

Санкт-Петербургский Политехнический Университет Петра Великого  
Институт металлургии, машиностроения и транспорта  
Кафедра «Машиноведение и основы конструирования»

Е.А. Тарасенко

Лекция

Разъемные соединения

**ШПОНОЧНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ**

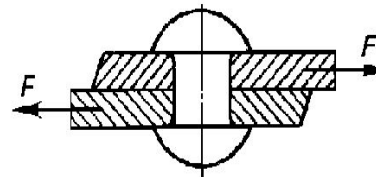
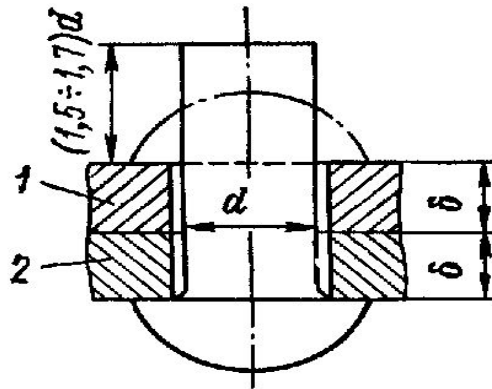
Детали машин

Слайды видеолекций для бакалавров  
технических направлений

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет  
2015

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, 2015 ©

**Заклепка** представляет собой стержень круглого сечения с головками на концах, одну из которых, называемую закладной, выполняют на заготовке заранее, а вторую, называемую замыкающей, формируют при заклепке.



- Заклепки начали применять в 30-х годах прошлого столетия. В настоящее время заклепочные соединения повсеместно вытесняются сваркой. Однако заклепочные соединения все еще находят широкое применение в ряде отраслей техники, например, в авиационной промышленности, приборостроении. В самолетостроении объем клепально-сборочных работ составляет примерно 35% всех трудозатрат на производство самолета, а количество заклепок на большом самолете достигает одного миллиона и более

Заклепочные швы по своему назначению делятся на:

