

# **НЕРАЗЪЕМНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ**

**(заклепочные, сварные,  
паяные, клеевые)**

Детали, составляющие машину, связаны между собой тем или иным способом. Эти связи можно разделить на подвижные, к которым относятся различного рода шарниры, подшипники, зацепления, и неподвижные — резьбовые, сварные, шпоночные и др.

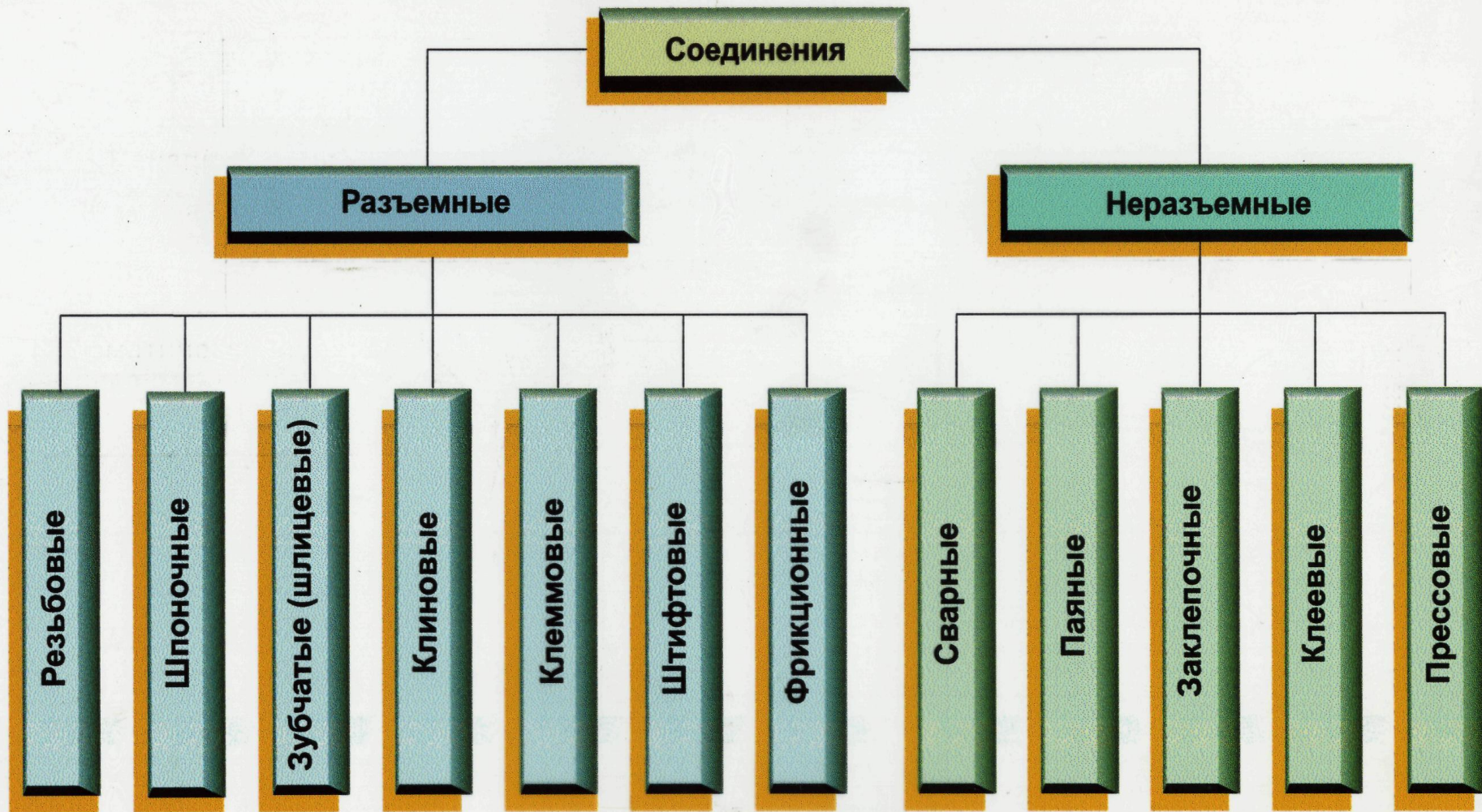
**Неподвижные связи в технике называют *соединениями*.**

По признаку разъемности все виды соединений можно разделить на *разъемные* и *неразъемные*.

*Неразъемными* называют соединения, которые невозможно разобрать без разрушения или повреждения деталей. К ним относятся заклепочные, сварные, клеевые, паяные, прессовые соединения.

*Разъемными* называют соединения, которые можно разбирать и вновь собирать без повреждения деталей. К разъемным соединениям относятся резьбовые, шпоночные, зубчатые (шлицевые) и др. соединения.

## КЛАССИФИКАЦИЯ СОЕДИНЕНИЙ



По типу соединяемых деталей можно выделить:

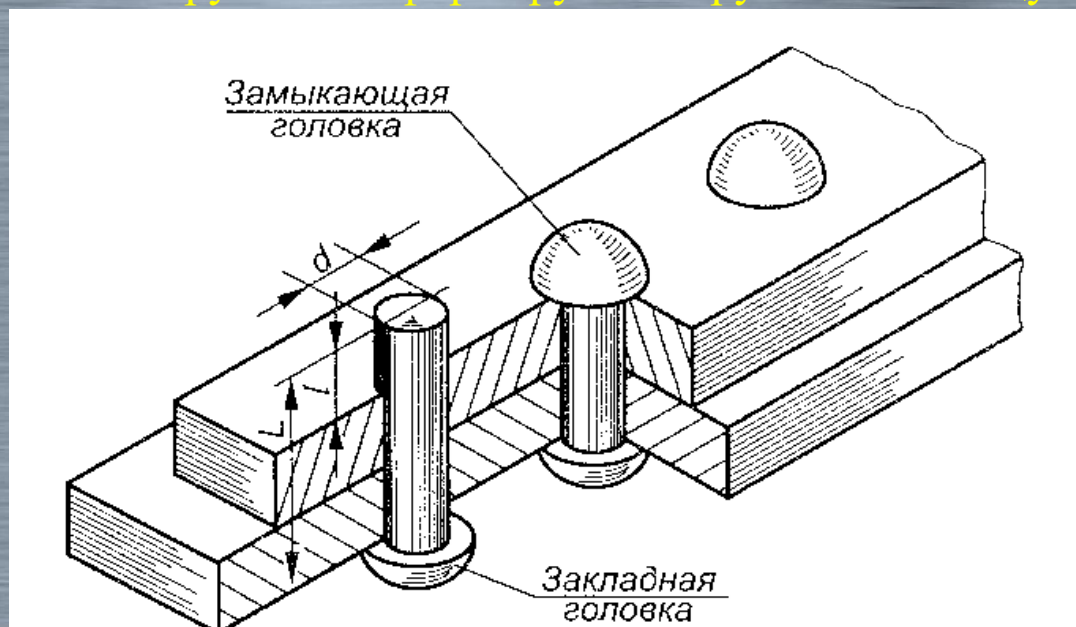
- а) соединения деталей типа вал и ступица: шпоночные, шлицевые, профильные и прессовые;
- б) соединения всех других деталей (корпусных, листовых, трубчатых и т. д.): резьбовые, сварные, заклепочные.

# ЗАКЛЕПОЧНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

**Заклепочное соединение** – неразъемное соединение деталей (обычно листовых) с помощью заклепок.

**Заклепка** – стержень круглого поперечного сечения с головками по концам, одна из которых, называемая *закладной*, изготавливается одновременно со стержнем, а другая, называемая *замыкающей*, выполняется в процессе клепки.

Заклепку при сборке устанавливают в подготовленное отверстие в деталях и осадкой (клепкой) специальным инструментом формируют вторую замыкающую головку.



# **ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ ЗАКЛЕПОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ**

## **ДОСТОИНСТВА**

1. Высокая надежность соединения.
2. Удобство и надежность контроля качества шва.
3. Хорошая сопротивляемость вибрационным и ударным нагрузкам.

## **НЕДОСТАТКИ**

1. Высокая стоимость, так как процесс получения заклепочного шва состоит из большого числа операций (разметка, продавливание или сверление отверстий, нагрев заклепок, их закладка, клепка) и требует применения дорогостоящего оборудования (станки, прессы, клепальные машины).
2. Большой расход материала, так как из-за ослабления деталей отверстиями под заклепки требуется увеличение площади сечений. Кроме того, необходимость применения накладок и прочих дополнительных элементов также приводит к увеличению расхода материала.

## **ПРИМЕНЕНИЕ**

В настоящее время заклепочные соединения применяют:

1. В конструкциях, воспринимающих значительные вибрационные и ударные нагрузки при высоких требованиях к надежности соединения.
2. При изготовлении конструкций из несвариваемых материалов (дюралюминий, текстолит и др.).
3. В соединениях окончательно обработанных деталей, в которых применение сварки недопустимо из-за их коробления при нагреве.

В современном машиностроении область применения заклепочных соединений все более сокращается по мере совершенствования методов сварки.

