

# Тема: НЕРАЗЪЕМНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

1

## ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СОЕДИНЕНИЯХ

### 1. ЗАКЛЕПОЧНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

1.1. ОБРАЗОВАНИЕ ЗАКЛЕПОЧНОГО ШВА

1.2. ДОСТОИНСТВА, НЕДОСТАТКИ И ПРИМЕНЕНИЕ ЗАКЛЕПОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

1.3. ОСНОВНЫЕ ТИПЫ ЗАКЛЕПОК

1.4. КЛАССИФИКАЦИЯ ЗАКЛЕПОЧНЫХ ШВОВ

1.5. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О МАТЕРИАЛАХ ЗАКЛЕПОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

1.6. РАСЧЕТ ПРОЧНЫХ ЗАКЛЕПОЧНЫХ ШВОВ ПРИ ОСЕВОМ НАГРУЖЕНИИ СОЕДИНЯЕМЫХ ДЕТАЛЕЙ

1.7. ДОПУСКАЕМЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ ЗАКЛЕПОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

1.8. КОЭФФИЦИЕНТ ПРОЧНОСТИ ЗАКЛЕПОЧНОГО ШВА

1.9. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ПРОЕКТНОГО РАСЧЕТА ПРОЧНЫХ ЗАКЛЕПОЧНЫХ ШВОВ ПРИ ОСЕВОМ НАГРУЖЕНИИ

1.10. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО КОНСТРУИРОВАНИЮ ЗАКЛЕПОЧНЫХ ШВОВ

1.11 ПРИМЕР РАСЧЕТА ЗАКЛЕПОЧНОГО СОЕДИНЕНИЯ

### 2. СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

2.1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ

2.2. ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

2.3. ПРИМЕНЕНИЕ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

2.4. КОНСТРУКТИВНЫЕ РАЗНОВИДНОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И ТИПЫ ШВОВ

2.5. РАСЧЕТ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ ОСЕВОМ НАГРУЖЕНИИ СОЕДИНЯЕМЫХ ДЕТАЛЕЙ

2.6. ДОПУСКАЕМЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

2.7. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ПРОЕКТНОГО РАСЧЕТА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ ОСЕВОМ НАГРУЖЕНИИ

2.7. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО КОНСТРУИРОВАНИЮ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

2.8. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

### 3. КЛЕЕВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

В процессе изготовления машины некоторые ее детали соединяют между собой, при этом образуются неразъемные или разъемные соединения.

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

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

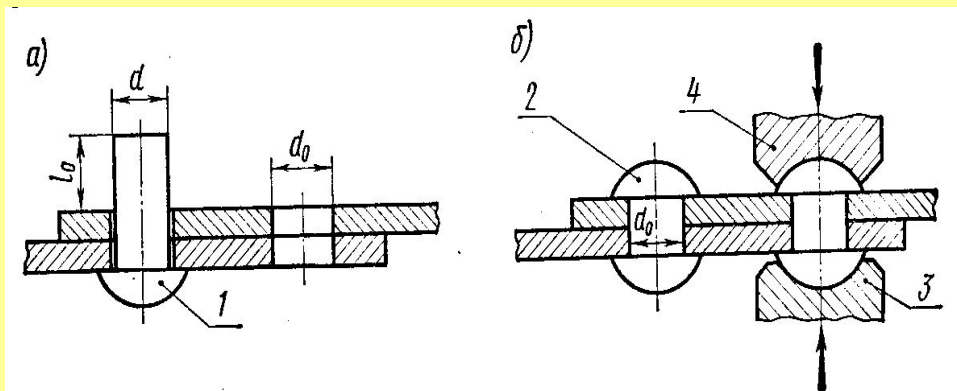
В настоящем курсе шпоночные и зубчатые соединения рассматриваются после расчета валов и осей.

Заклепочный шов образуют заклепки и склепываемые детали, выполненные в большинстве случаев из листового материала или профилей проката (рис.).

Отверстия под заклепки в деталях продавливают или сверлят.

При продавливании образуются мелкие трещины по периферии отверстий, которые могут быть причиной разрушения заклепочного шва во время работы. Продавленные отверстия применяют в малоответственных конструкциях.

Сверление — процесс малопроизводительный и дорогой. Сверленные отверстия применяют в конструкциях, где требуется высокая надежность. При больших диаметрах отверстий практикуют продавливание с последующим рассверливанием.

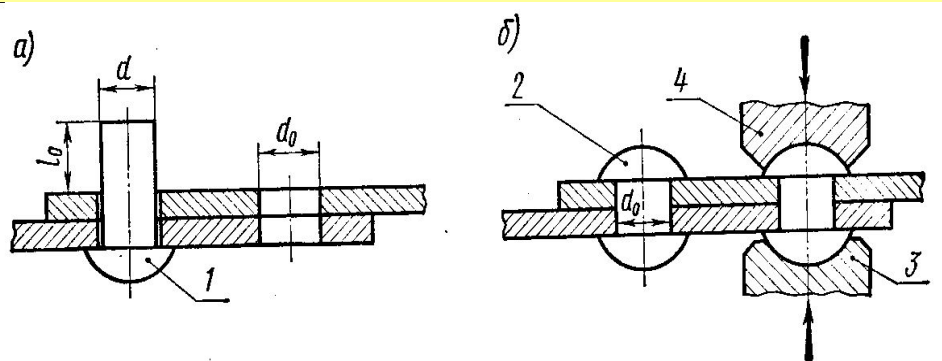


- а - закладка заклепки; б -  
клепка;  
1 - закладная головка;  
2 - замыкающая головка;  
3 — поддержка; 4 — обжимка

# ОБРАЗОВАНИЕ ЗАКЛЕПОЧНОГО ШВА

Диаметры отверстий  $d_0$  под заклепки принимают в зависимости от диаметра заклепки  $d$  (ГОСТ 10299 – 68).