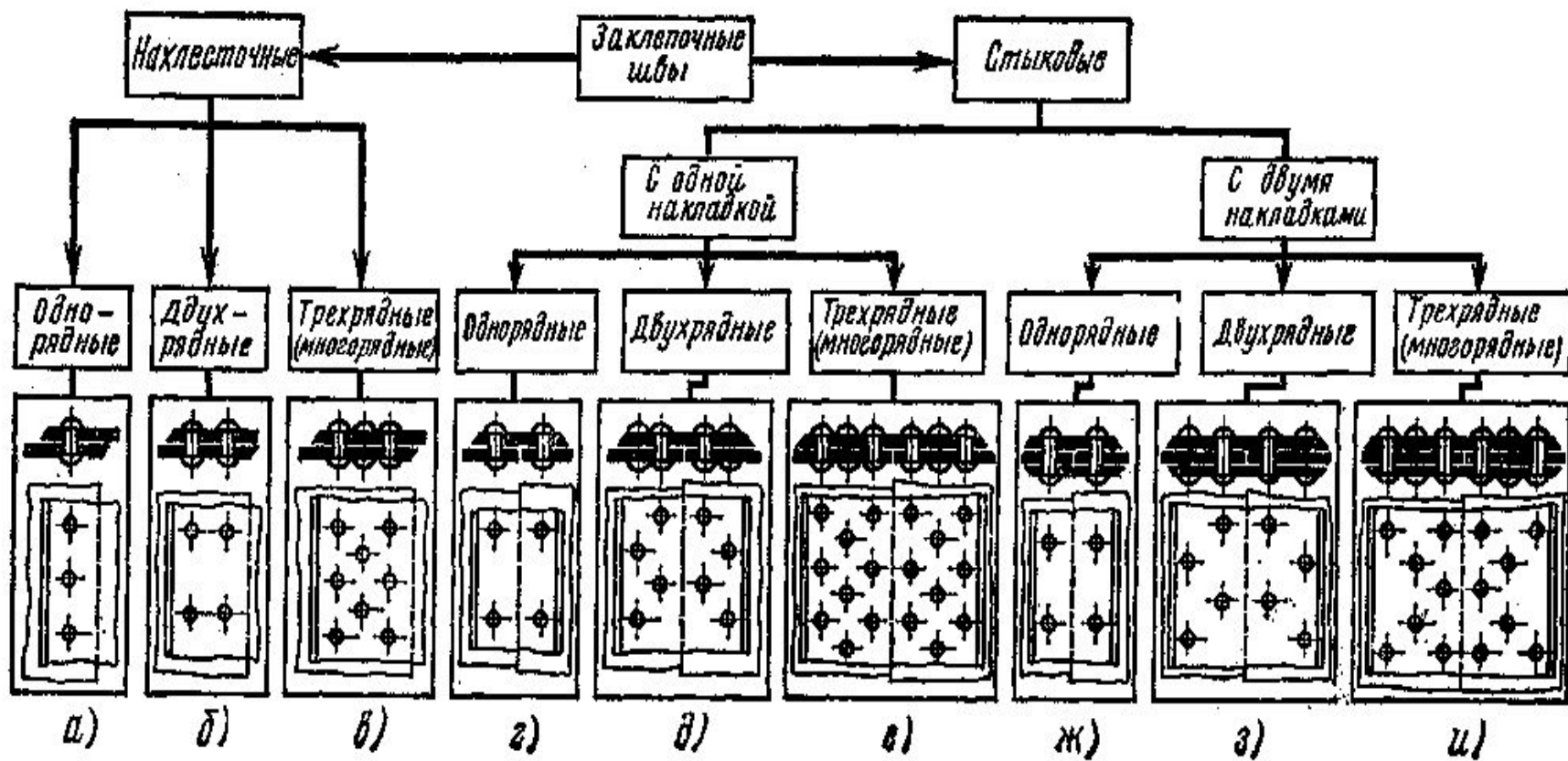
- Прочные;
- Плотные;
- Прочноплотные.

Прочные швы применяются при изготовлении металлоконструкций, машин, мостов, корпусов самолетов

Плотные швы применяются в тех случаях, где нужна герметичность: резервуары небольшой вместимости для жидкостей и газов с небольшим давлением.

Плотно-прочные швы применяются в тех случаях, когда требуется не только прочность, но и герметичность соединения: паровые котлы, обшивки морских судов и т.д.

# Классификация заклепочных швов



# Достоинства заклепочных соединений

- Высокая прочность и надежность соединения
- Простота контроля качества соединения
- Возможность соединения деталей из любых материалов
- Неизменность физико-химических свойств материалов соединения деталей
- Высокая работоспособность при ударных и повторно-переменных нагрузках

# Недостатки заклепочных соединений

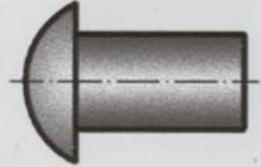
- Неполное использование материала соединяемых деталей в результате их ослабления заклепочными отверстиями
- Сложность технологического процесса изготовления клепочных конструкций
- Трудность соединения деталей сложность конструкции
- Дополнительное увеличение массы конструкций при соединении деталей встык
- Заклепки и соединяемые детали должны быть однородными с одинаковым температурным коэффициентом линейного расширения (возникают гальванические токи, разрушающие соединения)

Заклепки изготавливают из малоуглеродистых сталей Ст2, Ст3, 10 КП, из сплавов цветных металлов: алюминия, меди.