# Применение заклепочных соединений

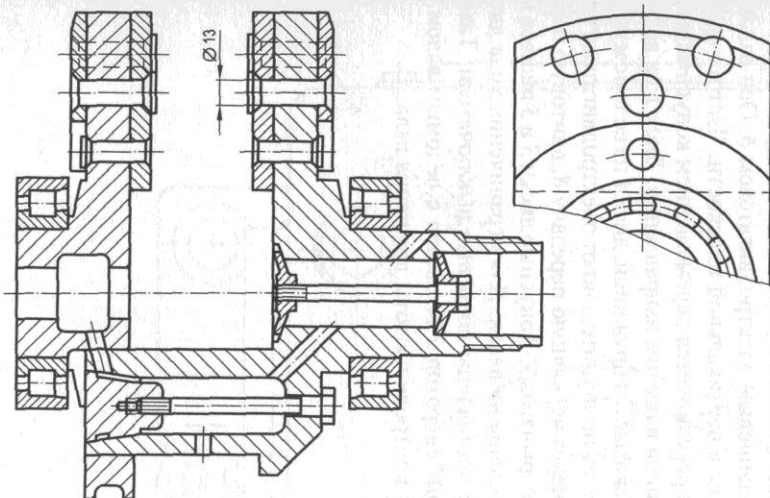


Рис. 7.3.1. Крепление противовесов на эксцентриковом валу

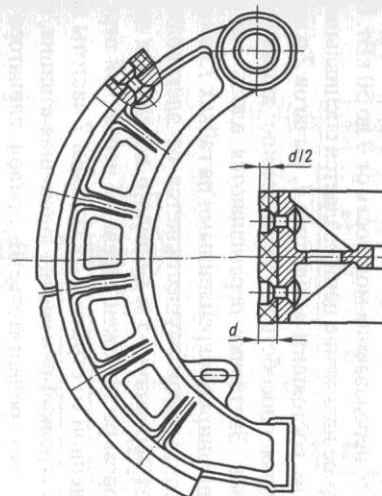


Рис. 7.3.2. Крепление накладок на колодке тормоза

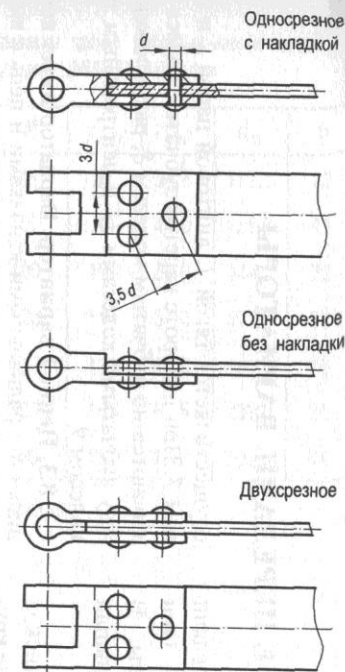


Рис. 7.3.3. Крепление тормозной ленты к пружине

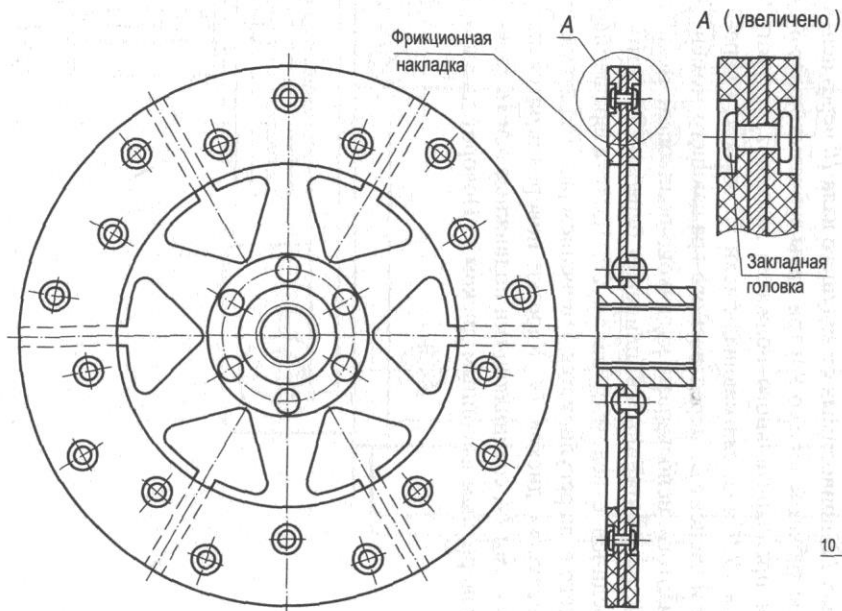


Рис. 7.3.4. Крепление фрикционных накладок на диске сцепления

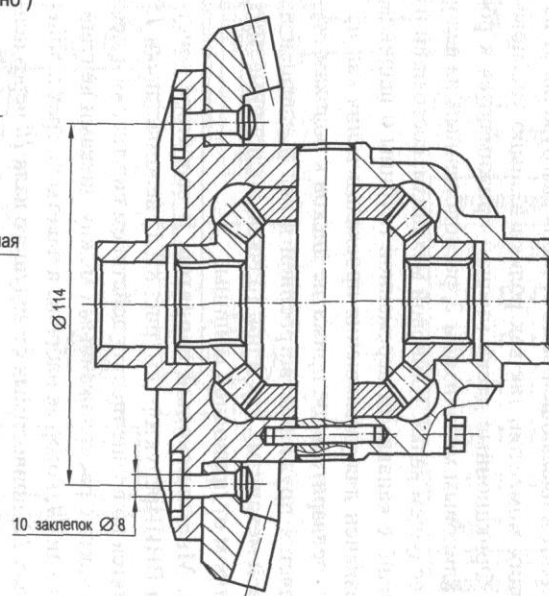


Рис. 7.3.5. Крепление венца на центре колеса

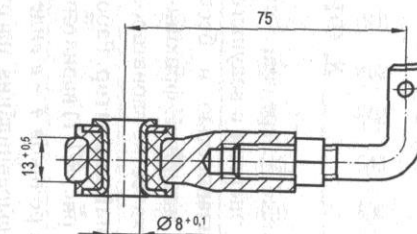
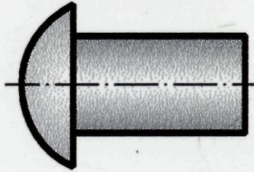


Рис. 7.3.6. Крепление резиновой втулки на тяге с помощью пустотелой заклепки

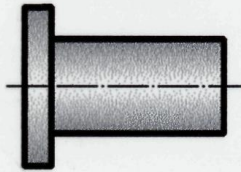
## ВИДЫ ЗАКЛЕПОК

### Заклепки со сплошным стержнем

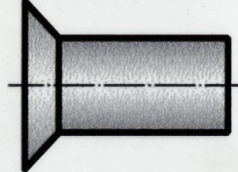
С полукруглой головкой



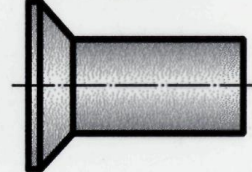
С цилиндрической головкой



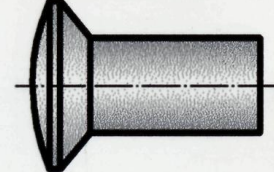
С конической головкой



С потайной головкой

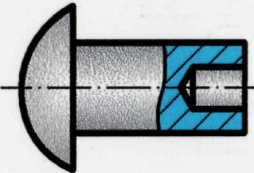


С полупотайной головкой

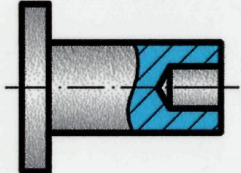


### Заклепки полупустотелые

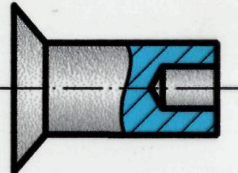
С полукруглой головкой



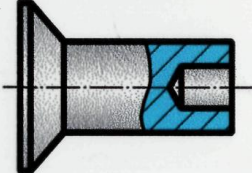
С цилиндрической головкой



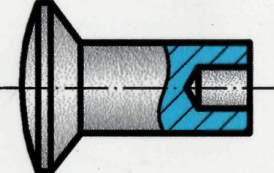
С конической головкой



С потайной головкой

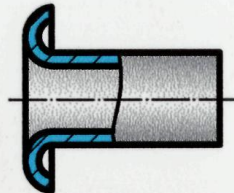


С полупотайной головкой

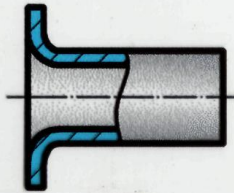


### Заклепки пустотелые (пистоны)

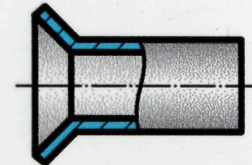
Со скругленной головкой



С плоской головкой



С потайной головкой



# МАТЕРИАЛЫ СОЕДИНЯЕМЫХ ДЕТАЛЕЙ И ЗАКЛЕПОК

Основными материалами соединяемых деталей являются малоуглеродистые стали Ст0, Ст2, Ст3, цветные металлы и их сплавы.

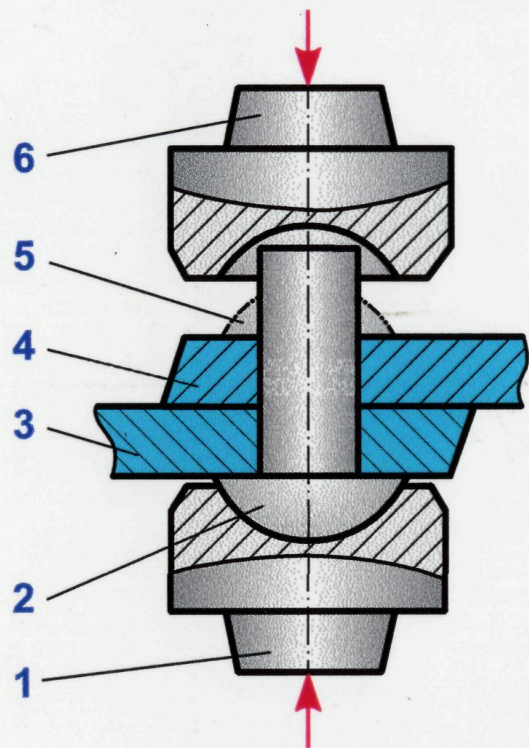
К материалу заклепки предъявляются требования:

1. Высокая пластичность для облегчения процесса клепки.
2. Одинаковый коэффициент температурного расширения с материалом деталей во избежание дополнительных температурных напряжений в соединении при колебаниях температуры.
3. Однородность с материалом склепываемых деталей для предотвращения появления гальванических токов, сильно разрушающих соединения. Для стальных деталей применяются только стальные заклепки. Для дюралюминиевых деталей применяются алюминиевые заклепки, а для медных деталей — медные.

Заклепки изготовляют на высадочных автоматах из прутков малоуглеродистых сталей Ст2, Ст3, 10кп, 20кп, из сплавов цветных металлов Л62, МЗ, АД1 и др.

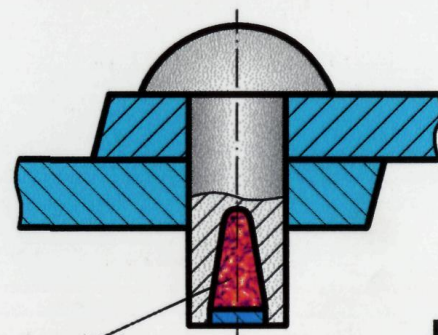
## СХЕМА ФОРМИРОВАНИЯ ЗАКЛЕПОЧНОГО СОЕДИНЕНИЯ

**Клепка обжимом**



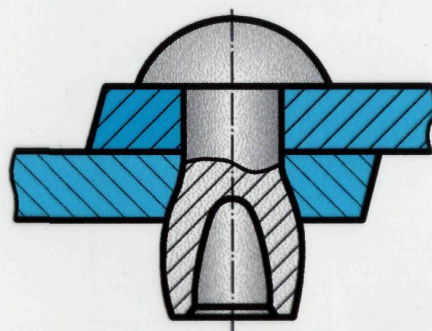
- 1 - поддержка;
- 2 - головка закладная;
- 3, 4 - соединяемые детали;
- 5 - головка замыкающая;
- 6 - обжимка.

**Клепка взрывом**  
Заклепка до взрыва

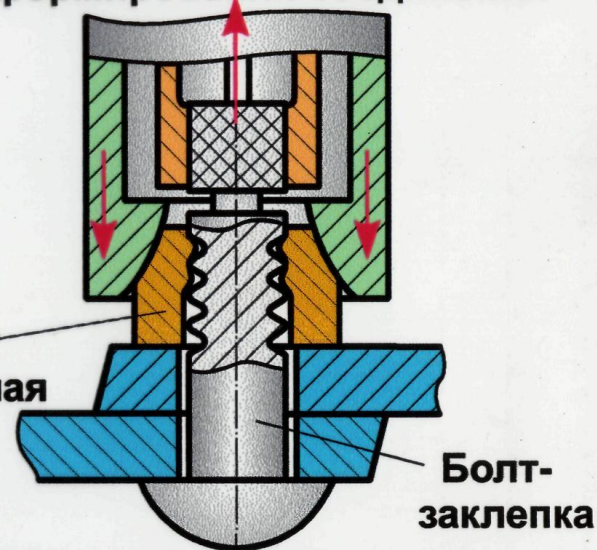


Заряд

**Заклепка после взрыва**



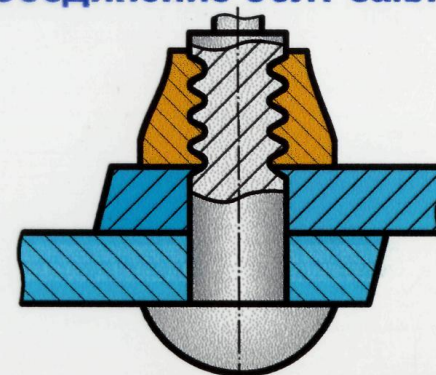
**Клепка обжимом шайбы**  
Болт-заклепка в момент формирования соединения



Шайба деформируемая

Болт-заклепка

**Соединение болт-заклепка**



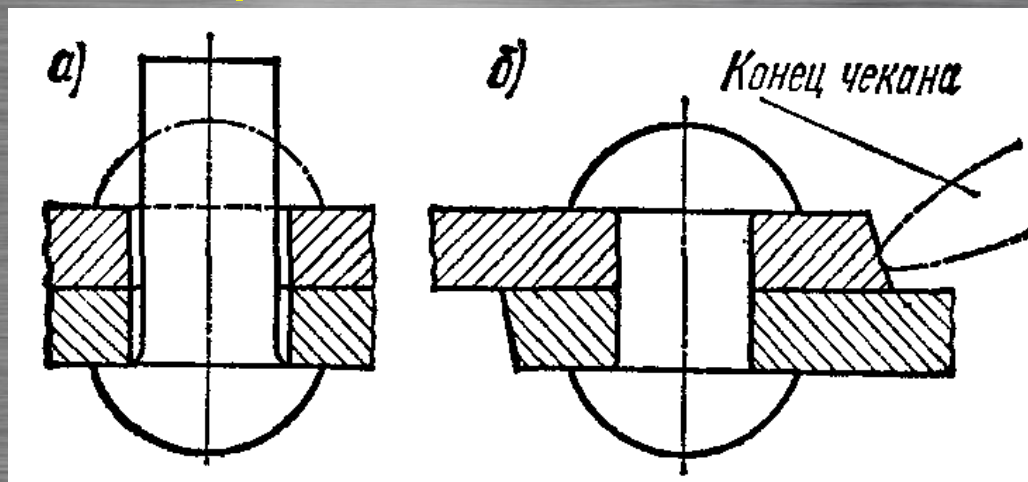
# КЛАССИФИКАЦИЯ ЗАКЛЕПОЧНЫХ ШВОВ

Соединение деталей машины или сооружения, осуществленное группой заклепок, называется *заклепочным швом*.