Для образования замыкающей головки выступающий конец заклепки (рис. а) должен выходить из отверстия детали на длину  $l_0 = 1,5d_0$ . Заклепку производят па клепальных машинах (прессах) или вручную (пневматическими молотками). Сначала происходит осадка стержня, зазор между заклепкой и отверстием заполняется, после чего образуется замыкающая головка (рис. б). Стальные заклепки диаметром до 12 мм можно ставить холодным способом, то же относится к заклепкам из цветных металлов и сплавов. При горячем способе стальные заклепки нагревают до светло-красного каления. Этот способ обеспечивает более высокое качество заклепочного шва, так как заклепки укорачиваются при остывании и стягивают детали, создавая на стыке их поверхностей большие силы трения, препятствующие относительному сдвигу деталей при действии нагрузки.



- а - закладка заклепки; б –  
клепка;  
1 - закладная головка;  
2 - замыкающая головка;  
3 — поддержка; 4 — обжимка

## ДОСТОИНСТВА, НЕДОСТАТКИ И ПРИМЕНЕНИЕ 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 дорого-стоящего 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.

# ОСНОВНЫЕ ТИПЫ ЗАКЛЕПОК

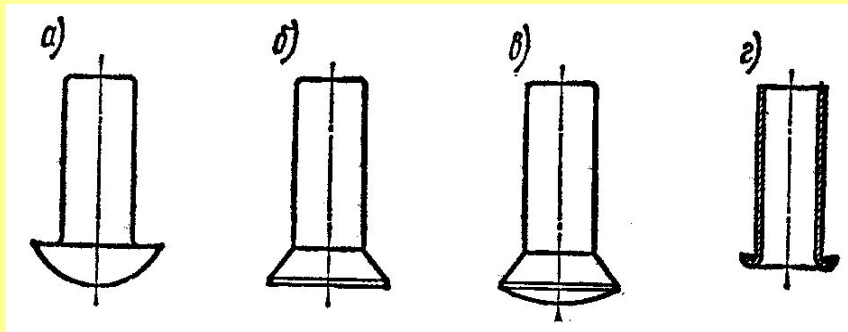
Форма головки выбирается в зависимости от назначения заклепочного шва и определяет тип заклепки.

Наибольшее применение имеют заклепки с полукруглыми головками (рис. а).

Заклепки с потайными головками (рис. б) применяют тогда, когда конструктивно недопустимы выступы головок.

Трубчатые заклепки (рис. г) применяют в слабонагруженных металлических соединениях, а также в соединениях неметаллических материалов (фибра, текстолит и др.).

Замыкающая головка трубчатой заклепки получается развальцовкой свободного конца. Все заклепки стандартизированы (см. справочную литературу и др.).



Основные типы заклепок:

а - с полукруглой головкой;

б - с потайной головкой;

в - с полупотайной головкой;

г - трубчатая

# КЛАССИФИКАЦИЯ ЗАКЛЕПОЧНЫХ ШВОВ

В зависимости от назначения заклепочные швы бывают:

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

**плотные**, обеспечивающие прочность и герметичность, которые применяются в различных резервуарах. В настоящее время плотные заклепочные швы заменяют сварными соединениями.

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 параллельные (см. рис. 2) и шахматные (см. рис. 3).

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

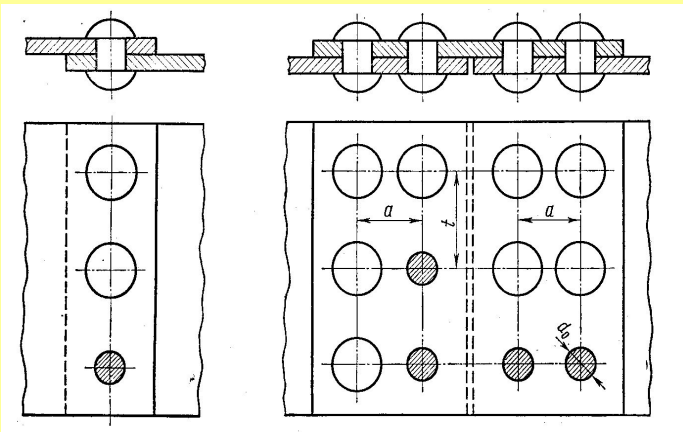


Рис. 1.

Рис. 2.

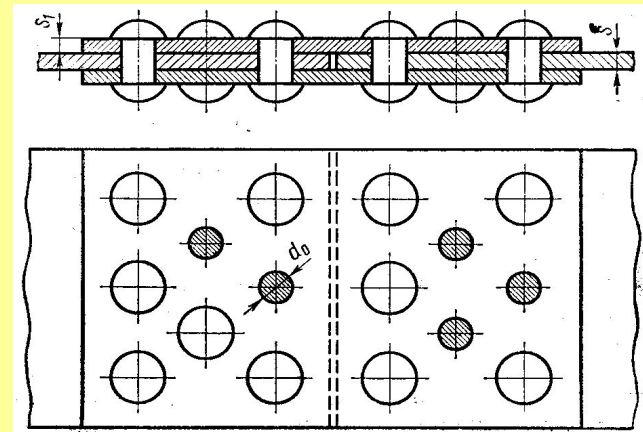


Рис. 3.

## Материалы склепываемых деталей и заклепок

Основными материалами склепываемых деталей являются малоуглеродистые стали Ст.0, Ст.2, Ст.3, 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 Ст.2, Ст.3, 10кп, 20кп, из сплавов цветных металлов Л62, МЗ, АД1 и др.