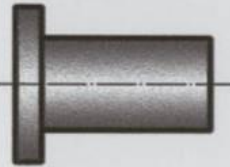
### ВИДЫ ЗАКЛЕПОК

#### Заклепки со сплошным стержнем

С полукруглой головкой



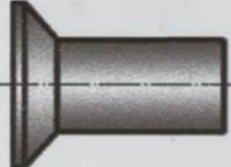
С цилиндрической головкой



С конической головкой



С потайной головкой

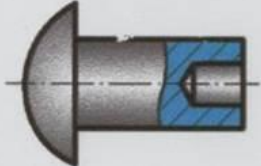


С полупотайной головкой



#### Заклепки полупустотелые

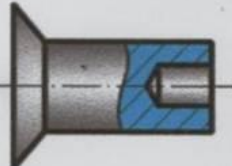
С полукруглой головкой



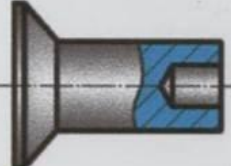
С цилиндрической головкой



С конической головкой



С потайной головкой

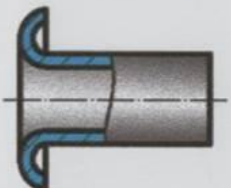


С полупотайной головкой

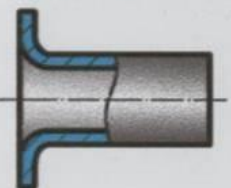


#### Заклепки пустотелые (пистоны)

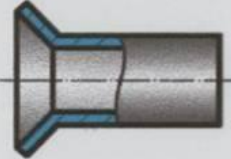
Со скругленной головкой



С плоской головкой

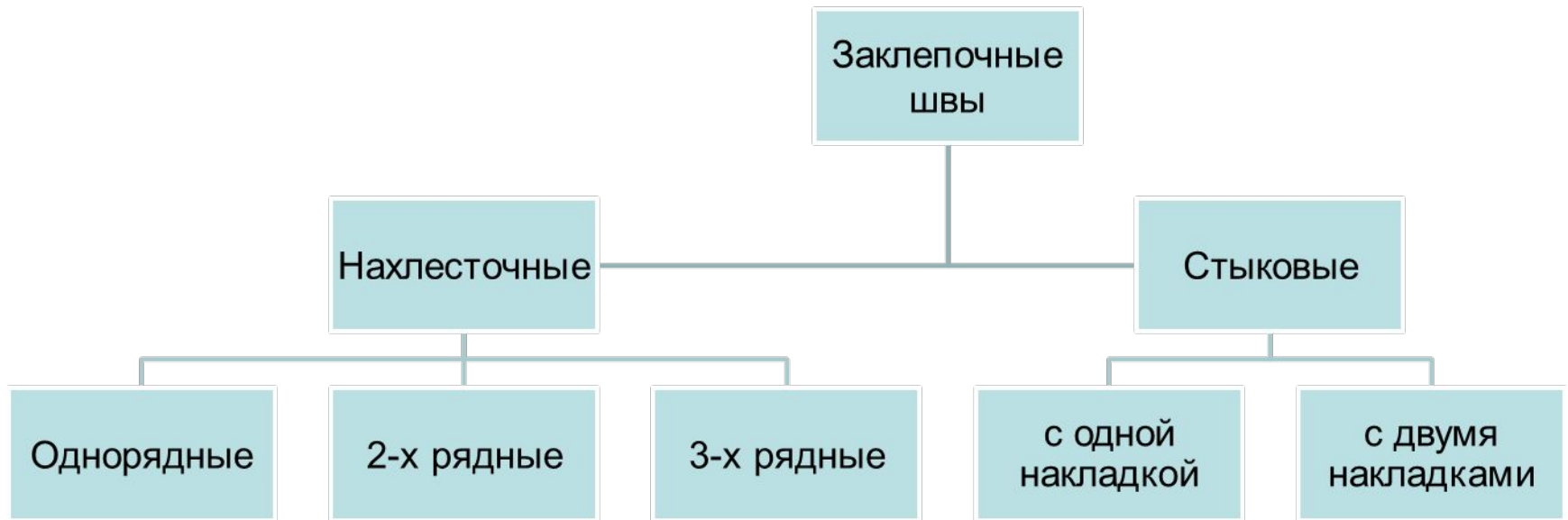


С потайной головкой



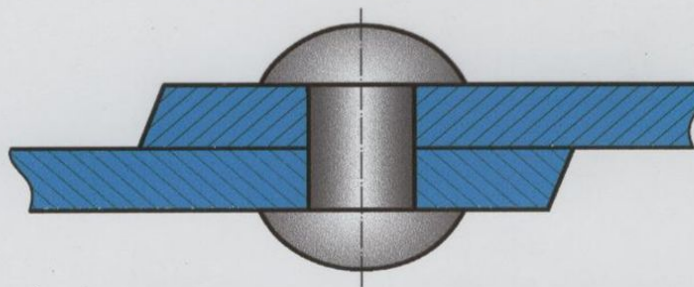


# Типы заклепочных соединений

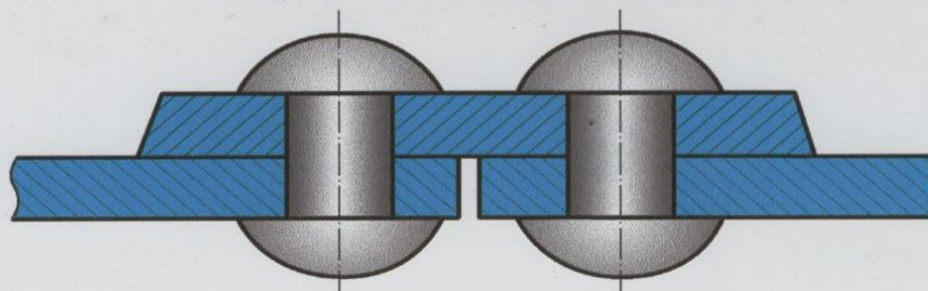