В зависимости от назначения заклепочные швы бывают:

прочные, обеспечивающие основной критерий работоспособности — прочность и применяемые в металлоконструкциях (фермы, рамы и др.);

прочноплотные, обеспечивающие прочность и герметичность, которые применяются в различных резервуарах. Для получения прочноплотных заклепочных швов выполняется дополнительная технологическая операция — подчеканка кромок.



# КЛАССИФИКАЦИЯ ЗАКЛЕПОЧНЫХ ШВОВ

В зависимости от взаимного расположения склепываемых деталей различают заклепочные швы внахлестку (рис. 1) и встык с одной (рис. 2) или с двумя (рис. 3) накладками.

В зависимости от числа рядов заклепок швы бывают однорядные (см. рис. 1) и многорядные (см. рис. 2 и 3). Для швов встык число рядов учитывается по одну сторону стыка.

В зависимости от расположения заклепок в рядах различают швы с рядовым (см. рис. 2) и с шахматным (см. рис. 3) расположением заклепок.

В зависимости от числа плоскостей среза одной заклепки швы делят на односрезные (см. рис. 1 и рис. 2), двухсрезные (см. рис. 3), многосрезные.

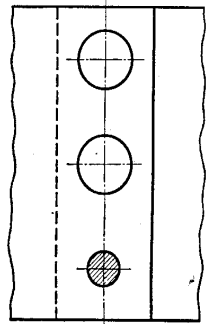
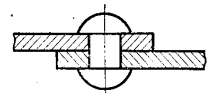


Рис. 1

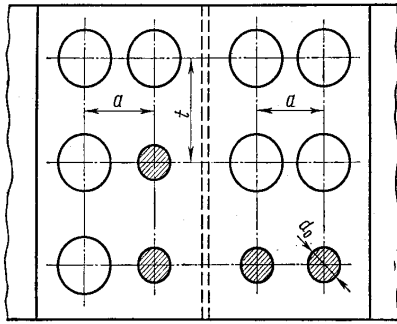
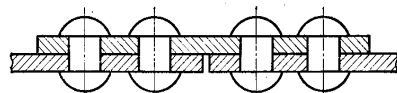


Рис. 2

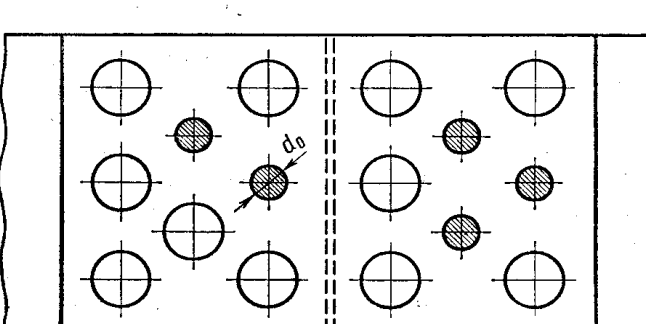
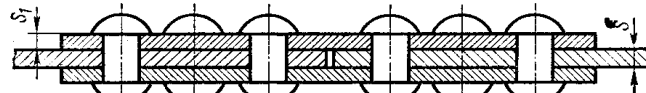


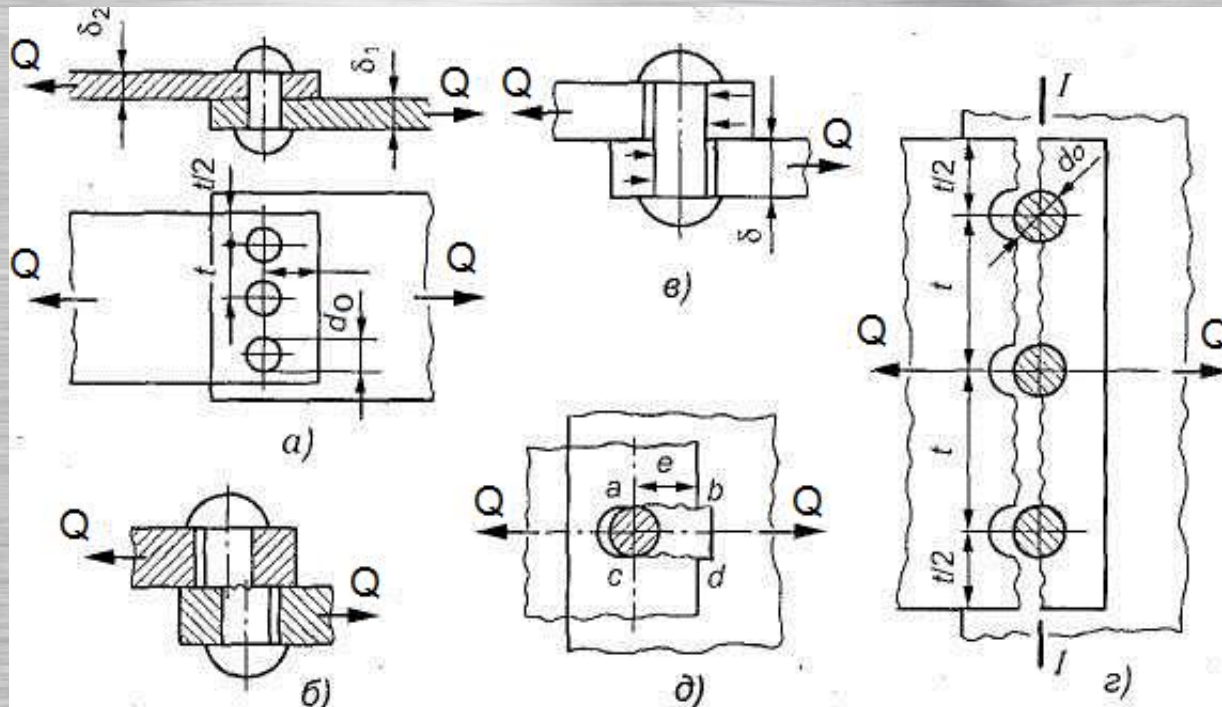
Рис. 3

$t$  – шаг  
заклепочного  
шва;  
 $d_0$  – диаметр  
отверстия

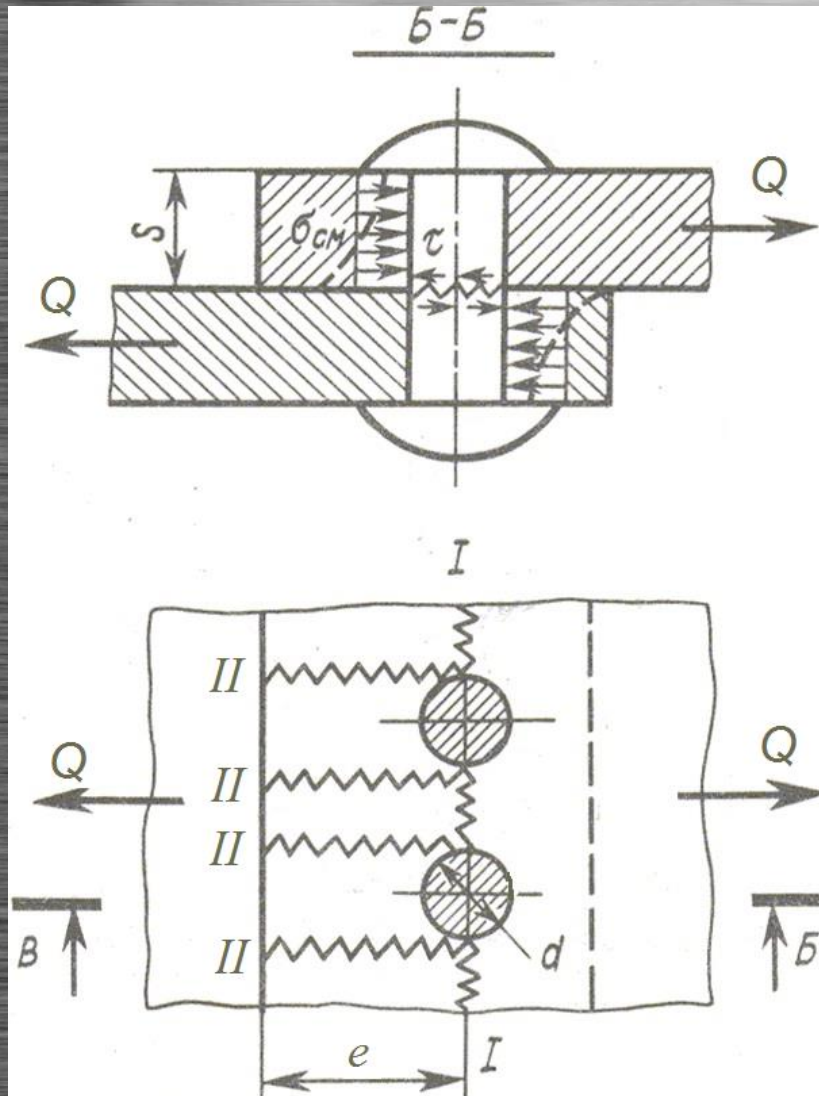
## РАСЧЕТ ПРОЧНЫХ ЗАКЛЕПОЧНЫХ ШВОВ

Прочность - основной критерий работоспособности прочных заклепочных швов. Расчет на прочность основан на следующих допущениях:

1. Силы трения на стыке деталей не учитывают, считая, что вся нагрузка передается только заклепками.
2. Расчетный диаметр заклепки равен диаметру отверстия  $d_0$ .
3. Нагрузка между заклепками распределяется равномерно. Рассмотрим простейший заклепочный шов - однорядный односрезный внахлестку