## РАСЧЕТ ПРОЧНЫХ ЗАКЛЕПОЧНЫХ ШВОВ ПРИ ОСЕВОМ НАГРУЖЕНИИ СОЕДИНЯЕМЫХ ДЕТАЛЕЙ

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

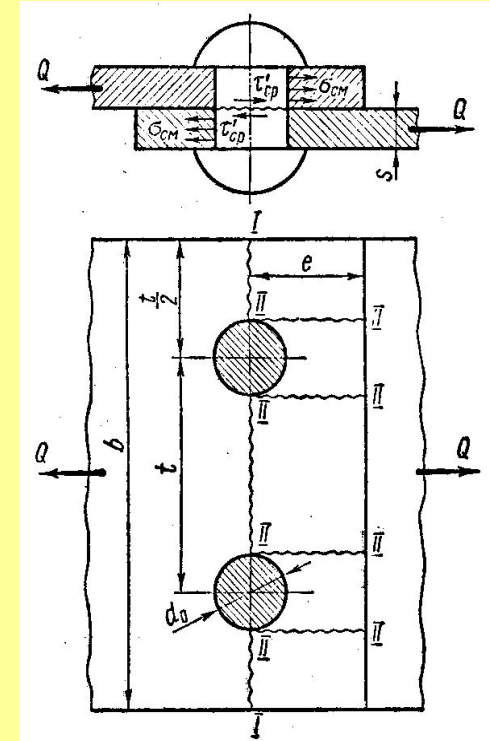
1. Силы трения на стыке деталей не учитывают, считая, что вся нагрузка передается только заклепками.
  2. Расчетный диаметр заклепки равен диаметру отверстия  $d_0$ .
  3. Нагрузка между заклепками распределяется равномерно.
- Рассмотрим простейший заклепочный шов - однорядный односрезный внахлестку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

При нагружении шва осевой силой  $Q$  детали (листы) стремятся сдвинуться относительно друг друга. При этом условия прочности элементов шва имеют следующий вид:

- а) На смятие поверхностей заклепок и стенок отверстий

$$\sigma'_{см} = \frac{Q}{sd_0z} \leq [\sigma]_{см}$$

где  $s$  - меньшая из толщин склепываемых деталей в мм;  $d_0$  - диаметр отверстия под заклепку в мм;  $z$  - число заклепок;  $\sigma'_{см}$  и  $[\sigma]_{см}$  - расчетное и допускаемое напряжения на смятие в н/мм<sup>2</sup> (МПа) для менее прочного из контактирующих материалов, т.е. для деталей или для заклепок.



## РАСЧЕТ ПРОЧНЫХ ЗАКЛЕПОЧНЫХ ШВОВ ПРИ ОСЕВОМ НАГРУЖЕНИИ СОЕДИНЯЕМЫХ ДЕТАЛЕЙ

б) на срез заклепок

$$\tau'_{cp} = \frac{Q}{i \frac{\pi d_0^2}{4}} \leq [\tau]'_{cp}$$

где  $i$  - число плоскостей среза одной заклепки (на рис.  $i=1$ );  
 $\tau'_{cp}$  и  $[\tau]'_{cp}$  - расчетное и допускаемое напряжения на срез в н/мм<sup>2</sup> (МПа) для заклепок.

в) на растяжение в деталях (см. сечение I – I на рис.)

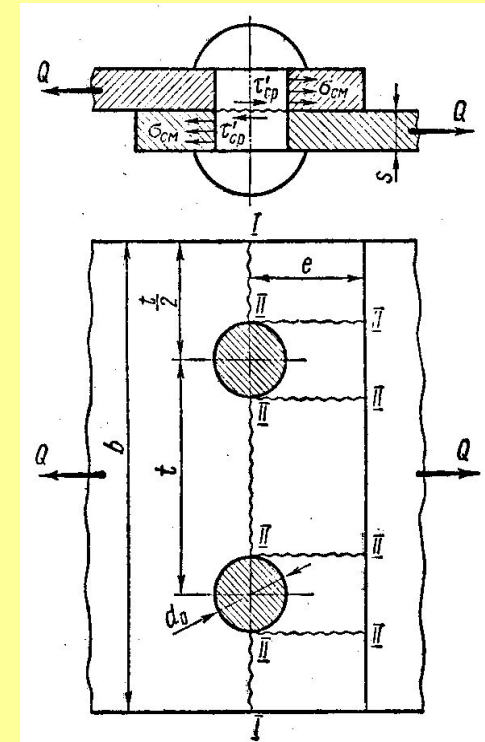
$$\sigma_p = \frac{N}{s(t - d_0)m} \leq [\sigma]_p$$

где  $N$  – продольная сила, возникающая в том сечении, где определяется  $\sigma_p$  (на рис. 1.6 в сечении I—I  $N=Q$ );

$t$  - шаг шва в мм,

$m$  - число отверстий в сечении, в котором определяется  $\sigma_p$  (на рис.  $m=2$ )

$\sigma_p$  и  $[\sigma]_p$  - расчетное и допускаемое напряжения на растяжение в н/мм<sup>2</sup> (МПа) для соединяемых деталей.



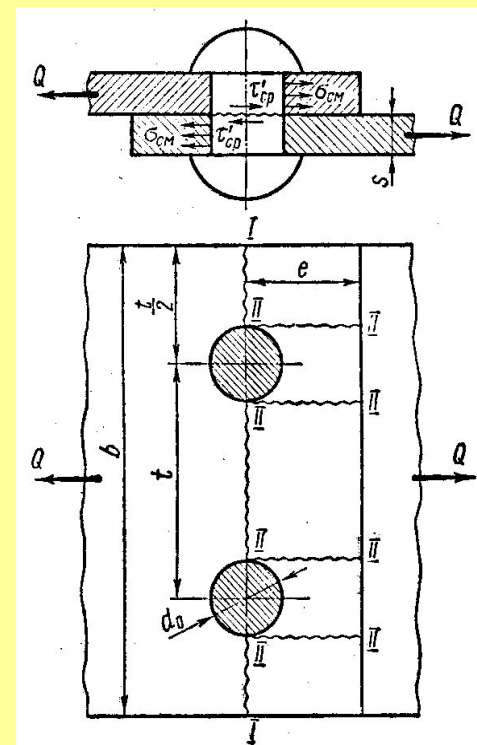
## РАСЧЕТ ПРОЧНЫХ ЗАКЛЕПОЧНЫХ ШВОВ ПРИ ОСЕВОМ НАГРУЖЕНИИ СОЕДИНЯЕМЫХ ДЕТАЛЕЙ

г) На срез края детали одновременно по двум сечениям II—II (см. рис.). Поскольку распределение напряжений среза в указанных сечениях весьма сложно, то для надежности расчета принимают, что срез может произойти по длине ( $e = d_0/2$ ):

$$\tau_{сд} = \frac{Q_0}{2s(e - \frac{d_0}{2})} \leq [\tau]_{нд}$$

где  $Q_0 = Q/z$  - усилие, приходящееся на одну заклепку,

$\tau_{ср}$  и  $[\tau]_{ср}$  — расчетное и допускаемое напряжения на срез в н/мм<sup>2</sup> (МПа) для соединяемых деталей.