## ТИПЫ ЗАКЛЕПОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

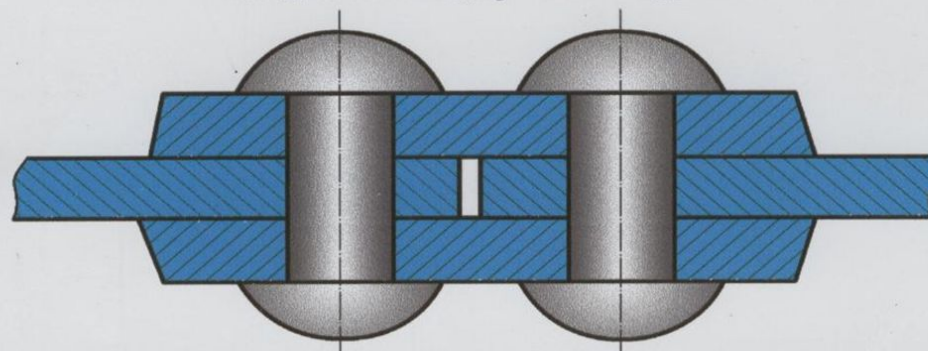
Соединение внахлестку



Соединение с одной накладкой

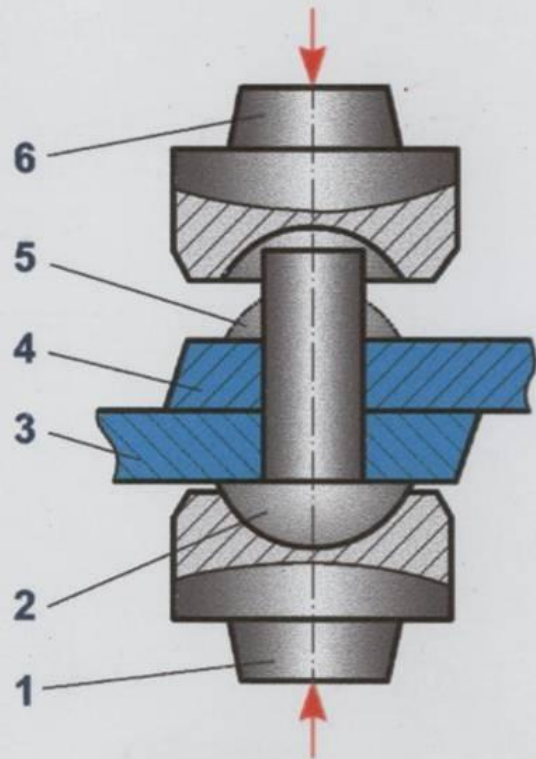


Соединение с двумя накладками



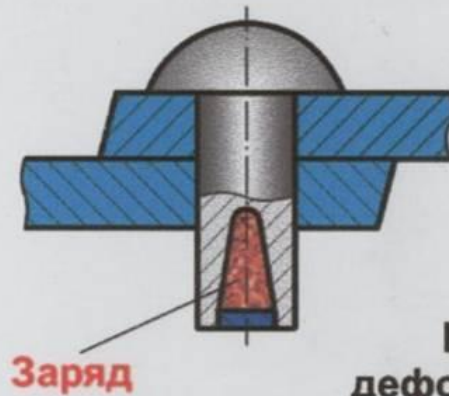
## СХЕМА ФОРМИРОВАНИЯ ЗАКЛЕПОЧНОГО СОЕДИНЕНИЯ

### Клепка обжимом

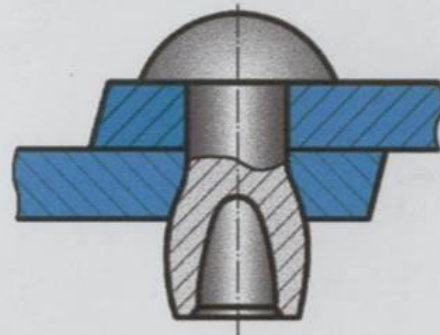


- 1 - поддержка;
- 2 - головка закладная;
- 3, 4 - соединяемые детали;
- 5 - головка замыкающая;
- 6 - обжимка.