## Расчет соединяемых деталей

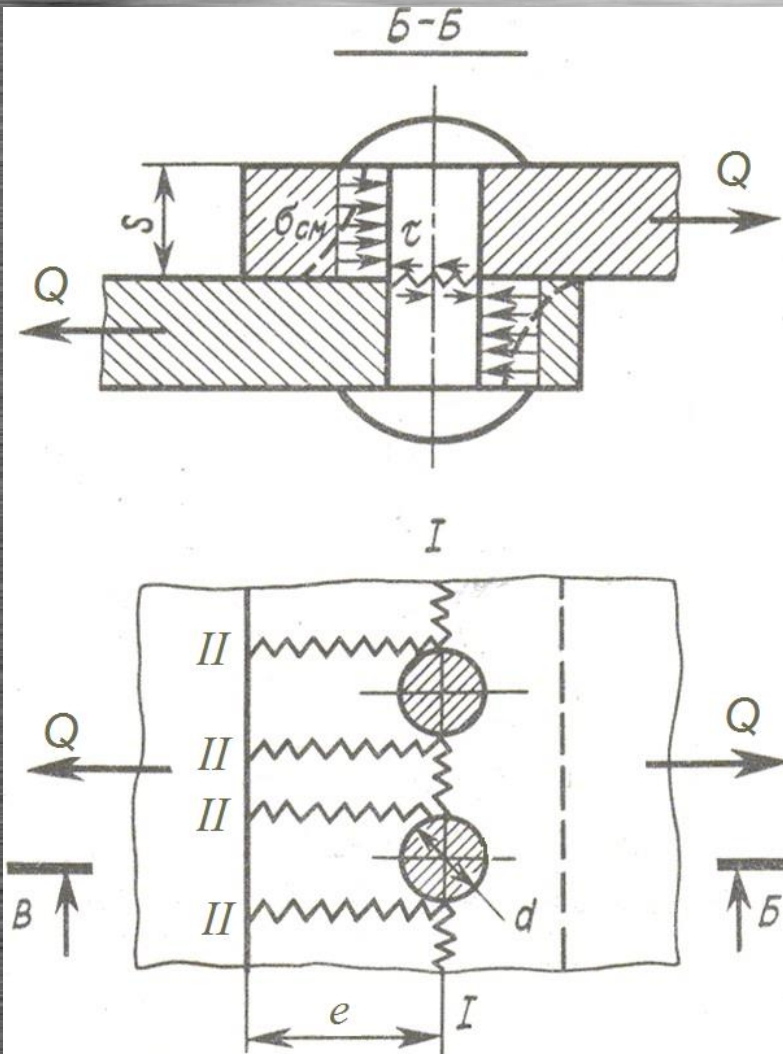


Разрушение деталей по нормальному сечению I-I, ослабленному отверстиями, может произойти под действием значительных статических сил. Условие прочностной надежности по допускаемым напряжениям растяжения  $[\sigma_p]$  имеет вид:

$$\sigma = \frac{Q}{A_{\text{нетто}}} = \frac{Q}{\delta(b - zd_o)} \leq [\sigma_P]$$

$A_{\text{нетто}}$  — площадь детали в опасном сечении с учетом ослабления ее отверстиями;  $\delta$  и  $b$  — толщина и ширина соединяемой детали;  $z$  — число заклепок в одном ряду;  $d_o$  — диаметр одной заклепки.

## Расчет соединяемых деталей



Смятие стенок отверстия нарушает работоспособность соединения и может привести к последующему прорезанию заклепкой соединяемых деталей. Условие прочности по допускаемым напряжениям среза  $[\tau_{cp}]$  для материала деталей (листов):

$$\tau = \frac{Q}{2\delta(e - 0,5d)z} \leq [\tau_{cp}]$$

$(e - 0,5d)z$  – длина опасного сечения.

Все величины допускаемых напряжений являются справочными значениями и зависят от материала заклепки и соединяемых деталей, способа изготовления отверстий, условий работы.

На практике при расчете прочных заклепочных швов пользуются следующими соотношениями, полученными совместным решением приведенных выше уравнений при условии равнопрочности всех элементов шва:

1. Диаметр отверстий под заклепки для швов внахлестку или с одной накладкой  $d_0 \approx 2\delta$

2. Шаг заклепочного шва  $t = (3 \div 6)d_0$

3. Расстояние от края детали до оси заклепки при продавленных отверстиях  
$$e = 2d_0$$

при сверленных отверстиях

$$e = 1,65d_0$$

4. Расстояние между рядами заклепок

$$a \geq 0,6t,$$

5. Толщина накладок

$$s_1 = 0,8s$$

Необходимое число заклепок  $z$  определяют расчетом из условий прочности на смятие и срез.

# КОЭФФИЦИЕНТ ПРОЧНОСТИ ЗАКЛЕПОЧНОГО ШВА

Отверстия под заклепки снижают прочность соединяемых деталей на растяжение. Число, показывающее, во сколько раз прочность на растяжение детали с отверстиями под заклепки меньше прочности на растяжение той же детали без отверстий, называют *коэффициентом прочности шва* и обозначают буквой  $\varphi$ .

Сечение детали на длине одного шага  $t$  ослаблено отверстием диаметра  $d_0$ , следовательно, чем больше значение  $\varphi$ , тем лучше использован материал соединяемых деталей.

$$\varphi = \frac{t - d_0}{t}$$

Значения коэффициента  $\varphi$  зависят от конструкции шва.

Ориентировочные значения коэффициента  $\varphi$  для прочных швов приведены ниже:

| Тип шва                             | $\varphi$ |
|-------------------------------------|-----------|
| Однорядный внахлестку.....          | 0,67      |
| Двухрядный ... ..                   | 0,75      |
| Однорядный с двумя накладками ..... | 0,71      |
| Двухрядный.....                     | 0,84      |

Для повышения значения  $\varphi$  уменьшают  $d_0$  и увеличивают  $t$ , т. е. применяют многорядные двухсрезные швы.

# **ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ПРОЕКТНОГО РАСЧЕТА ПРОЧНЫХ ЗАКЛЕПОЧНЫХ ШВОВ ПРИ ОСЕВОМ НАГРУЖЕНИИ**

## **Исходные данные:**

1. Величина осевой нагрузки  $Q$  и характер ее действия (статическая, динамическая).
2. Материал соединяемых деталей.
3. Способ изготовления отверстий под заклепки.

## **Последовательность расчета**

1. Задаются типом шва и соответственно коэффициентом  $\phi$ .
2. Из условия прочности на растяжение определяют необходимую площадь сечения соединяемых деталей с учетом ослабления их отверстиям под заклепки

$$A = \frac{Q}{\phi[\sigma]_p}$$

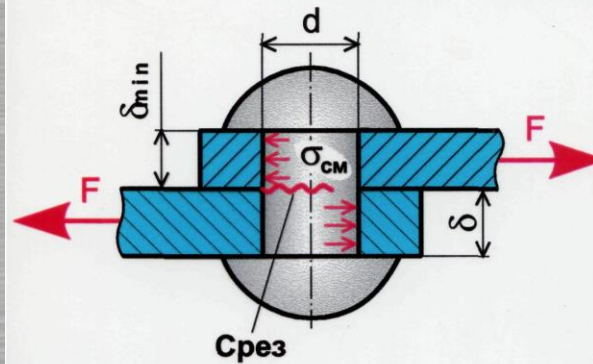
3. По рекомендуемым соотношениям определяют размеры элементов шва:

Диаметр отверстий под заклепки для швов внахлестку или с одной накладкой  $d_0 \approx 2\delta$ . Шаг заклепочного шва  $t = (3 \div 6)d_0$ . Расстояние от края детали до оси заклепки: при продавленных отверстиях  $e = 2d_0$ , при сверленных отверстиях  $e = 1,65d_0$ . Расстояние между рядами заклепок  $a \geq 0,6t$ , Толщина накладок  $s_1 = 0,8s$

4. Из условий прочности на срез и смятие определяют необходимое количество заклепок  $z$ , принимая большее из двух полученных значений.
5. Разрабатывают конструкцию заклепочного шва, уточняя при этом размеры элементов соединения.
6. Проверяют соединяемые детали: а) на растяжение  
б) на срез заклепками

# РАСЧЕТ ЗАКЛЕПОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА ПРОЧНОСТЬ

Односрезное соединение -  $i = 1$



Срез

$$\tau_c = \frac{F}{\frac{\pi d^2}{4} \cdot i} \leq [\tau]_c$$

Смятие

$$\sigma_{cm} = \frac{F}{\delta_{min} \cdot d} \leq [\sigma]_{cm}$$

Двухсрезное соединение -  $i = 2$

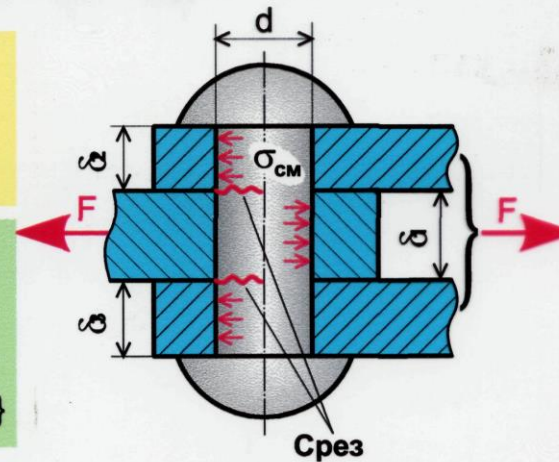
Срез

$$\tau_c = \frac{F}{\frac{\pi d^2}{4} \cdot i} \leq [\tau]_c$$

Смятие

$$\sigma_{cm} = \frac{F}{\delta_{min} \cdot d} \leq [\sigma]_c,$$

где  $\delta_{min} = \min\{\delta_1, (\delta_2 + \delta_3)\}$



**Допускаемые напряжения** на срез и смятие для заклепок из пластичных малоуглеродистых сталей, МПа

|                 |     |
|-----------------|-----|
| $[\tau]_c$      | 140 |
| $[\sigma]_{cm}$ | 280 |

# РАСЧЕТ ПРОЧНОПЛОТНЫХ ЗАКЛЕПОЧНЫХ ШВОВ

Расчет прочноплотных заклепочных швов производят в следующем порядке. Вычисляют толщину стенки цилиндрического сосуда:

$$\delta = \frac{p_0 D}{2[\varphi][\sigma_p]} + \Delta$$

где  $p_0$  - давление на поверхность стенки сосуда,  $D$  - внутренний диаметр сосуда,  $[\varphi]$  - допускаемый коэффициент прочности шва,  $[\sigma_p]$  - допускаемое напряжение при растяжении для стенки сосуда,  $\Delta = 1..3$  мм - добавка на коррозию металла.

По рекомендациям принимают диаметр заклепки  $d_0$  и шаг заклепочного шва  $p$ . Затем производят проверочный расчет заклепок по допускаемому условному напряжению на срез  $[\tau_{yc}]$

$$\tau_{yc} = \frac{F}{i(\pi d_0 / 4)} \leq [\tau_{yc}]$$

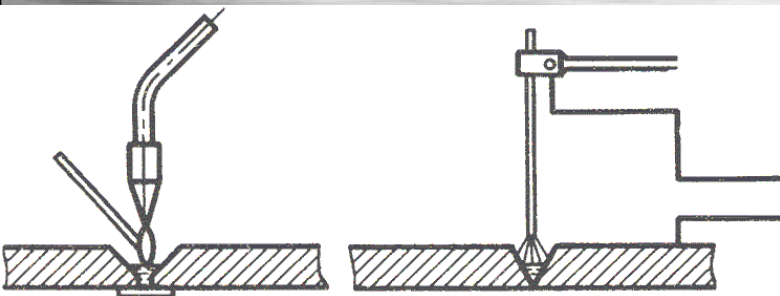
$\tau_{yc}$  - условное расчетное напряжение на срез в заклепках,  $F$  - сила, действующая на одну заклепку,  $i$  - число плоскостей среза заклепки.

Проверка заклепок по допускаемому условному напряжению одновременно является проверкой шва на плотность, т.е. на отсутствие относительного скольжения листов.

# СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

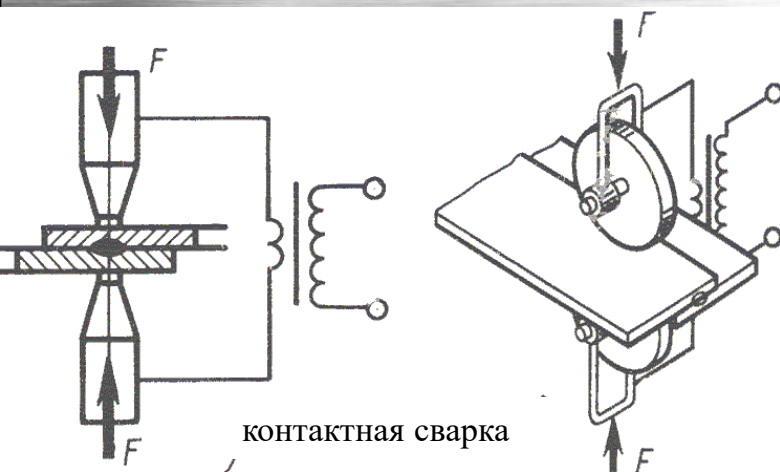
Сварные соединения формируются за счет межатомных связей между сварными, образующихся:

- при местном или общем нагреве до расплава и последующем остывании – **сварка плавлением**
- при пластическом деформировании нагретых или холодных стыков – **сварка давлением**.