## РАСЧЕТ ПРОЧНЫХ ЗАКЛЕПОЧНЫХ ШВОВ ПРИ ОСЕВОМ НАГРУЖЕНИИ СОЕДИНЯЕМЫХ ДЕТАЛЕЙ

На практике при расчете прочных заклепочных швов пользуются следующими соотношениями, полученными совместным решением приведенных выше уравнений при условии равнопрочности всех элементов шва (например, решая совместно уравнения (1.1) и (1.2) при  $i=1$  т. е. предъявляя требование равнопрочности поверхностей отверстий на смятие и заклепок на срез, получаем  $d_0 = 2,5s$ ; практически принимают  $d_0 = 2s$ ):

1. Диаметр отверстий под заклепки для швов внахлестку (см. рис. 1.6) или с одной накладкой (см. рис.)  $d_0 \approx 2s$
2. Шаг заклепочного шва (см. рис.)  $t = (3 \div 6)d_0$
3. Расстояние от края детали до оси заклепки (см. рис.) при продавленных отверстиях

$$e = 2d_0$$

при сверленных отверстиях

$$e = 1,65d_0$$

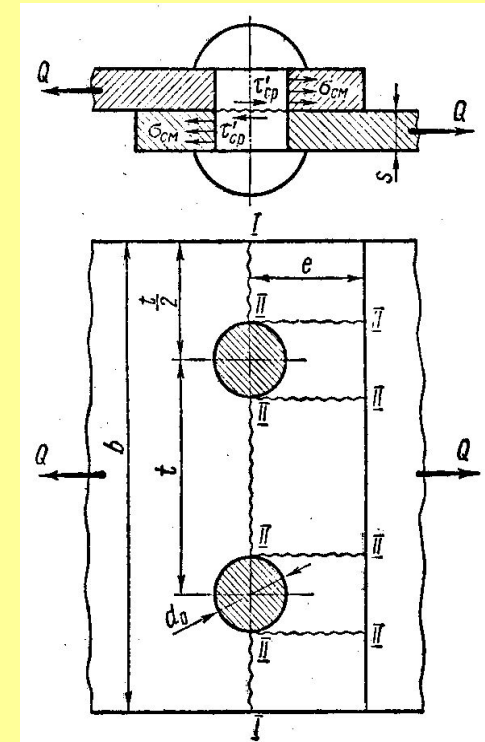
4. Расстояние между рядами заклепок (см. рис.)

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

5. Толщина накладок (см. рис.)

$$s_1 = 0,8s$$

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



# ДОПУСКАЕМЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ ЗАКЛЕПОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Допускаемые напряжения для прочных и плотных швов различны.

В табл. приводятся допускаемые напряжения для прочных стальных заклепочных швов в зависимости от марки стали, характера нагрузки и способа изготовления отверстий под заклепки.

Таблица

Элемент шва	Вид деформации и напряжения	Способ изготовления отверстия	Допускаемые напряжения н/мм <sup>2</sup>	
			Ст.2	Ст.3
Склепываемые детали	Растяжение $[\sigma]_p$	—	140	90
	Срез $[\sigma]_{cp}$	—	160	100
Заклепки	Срез $[\tau]_{cp}$	Продавливание	100	140
			Сверление	100
	Смятие $[\sigma]_{cm}$	Продавливание	240	280
			Сверление	280

**Примечание.** При действии переменных нагрузок допускаемые напряжения уменьшают на 10-25 %.

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  $d_0$  (см. рис. 1.6.), следовательно, Чем больше значение  $\varphi$ , тем лучше использован материал склепываемых 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

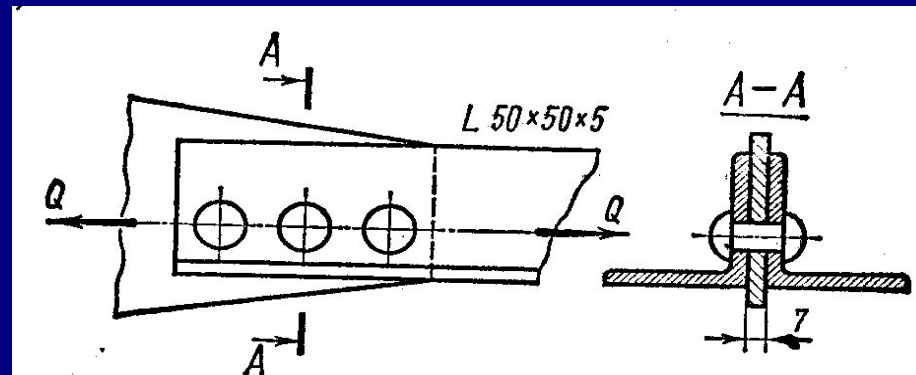
$$F = \frac{Q}{\phi[\sigma]_p}$$

3. По рекомендуемым соотношениям определяют размеры элементов шва:  
Диаметр отверстий под заклепки для швов внахлестку или с одной накладкой  $d_0 \approx 2s$ .  
Шаг заклепочного шва  $t = (3 \div 6)d_0$ . Расстояние от края детали до оси заклепки: при продавленных отверстиях  $e = 2d_0$ , при сверленых 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 заклепочный шов:
  - а) на растяжение деталей
  - б) на срез деталей заклепками

# РЕКОМЕНДАЦИИ ПО КОНСТРУИРОВАНИЮ ЗАКЛЕПОЧНЫХ ШВОВ

16

1. Заклепки в шве располагаются так, чтобы ослабление соединяемых деталей отверстиями было наименьшим.
2. Во избежание возникновения изгиба соединяемых деталей заклепки располагают на оси, проходящей через центр тяжести склепываемых деталей или симметрично относительно этой оси (см. рис.).
3. Не рекомендуется в одном шве применять заклепки разных диаметров.
4. Для предотвращения поворота соединяемых деталей относительно друг друга, число заклепок в шве принимают не менее двух, т.е.  $z \geq 2$ .