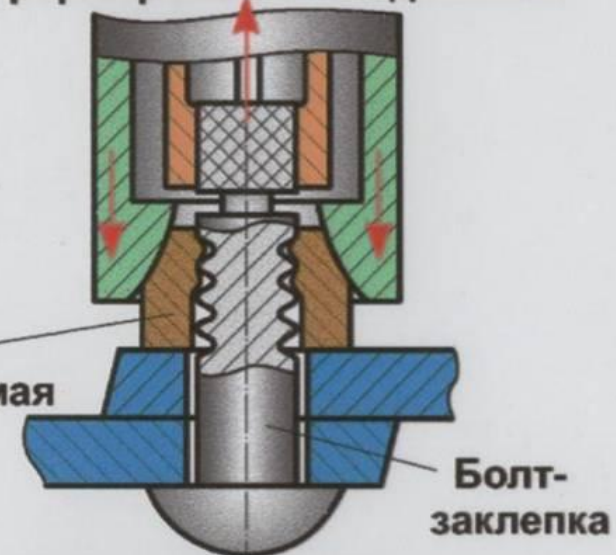
### Клепка взрывом Заклепка до взрыва



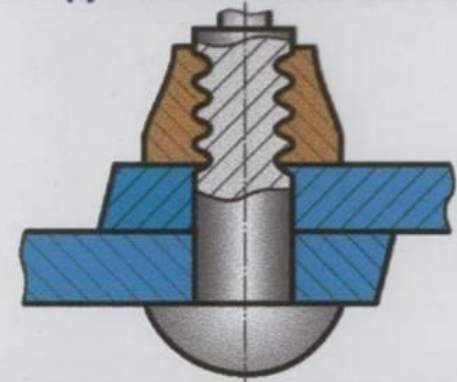
### Заклепка после взрыва



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

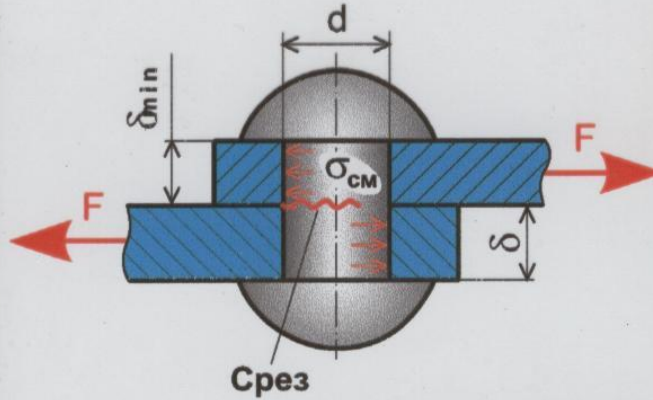


### Соединение болт-заклепка



# РАСЧЕТ ЗАКЛЕПОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА ПРОЧНОСТЬ

## Односрезное соединение - $i = 1$



**Срез**

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

**Смятие**

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

## Двухсрезное соединение - $i = 2$

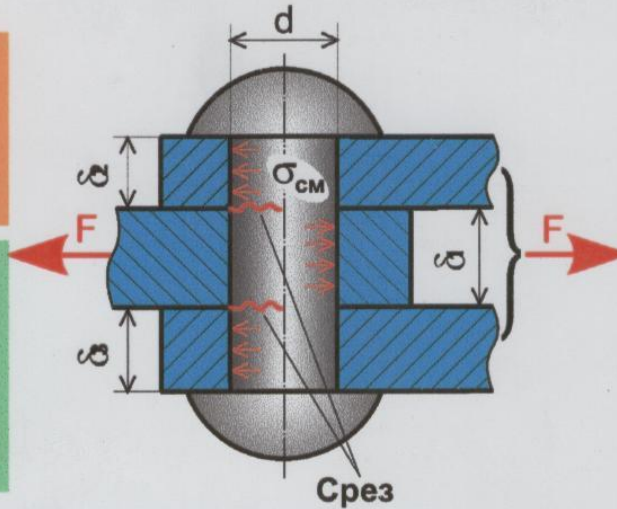
**Срез**

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

**Смятие**

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

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

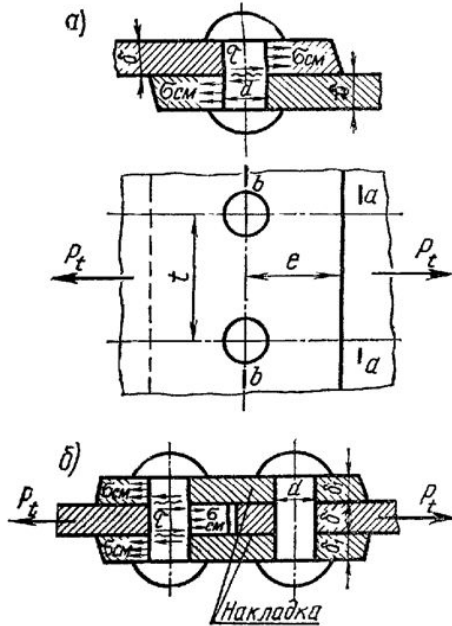


**Допускаемые напряжения** на срез и смятие для заклепок из пластичных малоуглеродистых сталей, МПа

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

Основными параметрами заклепочных швов является шаг  $t$ , диаметр заклепок  $d$ , толщина склепываемых деталей  $\delta_1$  и  $\delta_2$ .

Расчет заклепочных соединений ведут на срез и на смятие по формулам:



$$Q \leq \frac{\pi \cdot d^2 \cdot i \cdot n \cdot [\tau_{cp}]}{4}; Q \leq d \cdot \delta \cdot n \cdot [\sigma_{cm}],$$

где  $Q$  – нагрузка на соединение;

$d$  – диаметр заклепки;

$n$  – число заклепок;

$\delta$  – толщина склепываемого материала;

$i$  – число плоскостей среза заклепки;

$p$  – шаг заклепочного шва.

