от номинала. Для болтов грубой и нормальной точности **отклонения** диаметра могут достигать соответственно 1 и 0,5 мм (для болтов $d_b < 30$ мм). Болты класса точности **C** и **B** целесообразно применять в условиях монтажа и в конструкциях из стали с пределом текучести **до 380 МПа**

Изготавливают болты из углеродистой стали горячей или холодной высадкой, иногда с последующей термообработкой

Болты классов точности В и С

Болты этих классов точности в соединении ставят в отверстия, образованные продавливанием или сверлением в отдельных элементах

Диаметр этих отверстий должен быть на **2-3** мм больше диаметра болта. В результате неполного совпадения осей отверстий в отдельных элементах отверстие под болт имеет негладкую поверхность – «**черноту**» (класс точности **С**), что исключает **плотную** посадку болта в отверстие. Разница в диаметрах болта и отверстия облегчает посадку болтов и упрощает образование соединения, что является преимуществом таких болтов

Однако **неплотная** посадка болта в отверстие повышает **деформативность** соединения при работе на сдвиг и увеличивает **неравномерность** работы отдельных болтов в соединении, поэтому болты классов **С** и **В** не рекомендуется использовать в **ответственных** соединениях, работающих на сдвиг. Их широко применяют как крепежные элементы в конструкциях или в случаях, когда они работают на растяжение

Высокопрочные болты

Изготавливают из легированной стали и подвергают термической обработке. Высокопрочные болты являются болтами **нормальной** точности. Их ставят в отверстия большего диаметра. 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. Т. о., 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

Самонарезающие и фундаментные болты

Самонарезающие болты отличаются от обычных наличием **резьбы** полного специального профиля на всей длине стержня для **завинчивания** в ранее образованные отверстия соединяемых деталей – рис. **б)** на слайде 43.

Материалом для них служит термоупрочненная сталь. Обычно они имеют диаметр $d_b = 6$ мм и применяются для прикрепления профилированного настила к прогонам и элементам фахверка. Преимущество таких болтов проявляется при возможности доступа к конструкции только с одной стороны

Фундаментные (анкерные) болты служат для передачи растягивающих усилий от колонн и стоек на фундаменты рис. **в)** и **г)** на слайде 43

Классы прочности болтов

В строительных конструкциях используются болты различных **классов прочности**

Класс прочности болтов обозначается цифрами от **5.6** до **12.9** (см. табл. Г.5 СП 16.13330). Первое число, умноженное на 100, обозначает **временное сопротивление σ_B** в МПа, а произведение первого числа на второе и на 10 – **предел текучести** материала болта σ_T в МПа

Расчетные сопротивления болтового соединения на смятие с болтами класса точности **В** и **С** ниже, чем расчетное сопротивление болтового соединения с болтами класса точности **А** (см. табл. Г.6 СП 16.13330)

Болтовые соединения

По числу поставленных болтов 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 **сдвигоустойчивых** соединениях 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)

Работа 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:

1 – действуют силы трения, болт работает на растяжение

2 – сдвиг на величину зазора после преодоления трения

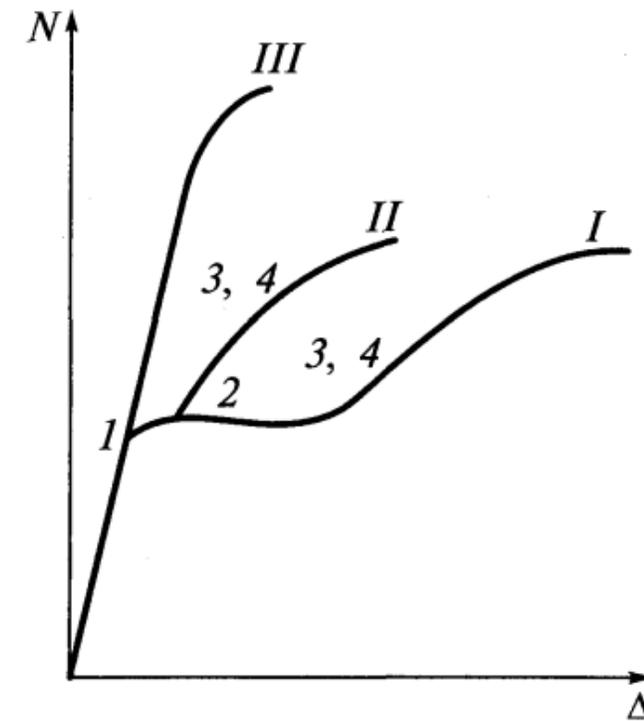
3 – сдвигающее усилие в основном передается давлением поверхности отверстия на стержень болта