газовая сварка

дуговая сварка



контактная сварка

## СПОСОБЫ СВАРКИ:

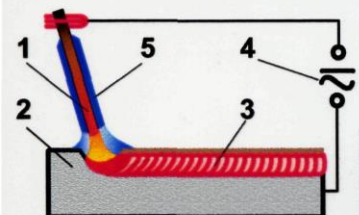
- **плавление материала**
  - газовая
  - дуговая (ручная, автоматическая)
  - электронно-лучевая
  - плазменная
- **нагрев и пластическое деформирование**
  - контактная (шовная, точечная)
  - высокочастотная
  - диффузионная
- **деформирование без нагрева**
  - холодная
  - взрывом
  - ультразвуковая

Затвердевший после сварки металл, соединяющий сваренные детали, называется

**сварным швом**

## ОСНОВНЫЕ СПОСОБЫ ДУГОВОЙ СВАРКИ МЕТАЛЛОВ

### Ручная дуговая сварка плавящимся электродом по ГОСТ 5264-80



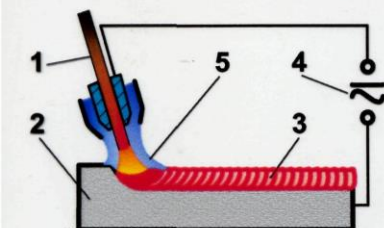
Способ универсальный, но малопроизводительный. Рекомендуется для сварки коротких швов и в индивидуальном производстве.

1 - электрод; 2 - деталь; 3 - шов; 4 - источник тока; 5 - ионизирующее покрытие электрода

### Дуговая сварка в защитных газах по ГОСТ 14771-76

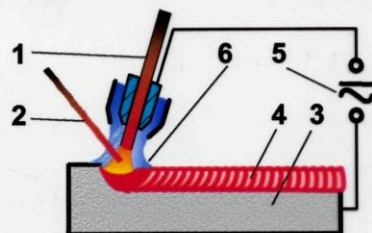
**Способы:** сварка высоколегированных сталей, титановых и алюминиевых сплавов плавящимся (ИП) и неплавящимся (ИНп) вольфрамовыми электродами в инертных газах (аргон, гелий); сварка углеродистых сталей плавящимся электродом в углекислом газе (УП).

#### Плавящимся электродом



1 - электрод; 2 - деталь;  
3 - шов; 4 - источник тока;  
5 - защитный газ

#### Неплавящимся электродом

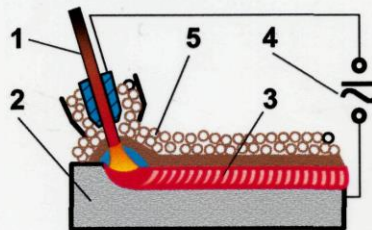


1 - неплавящийся электрод; 2 - присадочная проволока; 3 - деталь; 4 - шов;  
5 - источник тока; 6 - защитный газ

### Дуговая сварка под флюсом по ГОСТ 8713-79

**Способы:** автоматическая (АФ) и механизированная (МФ) сварка сталей под флюсом

1 - электрод; 2 - деталь; 3 - шов;  
4 - источник тока; 5 - флюс



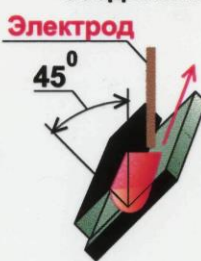
## ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ШВОВ ПРИ СВАРКЕ ПЛАВЛЕНИЕМ ПО ГОСТ 11969-79

### положение "в лодочку"

Для таврового соединения



Для нахлесточного соединения



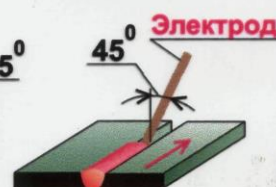
Сварка в положении "в лодочку" обеспечивает наиболее благоприятные условия для формирования и выполнения угловых швов тавровых, нахлесточных и угловых соединений.

### НИЖНЕЕ ПОЛОЖЕНИЕ

Для таврового соединения



Для стыкового соединения



Сварка в нижнем положении обеспечивает наиболее благоприятные условия для формирования стыковых швов, благоприятные для угловых и легко поддается механизации.

### ВЕРТИКАЛЬНОЕ ПОЛОЖЕНИЕ

Для таврового соединения



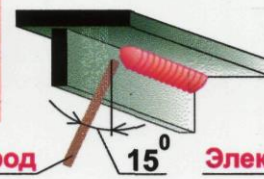
Для стыкового соединения



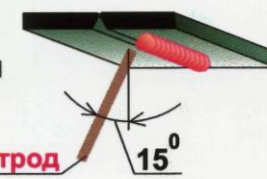
При сварке в вертикальном положении (по вертикальной стенке) условия для формирования и выполнения швов менее благоприятны.

### ПОТОЛОЧНОЕ ПОЛОЖЕНИЕ

Для таврового соединения



Для стыкового соединения



При сварке в потолочном положении условия для формирования и выполнения швов крайне неблагоприятны.

### **Достоинства сварных соединений:**

- могут быть получены на автоматических и полуавтоматических линиях, что снижает трудоемкость процесса изготовления
- меньшая металлоемкость по сравнению с заклепочными соединениями

### **Недостатки сварных соединений:**

- неоднородный нагрев и наличие остаточных напряжений в шве
- возможность существования скрытых дефектов (трещин, непроваров, раковин, шлак)

### **Виды сварных соединений:**

- **Стыковые** соединения – соединяемые элементы являются продолжением один другого, сварку производят по торцам.
- **Нахлесточные** соединения – боковые поверхности соединяемых элементов частично перекрывают одна другую.
- **Тавровые** соединения – соединяемые элементы перпендикулярны или реже наклонены друг к другу, один элемент торцом приваривается к боковой поверхности другого.
- **Угловые** соединения – соединяемые элементы перпендикулярны или наклонны друг к другу и привариваются по кромке.

# СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

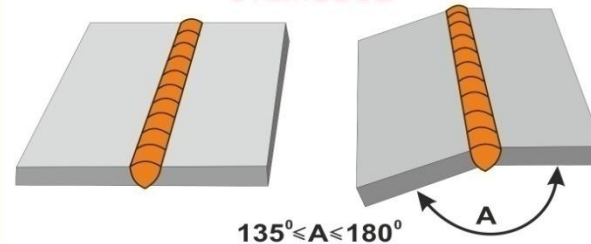
## ТИПЫ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

**Сварные соединения** - неразъемные соединения отдельных сопрягаемых конструктивных элементов, выполненных сваркой.  
**Сварной шов** - участок сварного соединения, образовавшийся в результате кристаллизации расплавленного металла; определяет геометрическую форму, сплошность, прочность и другие свойства сварного соединения непосредственно в месте сварки.

**Тип сварного соединения** определяют по относительной ориентации, размерам и числу соединяемых элементов.

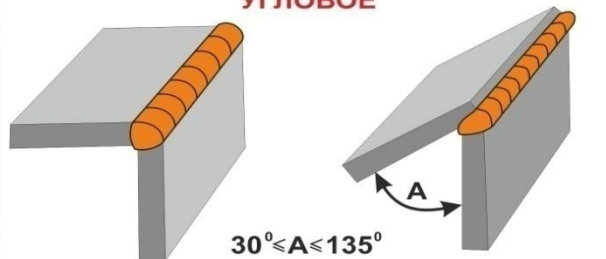
| Тип сварного соединения и его обозначение | Наименование шва соединения |
|-------------------------------------------|-----------------------------|
| стыковое С                                | стыковое                    |
| тавровое Т                                | угловое                     |
| угловое У                                 |                             |
| нахлесточное Н                            |                             |

## СТЫКОВОЕ



Два элемента лежат в одной плоскости и примыкают друг к другу торцевыми поверхностями

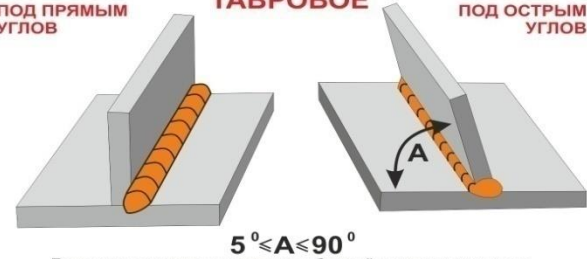
## УГЛОВОЕ



Два элемента расположены под углом (А) и сварены в месте примыкания их торцов

ПОД ПРЯМЫМ  
УГЛОМ

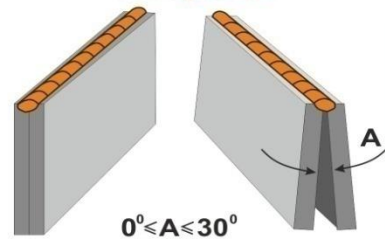
## ТАВРОВОЕ



Торец одного элемента примыкает к боковой поверхности другого под прямым или острым углом, образуя Т-образную форму

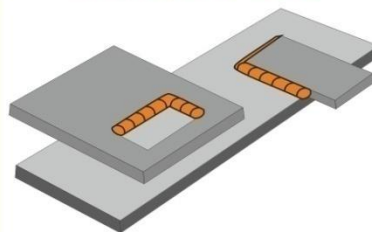
ПОД ОСТРЫМ  
УГЛОМ

## ТОРЦЕВОЕ



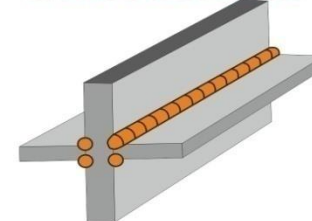
Боковые поверхности элементов примыкают друг к другу или образуют между собой угол (А)

## НАХЛЕСТОЧНОЕ



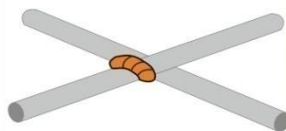
Сварные элементы расположены параллельно и частично перекрывают друг друга

## КРЕСТООБРАЗНОЕ



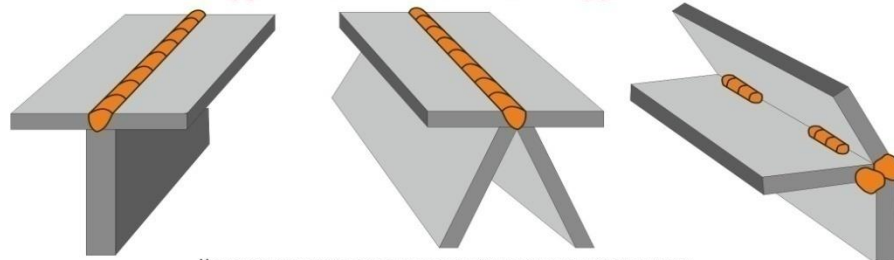
Два элемента расположены в одной плоскости и примыкают под прямым углом к третьему, находящемуся между ними, образуя двойную Т-образную форму