$$d = (1,8 \dots 2,2) \cdot \delta_{\text{мин}}; p = (3 \dots 6) \cdot d_0;$$

$$e = (1,5 \dots 2) \cdot d_0 \text{ до края}; e_1 = (3 \dots 6) d_0.$$

При отсутствии специальных указаний принимают:

$$[\tau_{cp}] = (0,7 \div 0,9) \cdot [\sigma_p]; [\sigma_{cm}] = (1,7 \div 2,0) \cdot [\sigma_p]$$

Оценка прочности спроектированного заклепочного шва – может быть произведена по коэффициенту прочности:

$$\varphi = \frac{p - n \cdot d}{p}; A_{\text{детна-растяж}} = \frac{F_0}{[\varphi] \cdot [\sigma_p]}$$

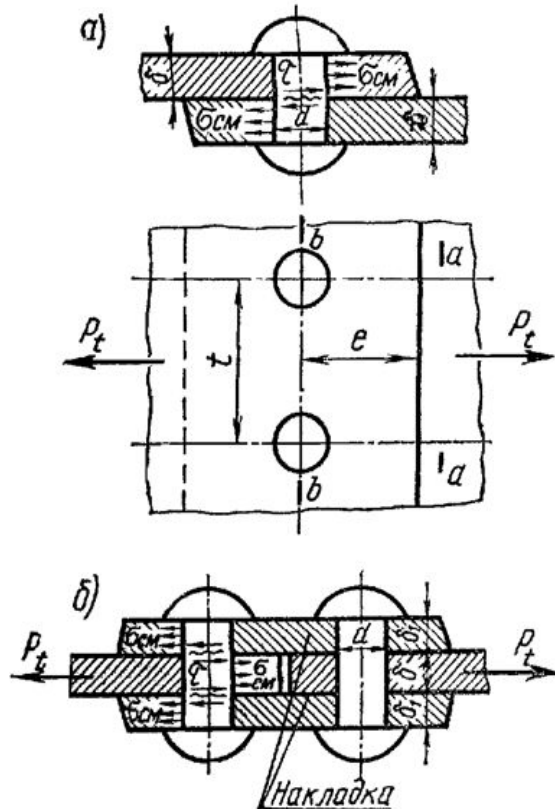
Для рационально спроектированного заклепочного шва коэффициент прочности  $\varphi$  должен быть равен:

однорядного 0,6 - 0,7;

двухрядного 0,7 - 0,75;

трехрядного 0,75 - 0,82.

# Расчет заклепочных соединений



Основными параметрами заклепочных швов является шаг  $t$ , диаметр заклепок  $d$ , толщина склепываемых деталей  $\delta_1$  и  $\delta_2$ .

Расчет заклепочных соединений ведут на срез и на смятие по формулам:

$$Q \leq \frac{\pi \cdot d^2 \cdot i \cdot n \cdot [\tau_{ср}]}{4}; Q \leq d \cdot \delta \cdot n \cdot [\sigma_{см}],$$

где  $Q$  – нагрузка на соединение;

$d$  – диаметр заклепки;

$n$  – число заклепок;

$\delta$  – толщина склепываемого материала;

$i$  – число плоскостей среза заклепки;

$p$  – шаг заклепочного шва.

$$d = (1,8 \dots 2,2) \cdot \delta_{\text{мин}}; p = (3 \dots 6) \cdot d_0;$$

$$e = (1,5 \dots 2) \cdot d_0 \text{ до края}; e_1 = (3 \dots 6) d_0.$$

При отсутствии специальных указаний принимают:

$$[\tau_{ср}] = (0,7 \div 0,9) \cdot [\sigma_p]; [\sigma_{см}] = (1,7 \div 2,0) \cdot [\sigma_p]$$

Оценка прочности спроектированного заклепочного шва – может быть произведена по коэффициенту прочности:

$$\varphi = \frac{p - n \cdot d}{p}; A_{\text{детна-растяж}} = \frac{F_0}{[\varphi] \cdot [\sigma_p]}$$

Для рационально спроектированного заклепочного шва коэффициент прочности  $\varphi$  должен быть равен:

однорядного 0,6 - 0,7;

двухрядного 0,7 - 0,75;

трехрядного 0,75 - 0,82.