4 – упругопластическая работа с последующим разрушением от среза болта, смятия и выкола или отрыва головки болта

I – болты грубой и нормальной точности

II – болты повышенной точности

III – высокопрочные болты и сдвигоустойчивые болты



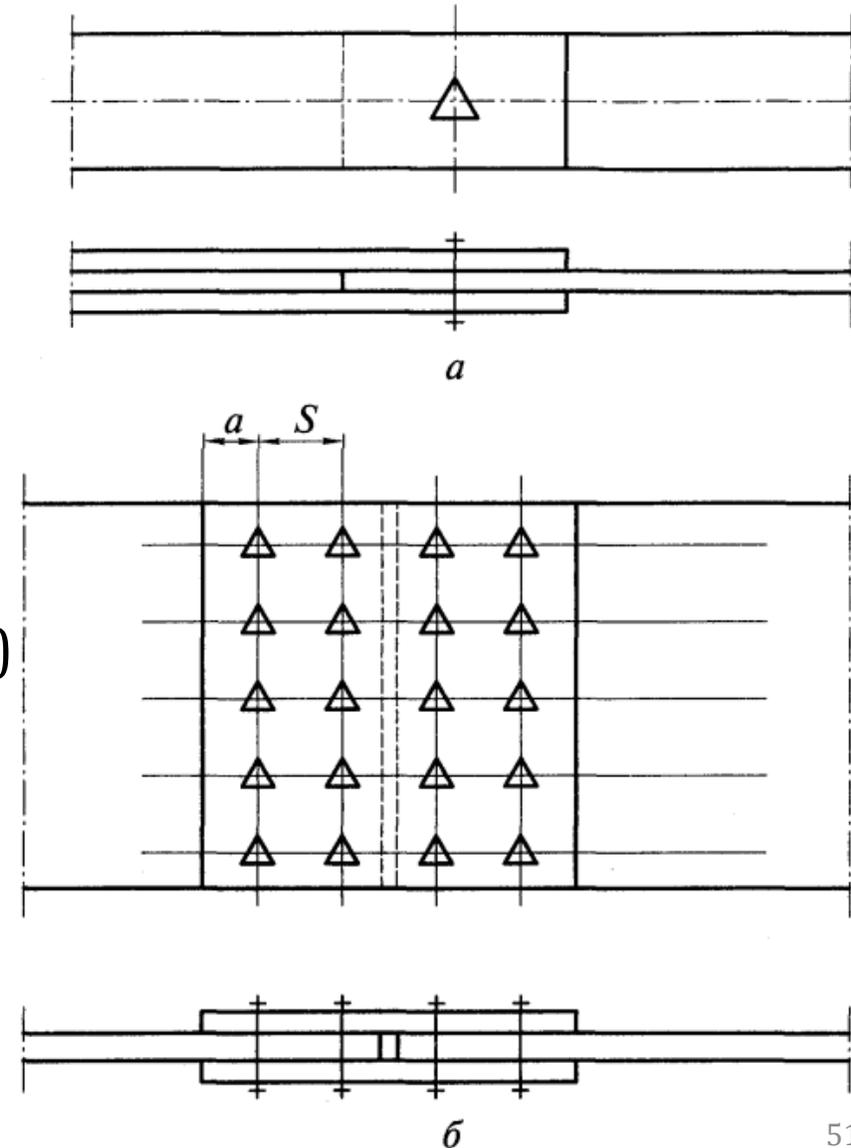
Одноболтовые и многоболтовые соединения

Работа сильно осложнена неправильностью формы болта и **стенки** отверстия, поэтому расчет соединения носит условный характер. Различают также работу одноболтового и многоболтового соединения. В многоболтовом соединении эти же **несовершенства** формы болта и отверстия, а также возможные зазоры между болтом и отверстием неизбежно приводят к **неравномерной** работе отдельных болтов соединения, что учитывают соответствующим коэффициентом условий работы соединения γ_b (см. табл. 41 СП 16.13330)