Сварные соединения в настоящее время представляют собой основной тип неразъемных соединений. Они образуются путем местного нагрева деталей в зоне их соединения. В современном машиностроении применяют различные способы сварки, из которых наибольшее распространение получила электрическая сварка. Технологические процессы различных способов сварки и области их применения рассматриваются в курсе «Технология металлов и конструкционные материалы».

Основные виды электросварки—дуговая и контактная. Различают три разновидности дуговой сварки:

1. Автоматическая сварка под слоем флюса. Этот метод сварки высокопроизводителен и экономичен, дает хорошее качество шва. Применяется в крупносерийном и массовом производстве для конструкций с длинными швами.
2. Полуавтоматическая сварка под слоем флюса. Применяется для конструкций с короткими прерывистыми швами.
3. Ручная сварка. Применяется в тех случаях, когда другие способы дуговой сварки нерациональны. Этот метод сварки малопроизводителен. Качество шва зависит от квалификации сварщика.

Для дуговой сварки применяют электроды с различной обмазкой, которые маркируют по ГОСТ 9467—60. Для сварки конструкционных сталей рекомендуются электроды: Э34, Э42, Э42А, Э46, Э46А, Э350, Э50А, Э55 и др. Число после буквы Э обозначает минимальный гарантируемый предел прочности металла шва в кГ/мм<sup>2</sup>. Буква А обозначает гарантируемое получение повышенных пластических свойств металла шва.

Контактная сварка применяется в серийном и массовом производстве при соединении внахлестку тонкого листового металла (точечная, роликовая сварки) или при соединении встык круглого и полосового металла (стыковая сварка).

## ДОСТОИНСТВА, НЕДОСТАТКИ И ПРИМЕНЕНИЕ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

### Достоинства:

1. Невысокая стоимость соединения благодаря малой трудоемкости процесса сварки простоты конструкции сварного шва.
2. Сравнительно небольшая масса конструкции (на 20/25 % меньше массы клепаной), так как:
  - а) поскольку отсутствуют отверстия под заклепки, требуется меньшая площадь сечений свариваемых деталей;
  - б) соединение деталей может выполняться встык без накладок
  - в) отсутствуют выступающие массивные головки заклепок.
3. Герметичность и плотность соединения.
4. Возможность автоматизации процесса сварки,
5. Возможность сварки толстых профилей.

### Недостатки:

1. Прочность сварного соединения зависит от квалификации сварщика. Применение автоматической сварки устраняет этот недостаток.
2. Коробление деталей из-за неравномерности нагрева в процессе сварки.
3. Недостаточная надежность при значительных вибрационных и ударных нагрузках. По мере совершенствования процесса сварки этот недостаток проявляется в меньшей степени.

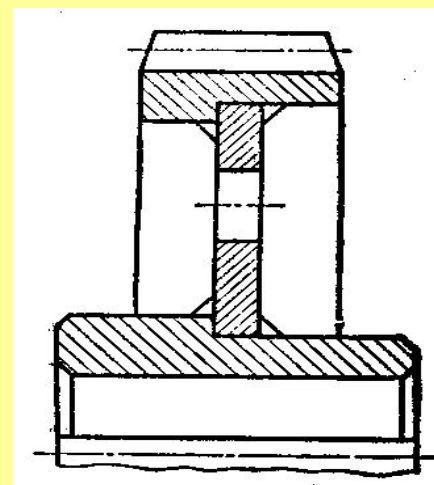
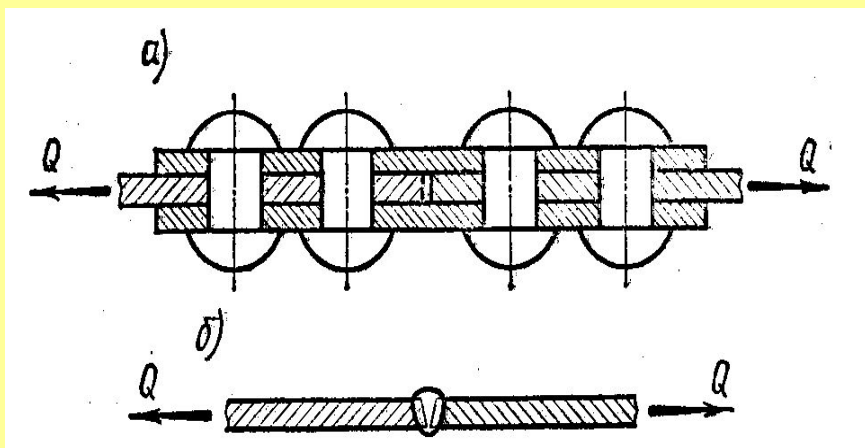
### ПРИМЕНЕНИЕ

В настоящее время заклепочные соединения применяют:

1. В конструкциях, воспринимающих значительные вибрационные и ударные нагрузки при высоких требованиях к надежности соединения.

В современном машиностроении, в строительных конструкциях и в других отраслях промышленности сварные соединения вытеснили заклепочные, за исключением особых случаев, оговоренных выше. В настоящее время сварку широко применяют как способ получения заготовок деталей из проката в мелкосерийном и единичном производстве, а также в ремонтном деле. Сварными выполняют станины, рамы, корпуса редукторов, шкивы, зубчатые колеса (рис. 2.), коленчатые валы и другие детали.

В массовом производстве применяют штампосварные детали, полученные дуговой автоматической или контактной сваркой.



# КОНСТРУКТИВНЫЕ РАЗНОВИДНОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И ТИПЫ ШВОВ

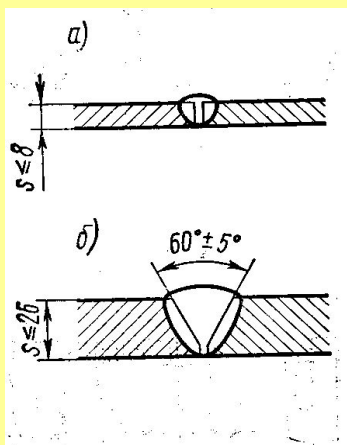
В зависимости от взаимного расположения соединяемых элементов применяют следующие конструктивные разновидности сварных соединений (см. ГОСТ 8713—70, ГОСТ 5264—69):

1. **Стыковые соединения.** Эти соединения просты и наиболее совершенны. На рис. показаны различные варианты стыковых швов, выполняемых ручной электродуговой сваркой при различной толщине соединяемых элементов.