# Пример расчета

Задача 61. Рассчитать и сконструировать стыковой заклепочный шов с одной накладкой, соединяющей две полосы: а)  $b \times s = 250 \times 8$  мм; б)  $b \times s = 400 \times 12$  мм, растягиваемых силой: а)  $Q = 100$  кН; б)  $Q = 250$  кН. Материал — сталь Ст2.

Решение. а) 1. Толщину накладки для односрезного стыкового шва определяем из соотношения

$$s_1 = 1,25s = 1,25 \cdot 8 = 10 \text{ мм.}$$

2. Определяем диаметр заклепки:

$$d \approx (1,8 \dots 2,2) s_{\min} = (1,8 \dots 2,2) 8 = 14,4 \dots 17,6 \text{ мм.}$$

По табл. П54 принимаем  $d = 16$  мм,  $d_0 = 17$  мм при грубой сборке.

3. По табл. П55 принимаем следующие допускаемые напряжения:  $[\sigma_p] = 140$  МПа;  $[\tau_{ср}] = 100$  МПа при продавленных отверстиях;  $[\sigma_{см}] = 210$  МПа для материала полосы.

4. Определяем количество заклепок:

а) из уравнения прочности на срез (при  $i = 1$ )

$$\tau_{ср} = Q / (z S_{ср}) = 4Q / (z i \pi d_0^2) \leq [\tau_{ср}],$$

получаем

$$z \geq 4Q / (\pi i d_0^2 [\tau_{ср}]) = 4 \cdot 100 \cdot 10^3 / (\pi \cdot 1 \cdot 17^2 \cdot 100) = 4,42;$$

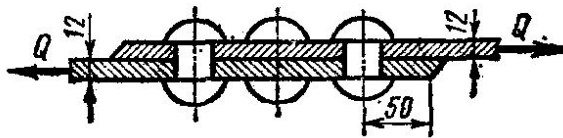
б) из уравнения прочности на смятие

$$\sigma_{см} = Q / (z S_{см}) = Q / (z d_0 s_{min}) \leq [\sigma_{см}]$$

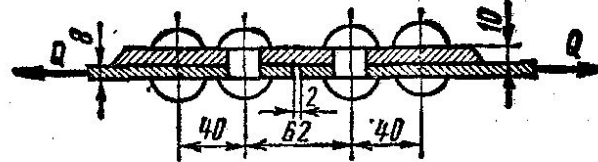
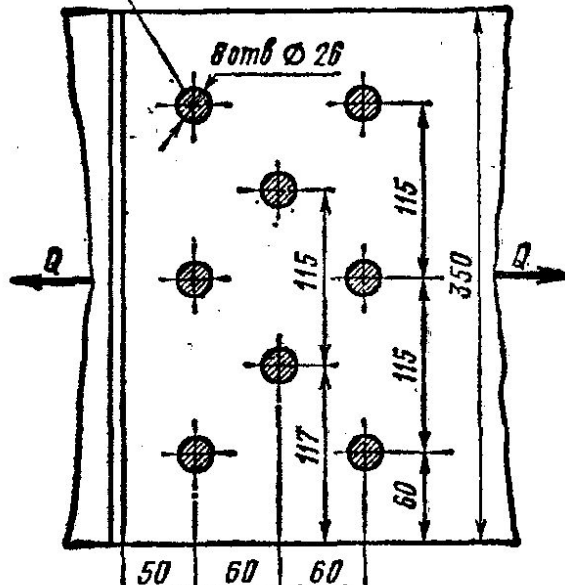
получаем при  $s_{min} = s$

$$z \geq Q / (d_0 s [\sigma_{см}]) = 100 \cdot 10^3 / (17 \cdot 8 \cdot 210) = 3,5.$$

Принимаем  $z = 5$  из условия прочности заклепок на срез.



Головки заклепок условно срезаны



Головки заклепок условно срезаны