а) – схема одноболтового соединения

б) – схема многоболтового соединения

Треугольники – болты фрикционного соединения с контролируемым усилием натяжения болтов



Расчет болтовых соединений

Расчетное усилие, которое может быть воспринято одним болтом, в зависимости от вида напряженного состояния определяется по формулам:

при **срезе**:
$$N_{bs} = R_{bs} \cdot A_b \cdot n_s \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c$$

при **смятии**:
$$N_{bp} = R_{bp} \cdot d_b \cdot \sum t \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c$$

при **растяжении**:
$$N_{bt} = R_{bt} \cdot A_{bn} \cdot \gamma_c$$

где N – расчетная продольная сила, проходящая через центр тяжести соединения

R_{bs} , R_{bp} и R_{bt} – расчетные сопротивления одноболтовых соединений срезу, смятию и растяжению соответственно

A_b и A_{bn} – площади сечений стержня болта брутто и резьбовой части нетто соответственно, принимаемые согласно таблице Г.9 СП 16.13330

n_s и d_b – число расчетных срезов одного болта и наружный диаметр стержня болта

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

$\gamma_b < 1$ и γ_c – коэффициент условий работы болтового соединения и конструкции

Количество и работа болтов на срез и смятие

Число болтов в соединении определяется по формуле:

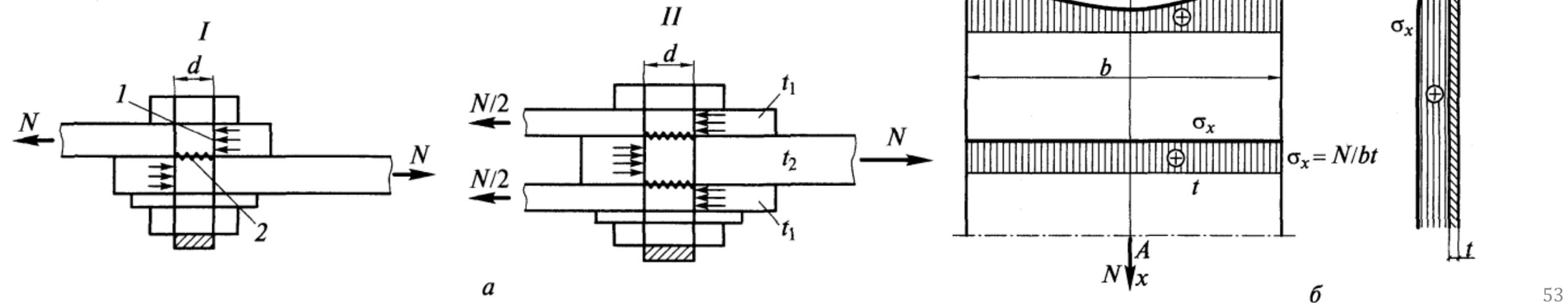
$$n \geq N / N_{b,min}$$

где $N_{b,min}$ – наименьшее из значений N_{bs} , N_{bp} , N_{bt}

а) – срез болта; **б)** – смятие отверстия

I и **II** – односрезные и двухсрезные соединения

1 – поверхность смятия; **2** – поверхность среза



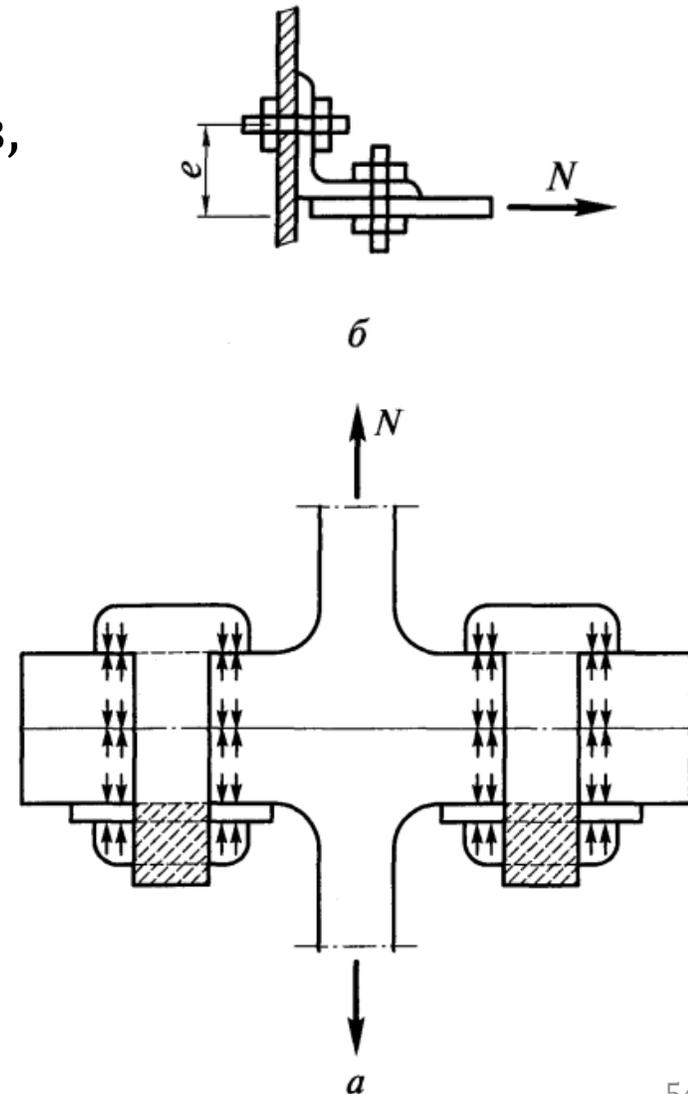
Работа болтов на растяжение:

Если внешняя сила, действующая на соединение, направлена параллельно – рис. **а)** продольной оси болтов, то они будут работать на растяжение

При **статической** работе такого соединения качество отверстий и поверхности болта **не играют** роли и болты нормальной и повышенной точности работают на растяжение одинаково. Т. о., прочность соединения определяется прочностью материала болтов на растяжение