## ПЕРЕКРЕСТНОЕ



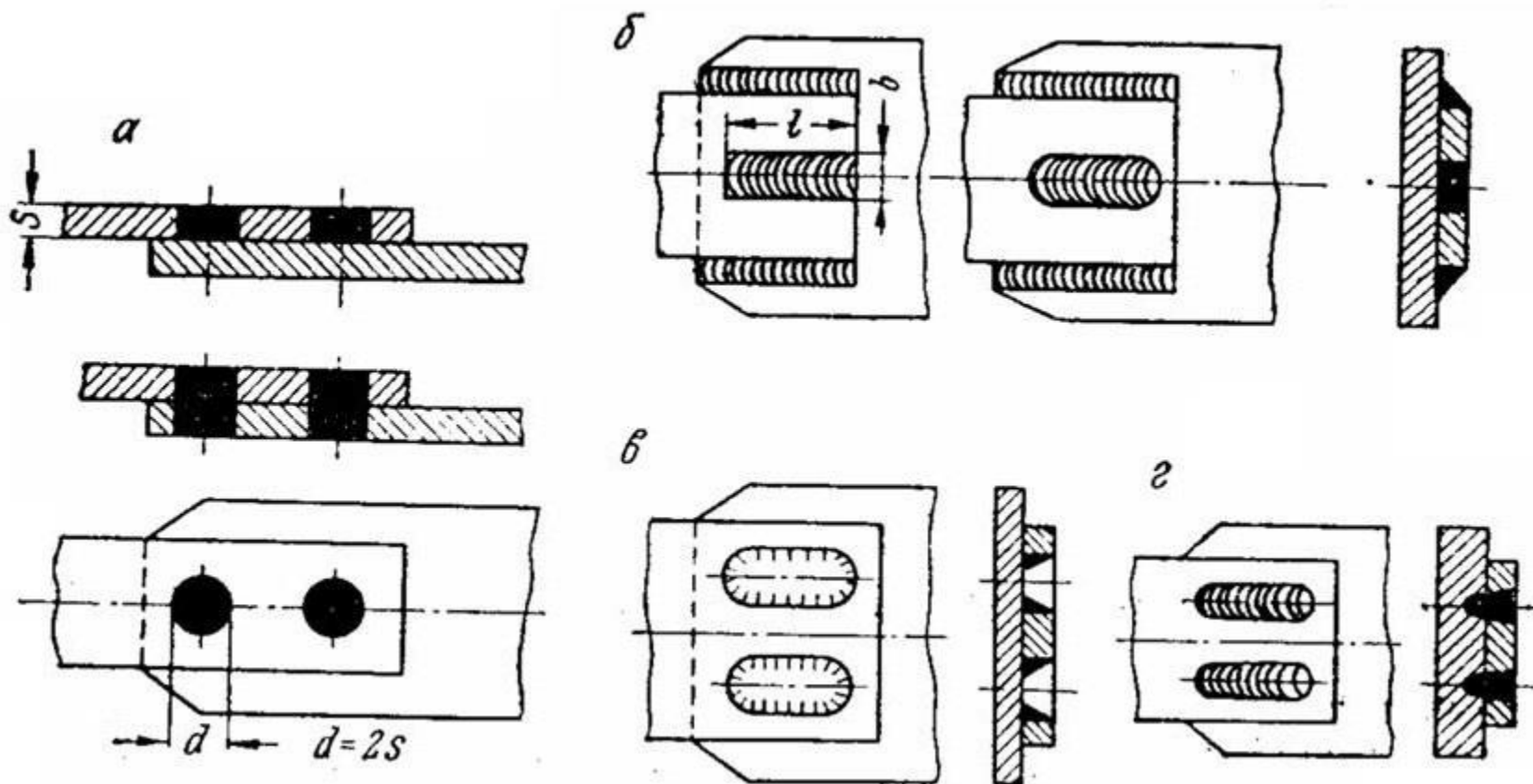
Два элемента (стержни или проволоки) лежат одна на другом, пересекаясь

## СОЕДИНЕНИЕ НЕСКОЛЬКИХ ДЕТАЛЕЙ

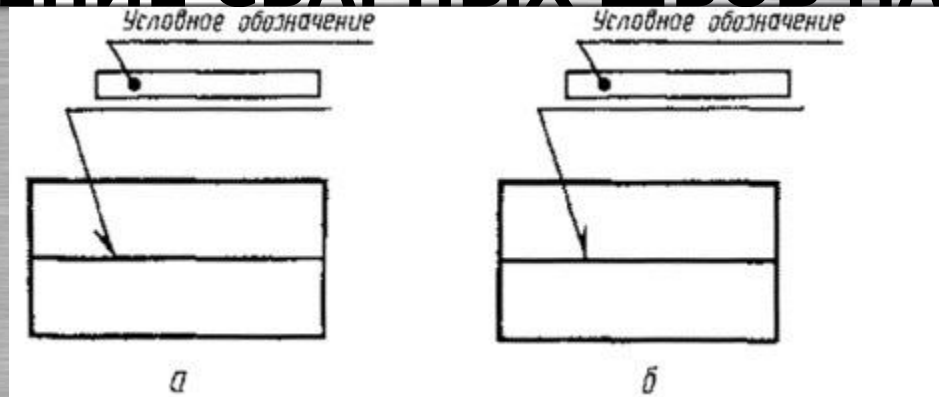


Не менее трех элементов примыкают друг к другу под прямым углом

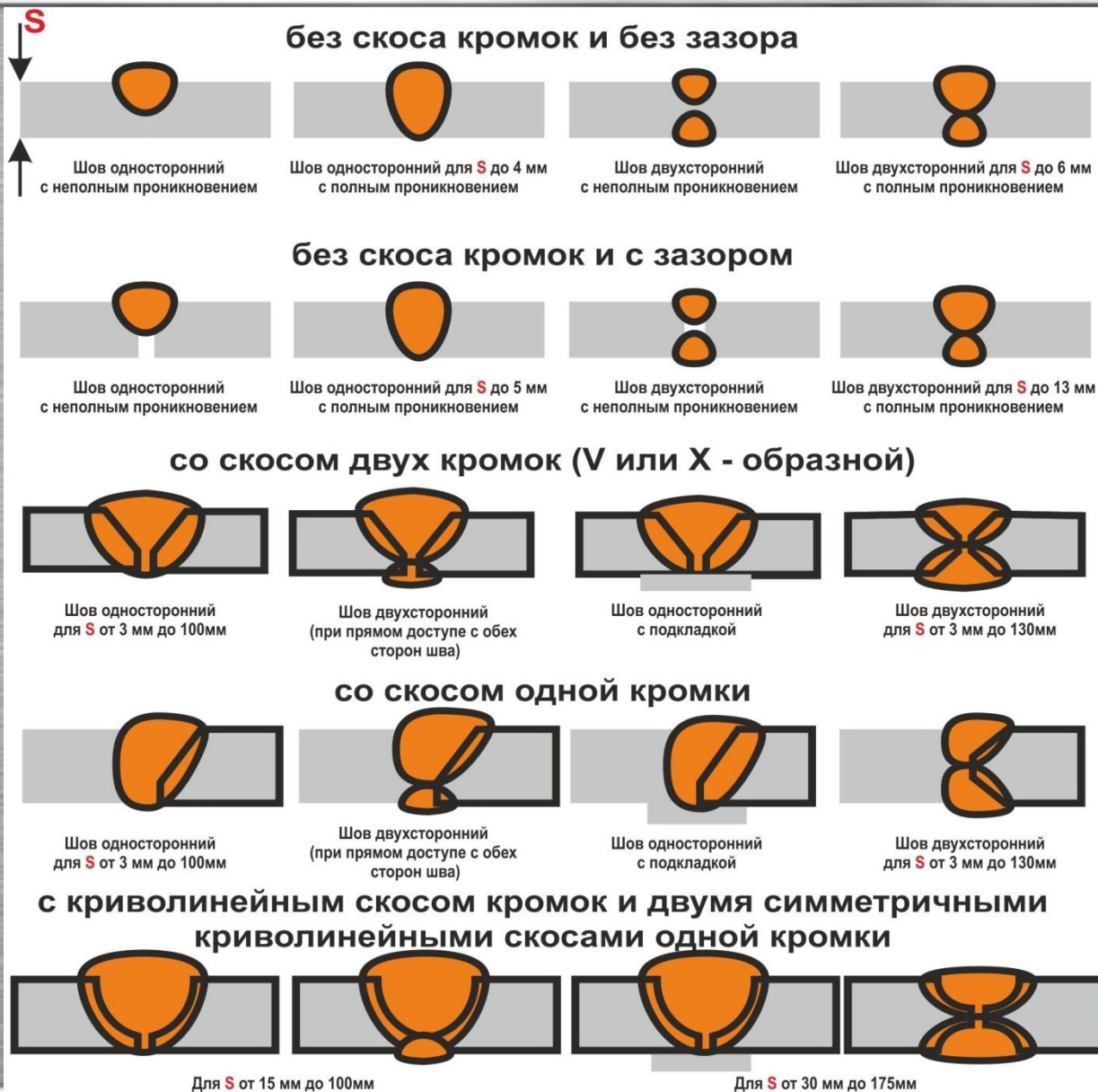
# Пробочные, прорезные и проплавные швы



# ОБОЗНАЧЕНИЕ СВАРНЫХ ШВОВ НА ЧЕРТЕЖАХ



# СТЫКОВЫЕ СВАРНЫЕ ШВЫ



## УГЛОВЫЕ СВАРНЫЕ ШВЫ

Угловые швы по форме подготовленных кромок различают:

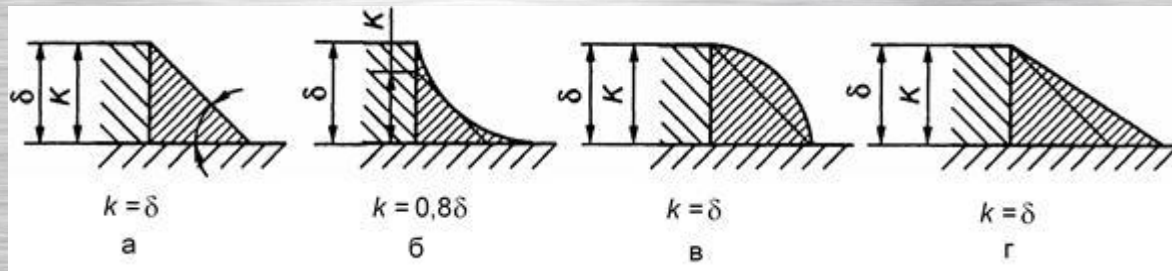
- без скоса кромок;
- со скосом одной кромки;
- со скосом двух кромок.

По характеру выполнения угловые швы различают:

- односторонние;
- двусторонние.

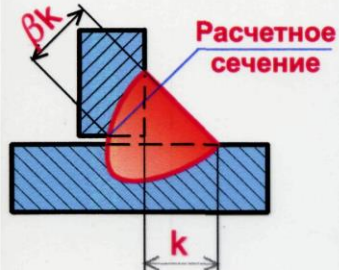
По форме сечения угловые швы различают:

а) нормальные; в) вогнутые; б) выпуклые; г) специальные



## ФОРМЫ ПОПЕРЕЧНЫХ СЕЧЕНИЙ УГЛОВЫХ ШВОВ

### НОРМАЛЬНЫЙ ШОВ

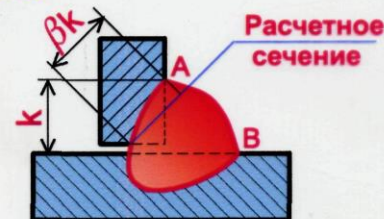


Шов имеет очертание внешней части в виде равнобедренного прямоугольного треугольника с катетом  $k$ . Применяется наиболее часто.

$\beta k$  - высота углового шва в сечении, принимаемом при расчетах на статическую прочность, где  $\beta = 0,7$  - при ручной сварке;  $\beta = 0,85$  - при механизированной сварке в среде защитных газов;  $\beta = 1,1$  - при автоматической сварке под флюсом.

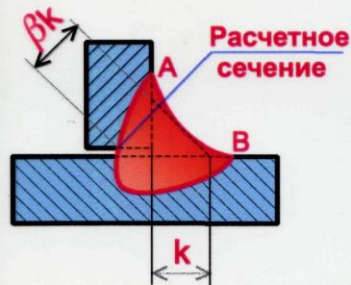
### ВЫПУКЛЫЙ ШОВ

Шов вызывает повышенную концентрацию напряжений в точках **A**, **B** и обладает пониженной усталостной прочностью. Применять не рекомендуется.



### ВОГНУТЫЙ ШОВ

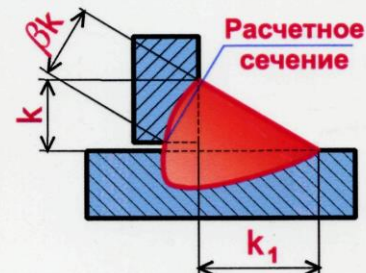
Шов имеет плавный переход к основному металлу в точках **A** и **B**, что значительно уменьшает концентрацию напряжений и повышает усталостную прочность сварного соединения. Рекомендуется при переменных нагрузках.