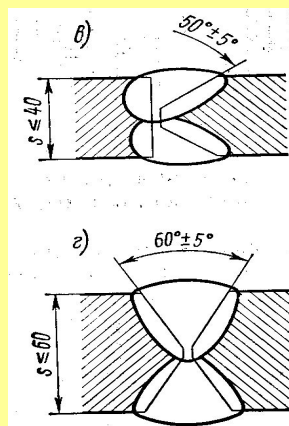
При автоматической сварке происходит более глубокое проплавление металла, поэтому толщину свариваемых деталей без обработки кромок увеличивают примерно в два раза по сравнению с ручной, а при обработке кромок угол их скоса уменьшают.

Выпуклость стыкового шва увеличивает концентрацию напряжений, поэтому в ответственных соединениях ее удаляют механическим способом.

Соединения встык наиболее надежные из всех сварных соединений, их рекомендуют в конструкциях, подверженных вибрационным нагрузкам.



а- односторонний без скоса кромок;  
б- односторонний со скосом кромок;



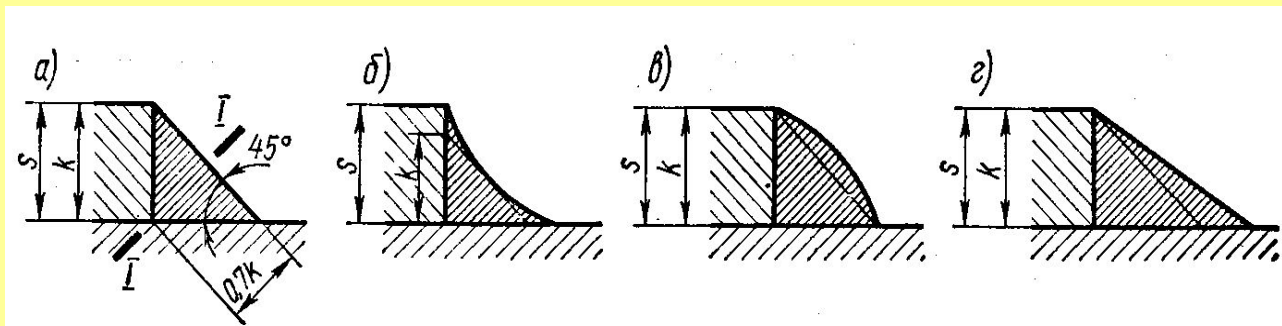
в- двусторонний с двумя симметричными скосами одной кромки;  
г- двусторонний с двумя симметричными скосами двух кромок.

# КОНСТРУКТИВНЫЕ РАЗНОВИДНОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И ТИПЫ ШВОВ

2. Соединения **внахлестку**. Эти соединения выполняют угловыми швами, которые могут иметь различную форму сечения:

- а) *нормальные* (рис. 2.4, а), их профиль представляет собой равнобедренный треугольник;
- б) *вогнутые* (рис. 2.4, б); их применяют в особо ответственных конструкциях при переменных нагрузках, так как вогнутость обеспечивает плавный переход шва в основной металл детали, благодаря чему снижается концентрация напряжения. Вогнутый шов повышает стоимость соединения, так как требует глубокого провара и последующей механической обработки для получения вогнутости;
- в) *выпуклые* (рис. 2.4, в); они не рациональны, так как вызывают повышенную концентрацию напряжений;
- г) *специальные* (рис. 2.4, г); их профиль представляет собой неравнобедренный треугольник. Применяются при переменных нагрузках, так как значительно снижают концентрацию напряжения.

За катет шва  $k$  принимают меньшую сторону вписанного в сечение шва равнобедренного треугольника (см. рис. 2.4, г). В большинстве случаев величину  $k$  принимают равной толщине  $s$  свариваемых деталей, но не менее 3 мм.