а) – при подвеске к двутавру

б) – в угловом соединении



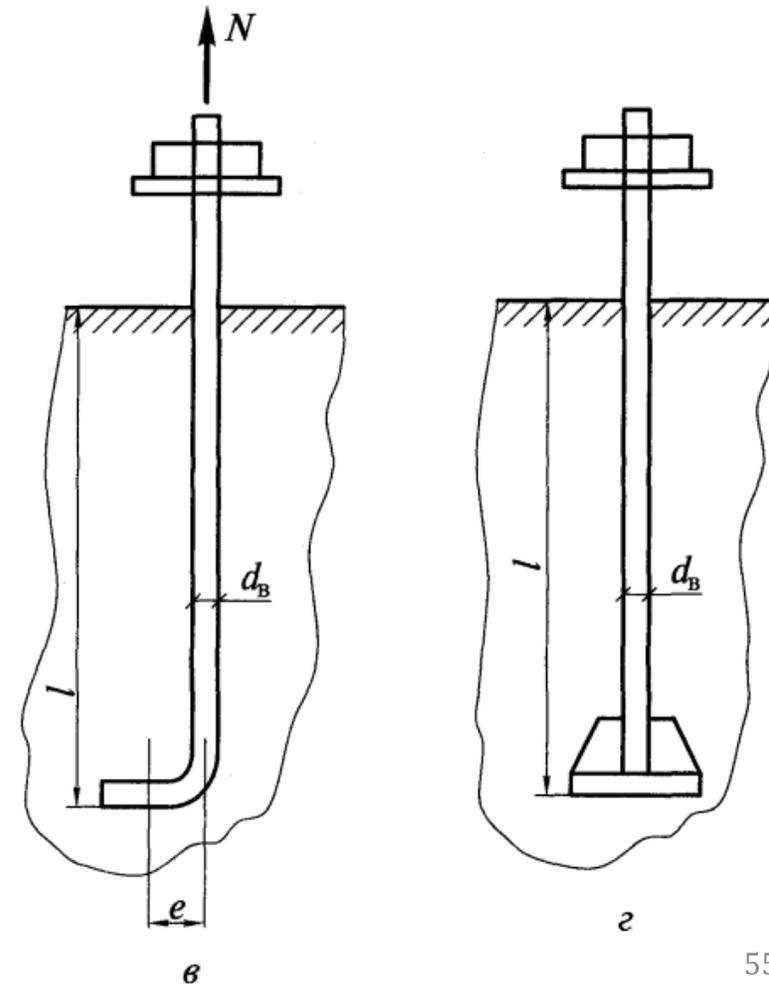
Расчет фундаментных болтов

В фундаментных болтах усилия к болтам часто бывают приложены с **эксцентриситетом**, что заставляет снижать их расчетные сопротивления. Кроме того, возможна разная **степень натяжения** смежных болтов базы колонны в процессе монтажа колонны, потому в действительности имеет место некоторая перегрузка отдельных болтов

Расчет фундаментных болтов **не отличается** от расчета обычных болтов и производится по тем же формулам, однако для должного закрепления болта в фундаменте необходимо дополнительно проверить его на **вырывание** из фундамента

в) – фундаментный болт при $d_b \leq 36$ мм

г) – фундаментный болт при $d_b > 36$ мм



Расчет фрикционных болтовых соединений

Расчетное усилие, которое может быть воспринято **каждой** плоскостью **трения** элементов, стянутых **одним** высокопрочным болтом, определяется по формуле:

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

где R_{bt} – расчетное сопротивление растяжению высокопрочного болта

A_{bn} – площадь сечения болта по резьбе, принимаемая согласно табл. Г.9 СП 16.13330

$\mu = 0,25 \dots 0,58$ – коэффициент трения, принимаемый по табл. 42 СП 16.13330

$\gamma_h = 1,12 \dots 1,7$ – коэффициент, принимаемый по табл. 42 СП 16.13330 в зависимости от способа контроля натяжения болтов, разности диаметров отверстий и болтов, нагрузки

Число болтов в соединении определяется по формуле:

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

где k – число плоскостей трения соединяемых элементов

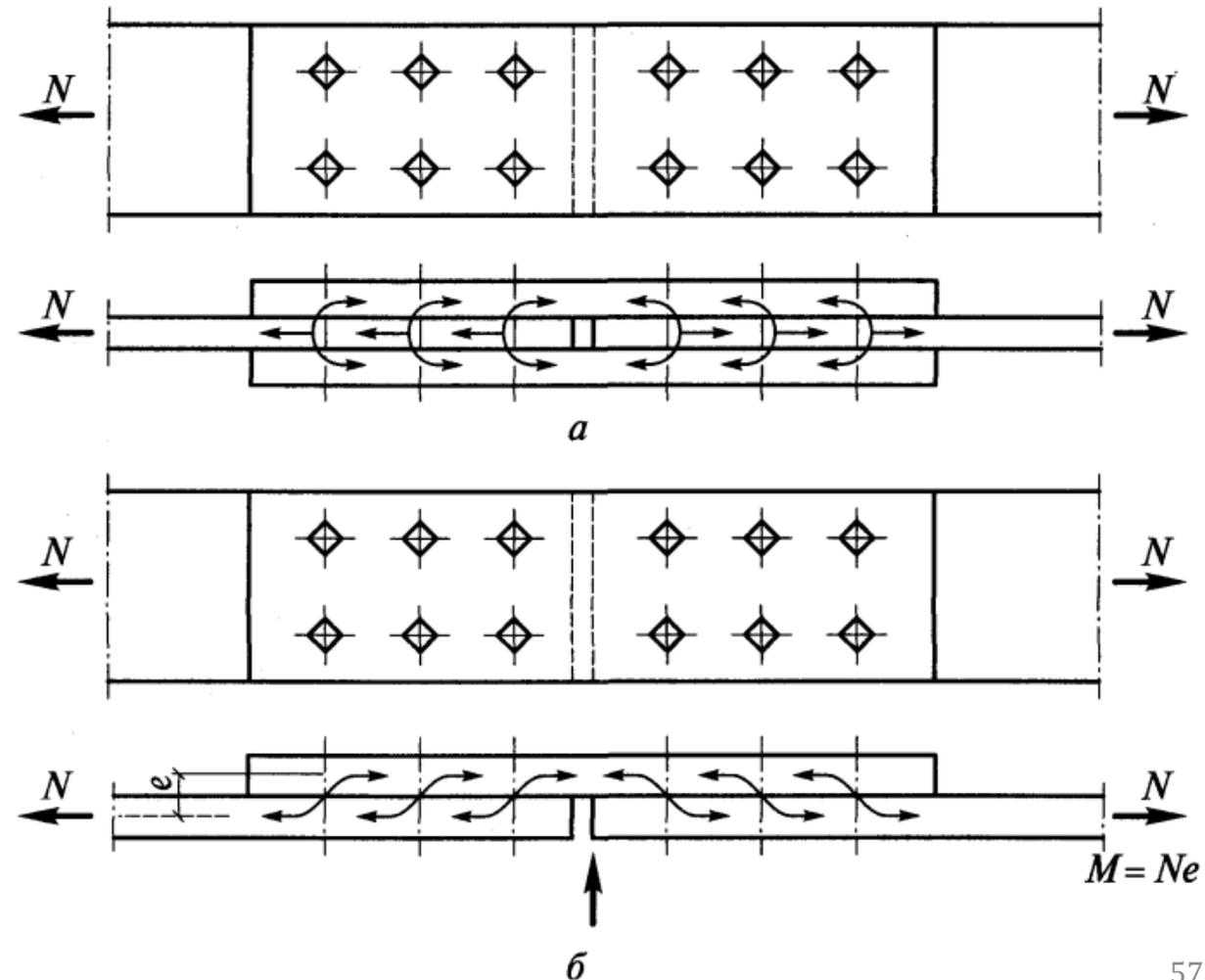
$\gamma_b < 0,8$ (0,9 или 1) при $n < 5$ ($5 \leq n < 10$ или $n \geq 5$) – коэффициент условий работы болтового соединения; γ_c – коэффициент условий работы конструкции