### НЕРАВНОКАТЕТНЫЙ ШОВ

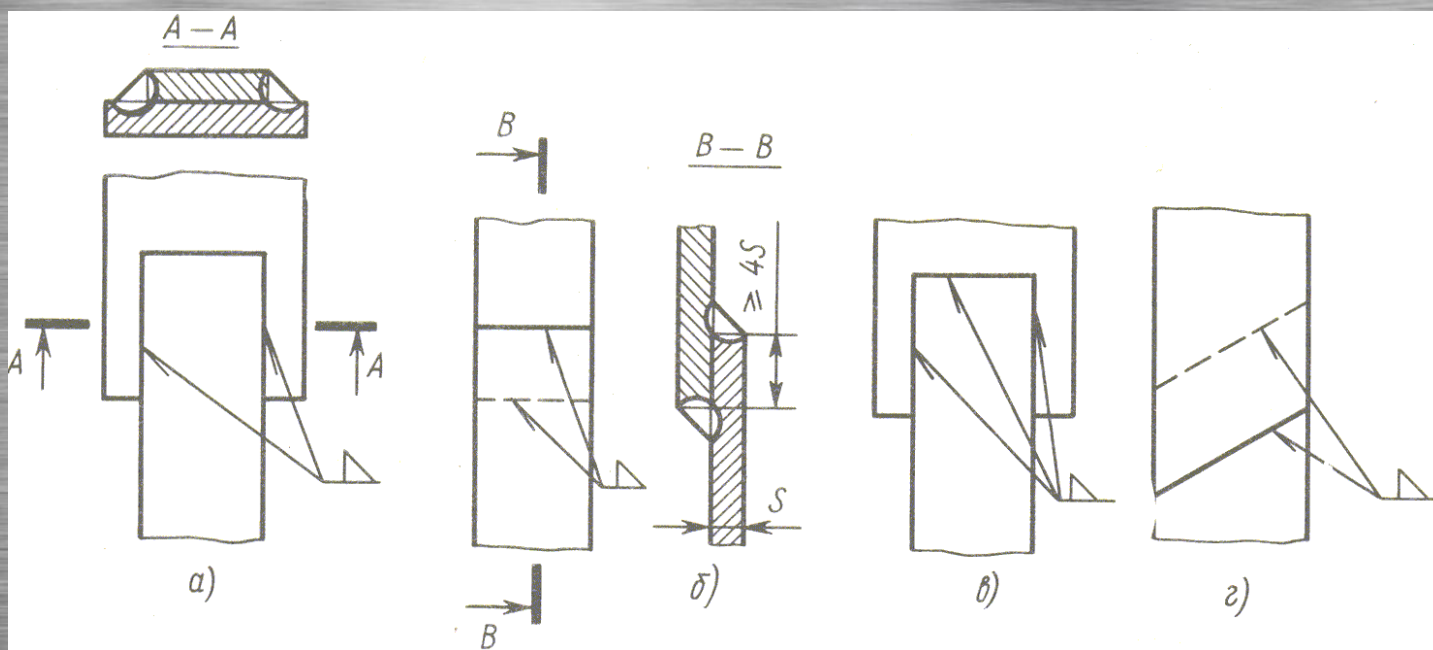
Шов хорошо работает в сварных соединениях, работающих при переменных нагрузках. Рекомендуемое соотношение катетов

$$k_1 = (1,2 \dots 1,5)k.$$



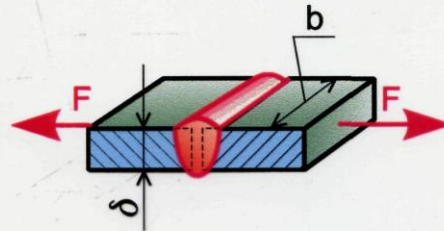
Угловые швы нахлесточных соединений по расположению относительно силы различают:

- а) лобовые - расположенные перпендикулярно направлению силы;
- б) фланговые – расположенные параллельно направлению силы;
- в) комбинированные;
- г) косые – расположенные под углом к направлению силы.



## РАСЧЕТ СВАРНЫХ СТЫКОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА ПРОЧНОСТЬ

### РАСТЯЖЕНИЕ



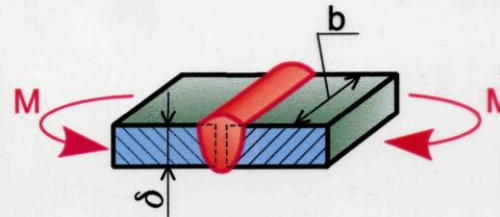
$$\sigma_p = F/A_c \leq [\sigma']_p,$$

$$\text{где } A_c = b \cdot \delta.$$

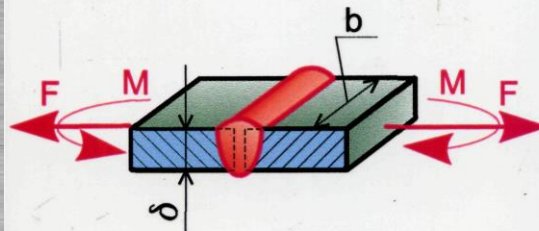
### ИЗГИБ

$$\sigma_{\text{и}} = M/W_x \leq [\sigma']_p,$$

$$\text{где } W_x = \delta \cdot b^2/6.$$



### РАСТЯЖЕНИЕ С ИЗГИБОМ



$$\sigma = \sigma_p \pm \sigma_{\text{и}} \leq [\sigma']_p,$$

$$\text{где } \sigma_p = F/A_c;$$

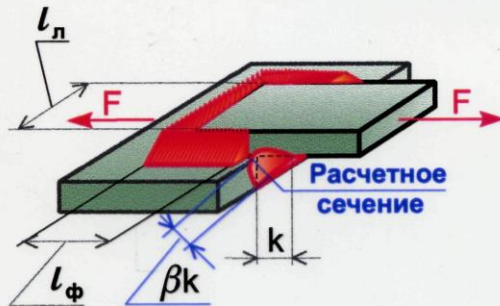
$$\sigma_{\text{и}} = M/W_x;$$

$$A_c = b \cdot \delta;$$

$$W_x = \delta \cdot b^2/6.$$

# РАСЧЕТ СВАРНЫХ НАХЛЕСТОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА ПРОЧНОСТЬ

## РАСТЯЖЕНИЕ



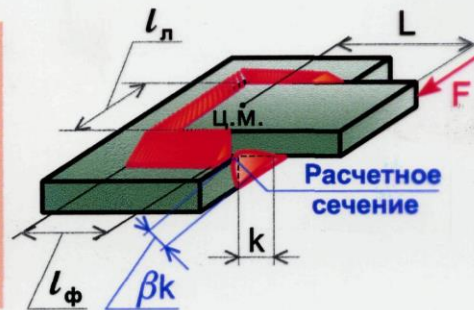
$$\tau = F/A_c \leq [\tau']_c,$$

где  $A_c = \beta \cdot k(2l_n + 2l_\phi).$

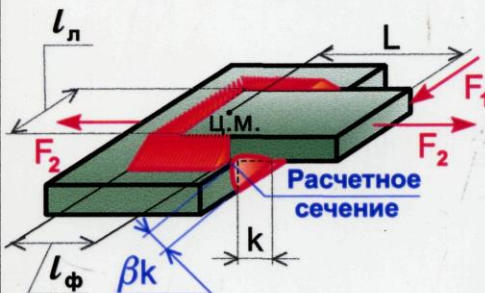
## ИЗГИБ

$$\tau = \sqrt{\tau_1^2 + \tau_2^2} \leq [\tau']_c,$$

где  $\tau_1 = F/A_c;$       $\tau_2 = M/W_x;$   
 $M = F \cdot L;$       $A_c = \beta \cdot k(2l_n + 2l_\phi);$   
 $W_x = 2\beta \cdot k \cdot l_n^2/6 + 2\beta \cdot k \cdot l_n(l_\phi + k).$



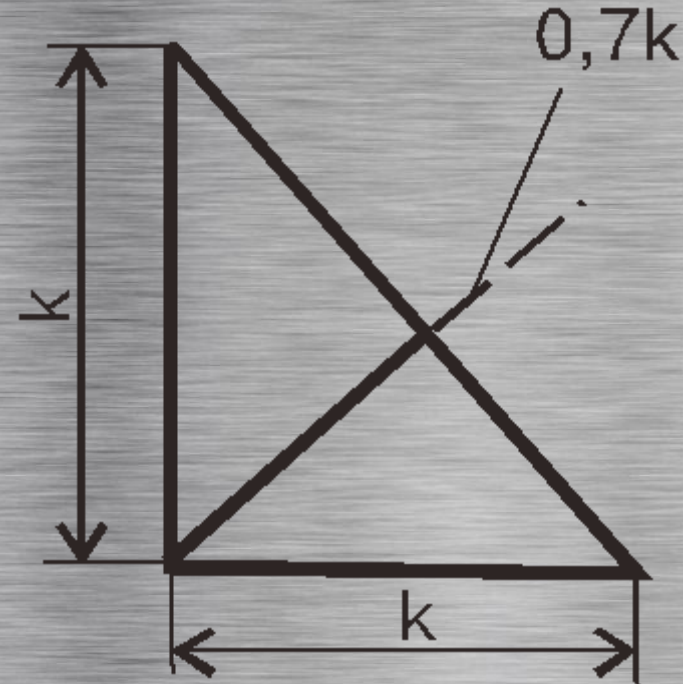
## РАСТЯЖЕНИЕ С ИЗГИБОМ



$$\tau = \sqrt{\tau_1^2 + \tau_2^2} \leq [\tau']_c,$$

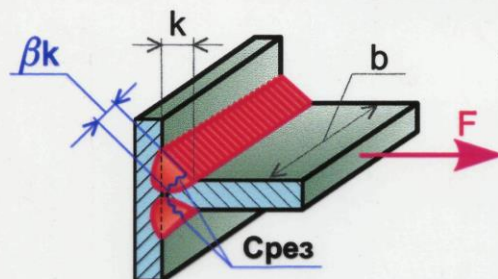
где  $\tau_1 = F_1/A_c;$       $\tau_2 = F_2/A_c + M/W_x;$   
 $A_c = \beta \cdot k(2l_n + 2l_\phi);$       $M = F_1 \cdot L;$   
 $W_x = 2\beta \cdot k \cdot l_n^2/6 + 2\beta \cdot k \cdot l_n(l_\phi + k).$

Сечение нормального  
углового шва



# РАСЧЕТ СВАРНЫХ ТАВРОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА ПРОЧНОСТЬ

## РАСТЯЖЕНИЕ



$$\tau = F/A_c \leq [\tau']_c,$$

$$\text{где } A_c = 2\beta \cdot k \cdot b.$$

## ИЗГИБ

$$\tau = \sqrt{\tau_1^2 + \tau_2^2} \leq [\tau']_c,$$

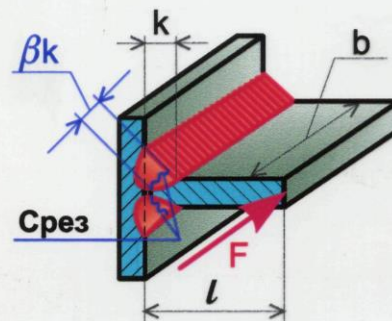
$$\text{где } \tau_1 = F/A_c;$$

$$\tau_2 = M/W_x;$$

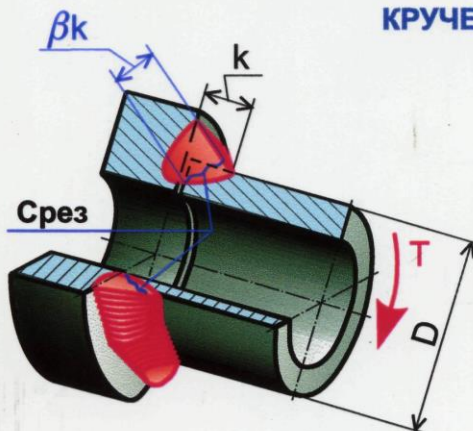
$$A_c = 2\beta \cdot k \cdot b;$$

$$M = F \cdot l;$$

$$W_x = 2\beta \cdot k \cdot b^2/6.$$



## КРУЧЕНИЕ



$$\tau = F/A_c \leq [\tau']_c,$$

$$\text{где } F = 2T/D;$$

$$A_c = \beta \cdot k \cdot \pi(D+k).$$

# Контактные сварные соединения

Точечные соединения рассчитываются на срез. Напряжения среза определяются как:

$$\tau = \frac{4F_1}{i\pi d^2} \leq [\tau_{ш}]$$

$F_1$  – усилие, приходящееся на одну точку;  $i$  – число плоскостей среза.