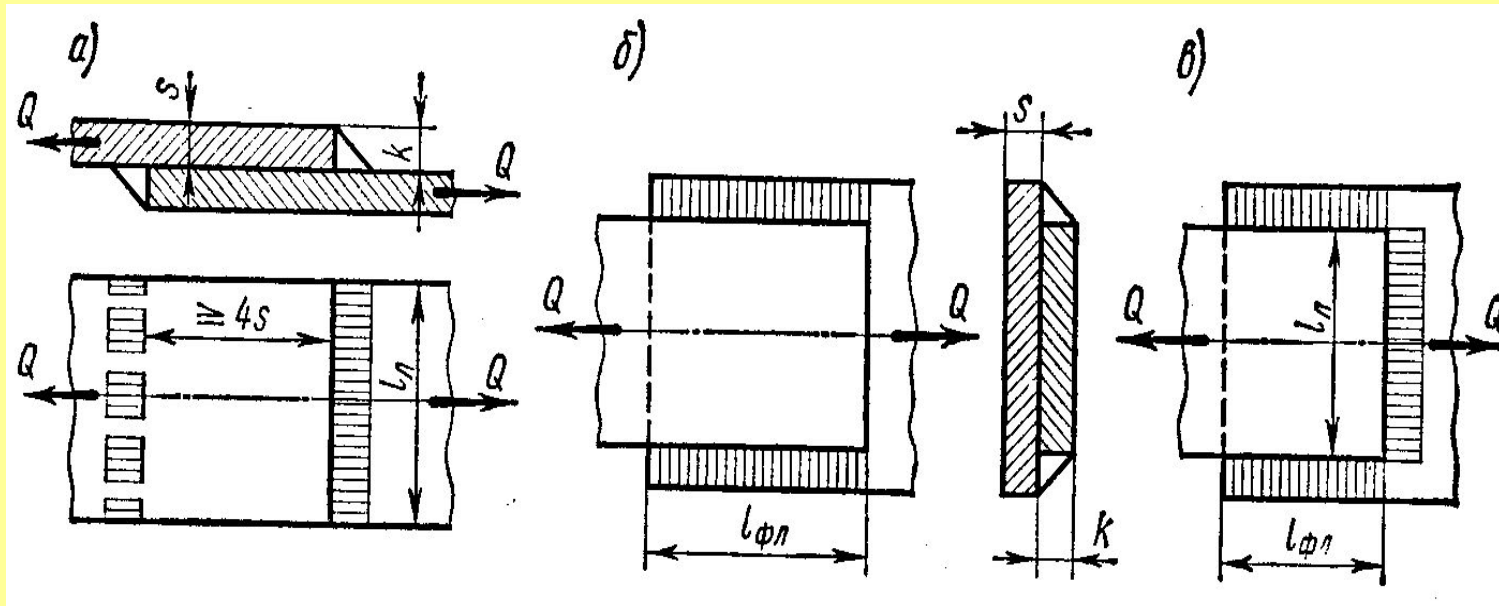


# КОНСТРУКТИВНЫЕ РАЗНОВИДНОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И ТИПЫ ШВОВ

В зависимости от расположения относительно нагрузки угловые швы бывают:

- а) *лобовые*, расположенные перпендикулярно к линии действия нагрузки  $Q$  (рис. 2.5, а);
- б) *фланговые*, расположенные параллельно линии действия нагрузки  $Q$  (рис. 2.5, б);
- в) *комбинированные*, состоящие из сочетания лобовых и фланговых швов (рис. 2.5, в).

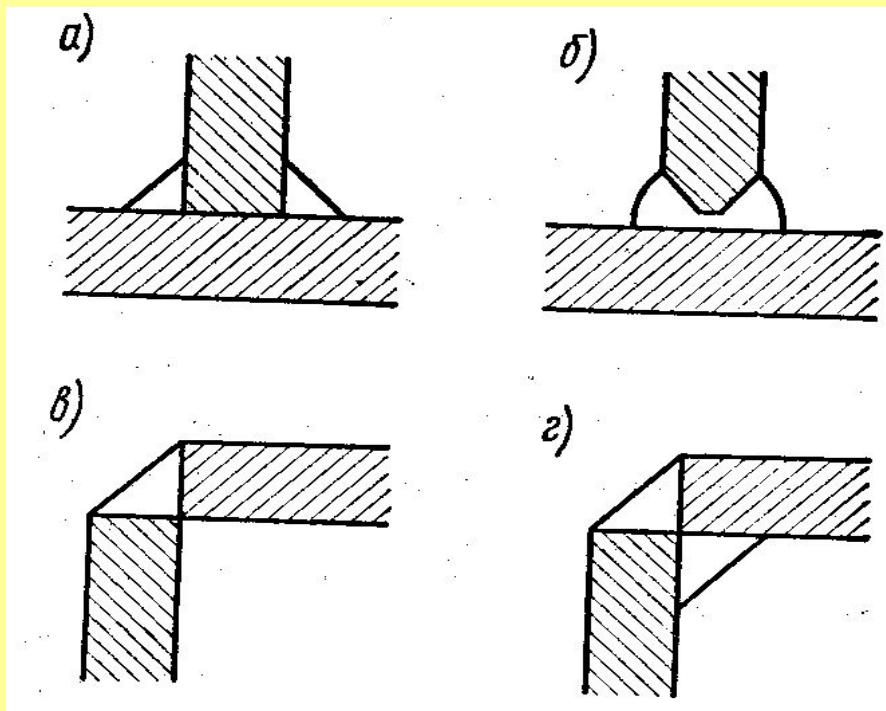
При соединении внахлестку возникает изгибающий момент  $M_{и} = Qs$  (см. рис. 2.5, а) от внецентренного действия растягивающих или сжимающих сил, что является существенным недостатком этих соединений.



## КОНСТРУКТИВНЫЕ РАЗНОВИДНОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И ТИПЫ ШВОВ

3. **Тавровые соединения.** Свариваемые элементы располагаются во взаимно перпендикулярных плоскостях. Соединение может выполняться угловыми (рис. 2.6, а) или стыковыми (рис. 2.6, б) швами.

4. **Угловые соединения** (рис. 2.6, в, г). Применяются для изготовления тары из листовой стали, ограждений и др. выполняются угловыми швами. Эти соединения малые нагрузки и по этому не рассчитываются на прочность.



## РАСЧЕТ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ ОСЕВОМ НАГРУЖЕНИИ СОЕДИНЯЕМЫХ ДЕТАЛЕЙ

Основным критерием работоспособности сварных швов является прочность. Расчет на прочность основан на допущении, что напряжения в шве распределяются равномерно как по длине, так и по сечению.

**Соединения встык.** Расчет стыковых швов (рис.) производят на растяжение или сжатие по сечению соединяемых деталей без учета утолщения шва. Условие прочности шва на растяжение

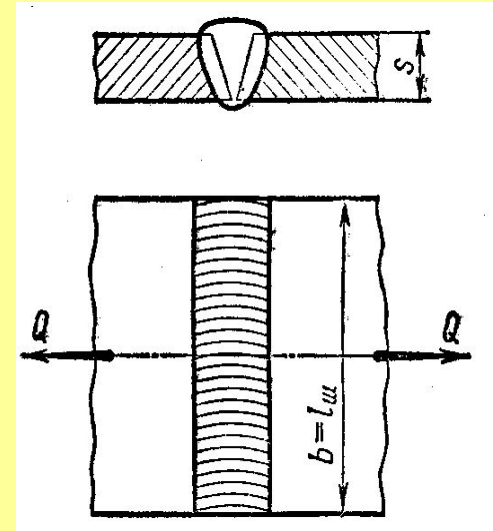
$$\sigma'_p = \frac{Q}{sl_\sigma} \leq [\sigma]'_p$$

где  $Q$  - осевая растягивающая нагрузка;

$s$  - толщина шва (принимается равной толщине детали);

$l_\sigma$  - длина шва;

$[\sigma]'$  - расчетное и допускаемое напряжения на растяжение для шва (см. табл. ГОСТ).