Конструирование болтовых соединений:

Стыки осуществляют на накладках:

- **двусторонних** – рис. а)
- **односторонних** – рис. б)

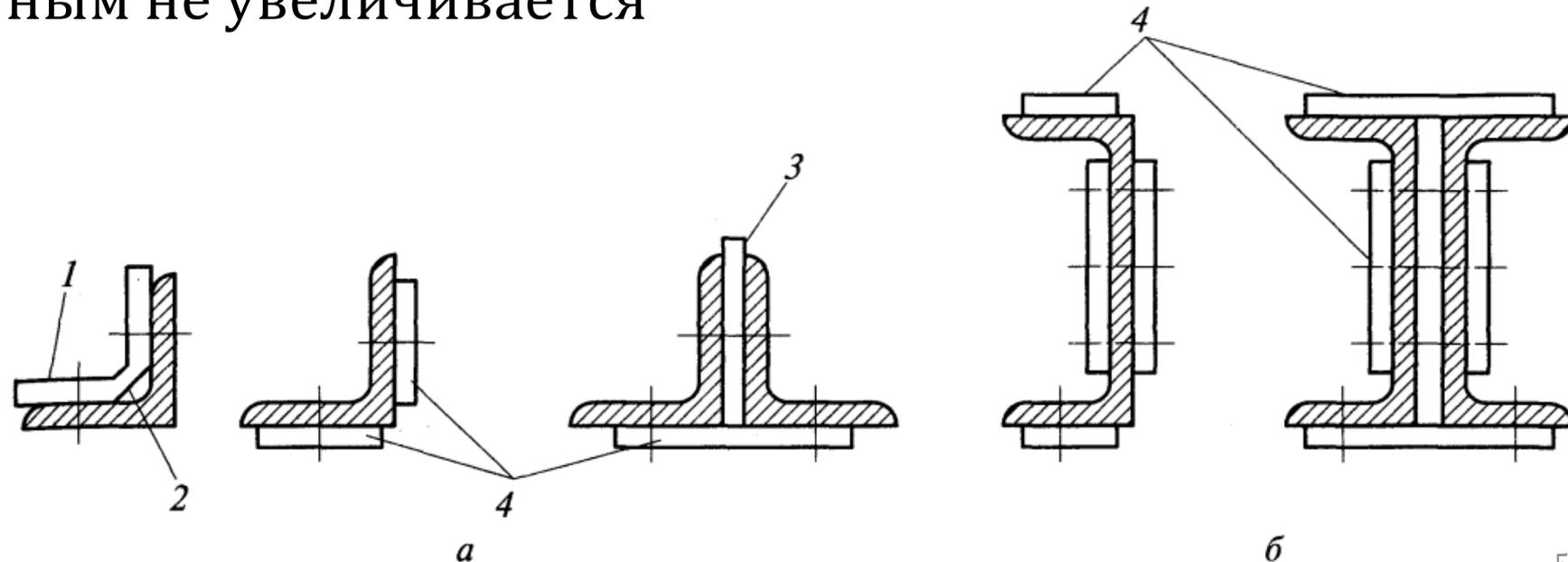
Двусторонние накладки, обеспечивающие симметричную передачу усилия, предпочтительнее. Стыки с односторонней накладкой дают эксцентричное соединение, в котором силовой поток отклоняется от своего первоначального направления, при этом возникают изгибающие моменты и необходимое по расчету число болтов увеличивается в этом случае на 10%