Швы, получаемые на роликовых машинах, рассчитывают по формуле:

$$\tau = \frac{F}{al} \leq [\tau_{ш}]$$

$a$  – ширина шва;  $l$  – длина шва

Допускаемые напряжения для основного металла в металлоконструкциях:

$$[\sigma'_P] = \frac{\sigma_R m}{K}$$

$\sigma_R = (0.85...0.9)\sigma_T$  – расчетное сопротивление с учетом неоднородности материала;  
 $m = 0.8...0.9$  – коэффициент, учитывающий тип соединения и условия его работы;  
 $K = 1.0...1.5$  – коэффициент перегрузки.

Оценку прочностной надежности соединения при действии **переменных** сил производят по запасам прочности:

$$n_\sigma \geq [n_\sigma]$$

$n_\sigma$  и  $[n_\sigma]$  – действительный и допускаемый запасы прочности;  $[n_\sigma] \geq 2$ .

### Допускаемые напряжения для сварных швов при статической нагрузке

| Сварка                                                                                      | Допускаемые напряжения для сварных швов |                             |                          |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------|--------------------------|
|                                                                                             | при растяжении $[\sigma'_p]$            | при сжатии $[\sigma'_{сж}]$ | при сдвиге $[\tau'_{ш}]$ |
| Автоматическая, ручная электродами Э42А и Э50А, в среде защитного газа, контактная стыковая | $[\sigma_p]$                            | $[\sigma_p]$                | $0,65 [\sigma_p]$        |
| Ручная электродами Э42, Э50 (обычного качества)                                             | $0,9 [\sigma_p]$                        | $[\sigma_p]$                | $0,6 [\sigma_p]$         |
| Контактная точечная                                                                         | —                                       | —                           | $0,5 [\sigma_p]$         |

### Расчетные сопротивления $\sigma_R$ для низкоуглеродистых сталей

| Марки стали          | $\sigma_R$ , МПа, при |        |           |
|----------------------|-----------------------|--------|-----------|
|                      | растяжении            | сжатии | срезе     |
| Ст3, Ст4             | 210/180               | 210    | 130...150 |
| 14Г2, 10Г2С1, 15ХСНД | 290/250               | 290    | 170...200 |
| 10ХСНД               | 340/290               | 340    | 200...240 |

Примечание. В числителе дроби приведены  $\sigma_R$  для швов, контролируемых физическими, в знаменателе — обычными методами (визуальным и т. п.).

# ПАЯНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

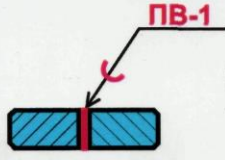
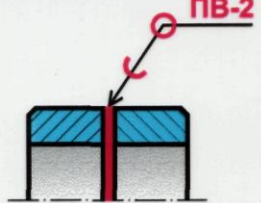
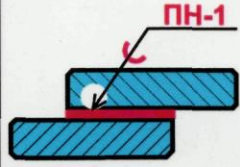
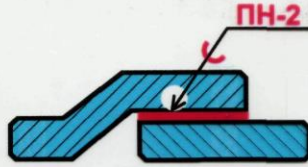
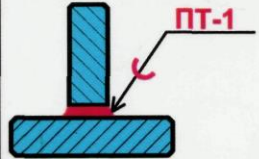
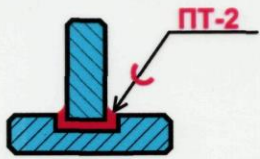
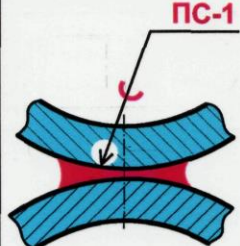
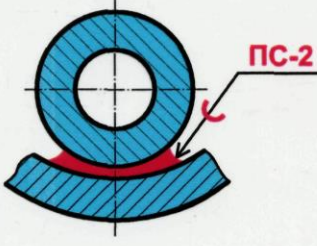
**Паяные** соединения образуются за счет местного нагрева легкоплавкого присадочного материала – припоя, который, растекаясь по нагретым поверхностям соединяемых деталей, образует при охлаждении паяный шов, диффузионно и химически связанный с материалом деталей.

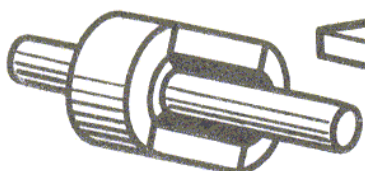
При конструировании паяных изделий выбирают **основной металл, припой и способ пайки**. В конструкциях паяных узлов применяются соединения встык и нахлесточные, а также их комбинации. Нагрев припоя и деталей осуществляют паяльником, газовой горелкой, в печах и пр. Для уменьшения вредного влияния окисления поверхностей деталей применяют специальные флюсы (канифоль, бура). Расчет паяных соединений аналогичен расчету сварных соединений.

## ТИПЫ ПАЯНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПО ГОСТ 19249-73

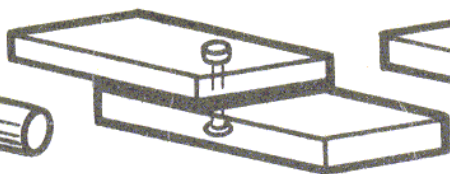
### Изображение на чертеже паяных швов

1. Паяный шов на чертеже изображается сплошной линией толщиной **2s**.
2.  - условный знак паяного шва, который наносится на наклонном участке линии-выноски.
3. **ПВ-1, ПВ-2, ПН1,..., ПС2** - буквенно-цифровое обозначение типа паяного соединения наносится на полке линии-выноски.

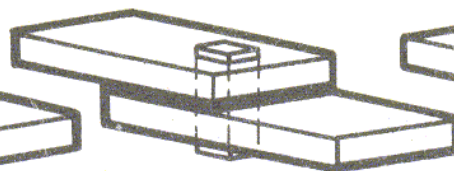
| Тип и условное обозначение паяного соединения                                                                                                                            | Форма сечения соединения и условное обозначение на чертежах                                                                                                                |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Стыковой:</b><br><b>ПВ-1</b> - соединение из пластин;<br><b>ПВ-2</b> - то же из труб                                                                                  |       |
| <b>Нахлесточный:</b><br><b>ПН-1</b> - соединение из пластин;<br><b>ПН-2</b> - то же с отбортовкой кромок                                                                 |       |
| <b>Тавровый:</b><br><b>ПТ-1</b> - соединение из пластин;<br><b>ПТ-2</b> - то же с врезкой                                                                                |     |
| <b>Соприкасающийся:</b><br><b>ПС-1</b> - соприкосновение элементов выпуклыми поверхностями;<br><b>ПС-2</b> - соприкосновение элементов выпуклой и вогнутой поверхностями |   |



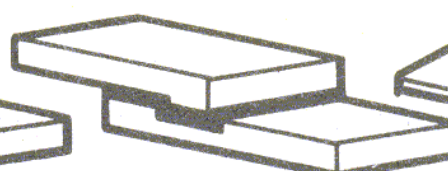
телескопическое  
соединение



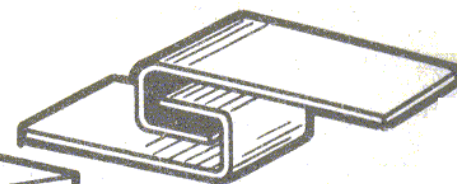
внахлестку с  
заклепкой



внахлестку со  
штифтом



внахлестку со  
шпонкой



фальцевый  
замок

# КЛЕЕВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

**Клеевое соединение** – соединение с помощью клея – неметаллического вещества (эпоксидный, полиуретановый, фенолонитрилкаучуковый, ...), способного соединять материалы и удерживать их вместе путем поверхностного схватывания (адгезии) и внутренней межмолекулярной связи (когезии) в клеящем слое.

**Достоинства** клеевых соединений: возможность соединения деталей из разнородных материалов; соединения тонких листов; пониженная концентрация напряжений и высокое сопротивление усталости, возможность обеспечения герметичности, малая масса соединения, возможность получения гладкой поверхности изделия.

**Основной недостаток** клеевых соединений – слабая работа на неравномерный отрыв.



стыковое



нахлесточное



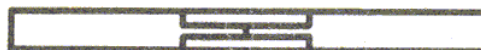
Нахлесточное с подсечкой



стыковое с накладкой



стыковое с двумя накладками



стыковое с утопленной  
двойной накладкой

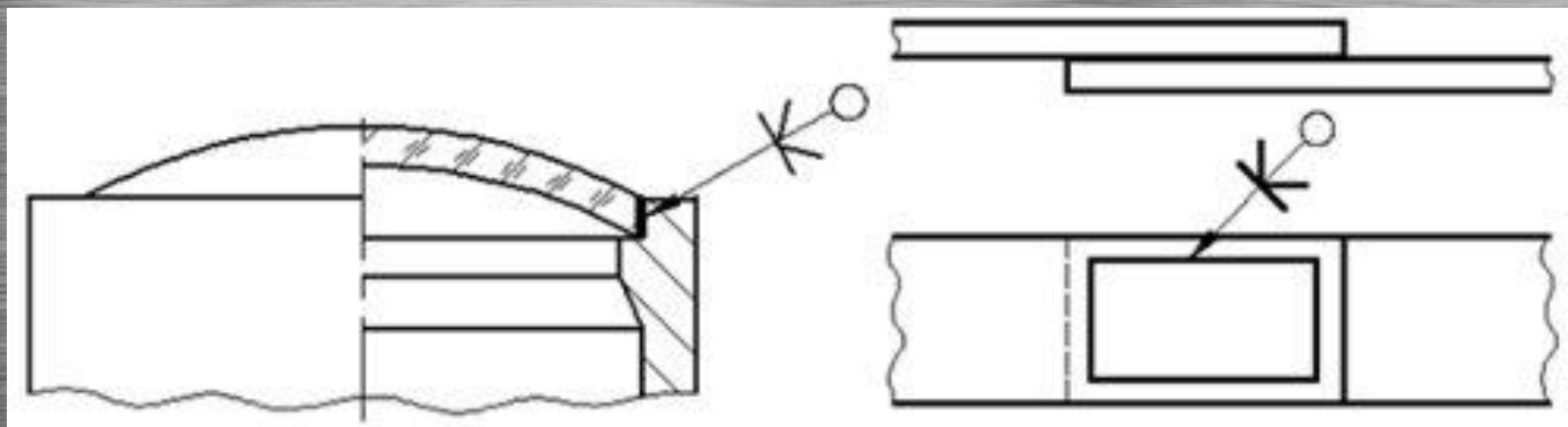


полушиповое



стыковое со скошенными накладками

# ОБОЗНАЧЕНИЕ КЛЕЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА ЧЕРТЕЖАХ



# Критерии работоспособности

Виды повреждений клеевых соединений

РАЗРУШЕНИЕ (срез)

Допускаемые напряжения

Статическая прочность

Критерии  
работоспособности

Условие прочности при срезе:

$$\tau = \frac{F}{bl} \leq [\tau_c]$$

$[\tau_c]$  – допускаемое напряжение при сдвиге (справочное значение).

**СПАСИБО  
ЗА ВНИМАНИЕ**