Конструирование болтовых соединений:

Стыки профильного металла выполняют накладками: уголки – уголковыми или листовыми – рис. а), двутавры и швеллеры – листовыми – рис. б). 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

- 1 – уголковая накладка
- 2 – фаска
- 3 – прокладка
- 4 – листовые накладки



Размещение отверстий для болтов в соединении:

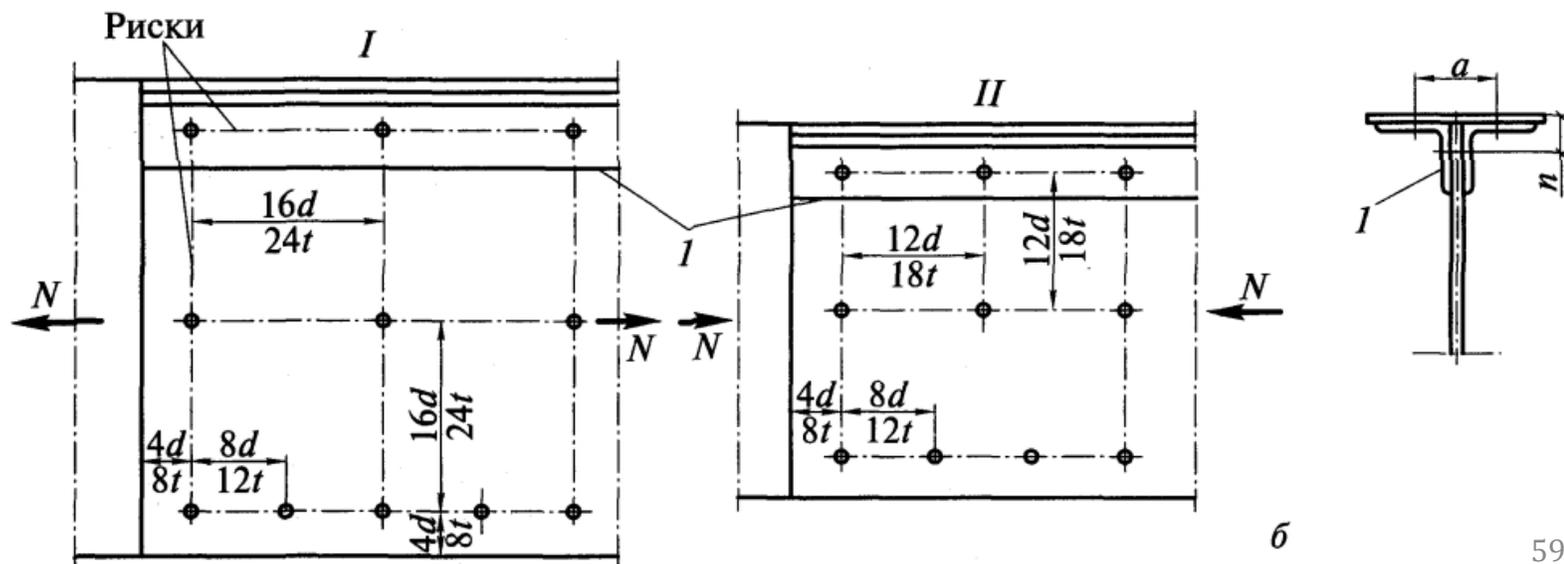
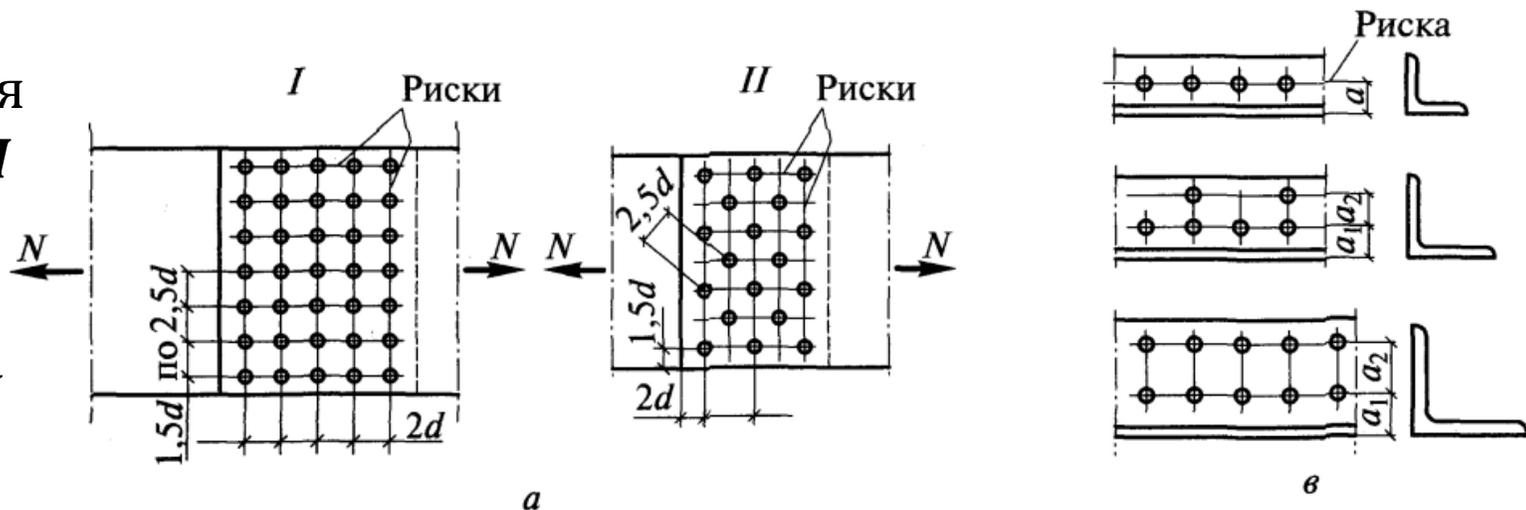
а) – минимальные расстояния при рядовом **I** и шахматном **II** расположении болтов

б) – максимальные расстояния при растяжении **I** и сжатии **II** элементов

1 – окаймляющий уголок

в) – размещение болтов в профильных элементах

Расстояние между центрами болтов принимают по табл. 40 СП 16.13330



Литература:

- ГОСТ 19521-74 Сварка металлов
- ГОСТ 5264-80 Ручная дуговая сварка. Соединения сварные
- ГОСТ 8713-79 Сварка под флюсом. Соединения сварные
- ГОСТ 14771-76 Дуговая сварка в защитном газе. Соедин. сварные
- ГОСТ 15164-78 Электрошлаковая сварка. Соединения сварные
- СП 16.13330.2017 Стальные конструкции
- Кудишин Ю.И., Беленя Е.И., Игнатьева В.С. [и др.]. Металлические конструкции: Учебник для студ. учреждений высш. проф. образования. – 13-е изд., испр. – М.: Издательский центр «Академия», 2011. – 688 с.

ИФО | 01.03.04 | ПМ | 6-й семестр

Строительные конструкции

Лекция №16



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ

**СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

www: mgsu.ru/universityabout/Struktura/Kafedri/ZhBK/

e-mail: gbk@mgsu.ru; dpekin@mail.ru

тел.: +7 495 287 49 14 доб. 3036, 3084

Пекин Дмитрий Анатольевич, доцент, к.т.н.