## РАСЧЕТ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ ОСЕВОМ НАГРУЖЕНИИ СОЕДИНЯЕМЫХ ДЕТАЛЕЙ

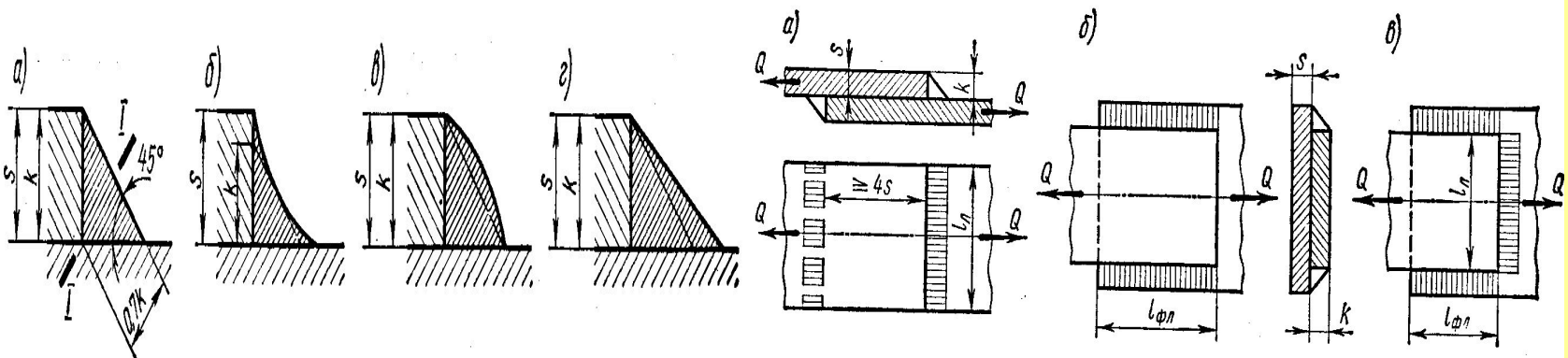
**Соединения внахлестку угловыми швами.** Расчет угловых швов производят на срез по опасному сечению I—I (см. рис. 1а), совпадающему с биссектрисой прямого угла.

Расчетная высота опасного сечения шва равна  $k \cdot \sin 45^\circ \approx 0,7k$ . Условие прочности шва на срез

$$\tau'_{\text{ср}} = \frac{Q}{0,7k l_{\text{ш}}} \leq [\tau]_{\text{ср}}$$

где  $[\tau]_{\text{ср}}$  - расчетное и допускаемое напряжения среза для шва (табл.);  
 $l_{\text{ш}}$  - длина шва.

В соединении лобовыми швами  $l_{\text{ш}} = 2l_{\text{л}}$  (см. рис. 2 а), фланговыми швами  $l_{\text{ш}} = 2l_{\text{фл}}$  (см. рис. 2б). В комбинированном сварном соединении (см. рис. 2, в)  $l_{\text{ш}}$  равна сумме длин всех лобовых и фланговых швов.



# ДОПУСКАЕМЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Температурные деформации при сварке создают остаточные напряжения в зоне шва. Эти напряжения будут незначительны, если свариваемые металлы обладают хорошей пластичностью. К таким металлам относятся мало- и среднеуглеродистые стали. Сварка легированных сталей несколько затруднена из-за склонности к закалке около шовной зоны. Допускаемые напряжения для сварных соединений выбирают по таблице:

Допускаемые напряжения  $[\text{н/мм}^2]$  для сварных соединений деталей

Допускаемые

из мало- и среднеуглеродистых сталей при статической нагрузке

Вид деформации и напряжения	Автоматическая и полуавтоматическая сварка под флюсом		Ручная дуговая сварка электродами	
	Э50А, Э42А	Э50, Э42	Э50А, Э42А	Э50, Э42
Растяжение $[\sigma]_p$	$[\sigma]_p$	$[\sigma]_p$	$[\sigma]_p$	$0,9[\sigma]_p$
Сжатие $[\sigma]_{сж}$	$[\sigma]_p$	$[\sigma]_p$	$[\sigma]_p$	$[\sigma]_p$
Срез $[\tau]_{ср}$	$0,65[\sigma]_p$	$0,65[\sigma]_p$	$0,65[\sigma]_p$	$0,6[\sigma]_p$

Примечания к таблице:

1. В таблице  $[\sigma]_p$  — допускаемое напряжение на растяжение для материала соединяемых деталей (см. предыдущую таблицу).
2. При переменных нагрузках допускаемое напряжение снижают умножением на коэффициент  $\gamma$ .

# ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ПРОЕКТНОГО РАСЧЕТА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ ОСЕВОМ НАГРУЖЕНИИ

## Исходные данные:

1. Величина осевой нагрузки  $Q$  и характер ее действия.
2. Материал соединяемых деталей.
3. Вид электросварки и марка электродов.

## Последовательность расчета:

1. Задаются типом шва и формой его сечения в зависимости от конструкции свариваемых деталей.
2. Определяют допускаемые напряжения для сварного соединения.
3. Определяют общую расчетную длину швов  $l_{ш}$ .
4. При соединении комбинированными швами определяют длину лобовых и фланговых швов.
5. Вычерчивают сварное соединение и уточняют размеры соединяемых деталей.

# РЕКОМЕНДАЦИИ ПО КОНСТРУИРОВАНИЮ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ВСТЫК И ВНАХЛЕСТКУ

1. Из-за дефектов сварки на концах шва принимают *минимальную длину шва* не менее 30 мм.
2. В соединениях внахлестку (см. рис. 2.5, а) *длину перекрытия* принимают  $\geq 4s$ , где  $s$  — минимальная толщина свариваемых деталей.
3. Длина *лобовых швов*  $l_l$  не ограничивается.  
Длина *фланговых швов* ограничивается, так как с увеличением их длины возрастает неравномерность распределения по дине шва (см. рис. 2.5, б)  $l_{фл} \leq 60k$ .
4. Сварные швы располагают так, чтобы они в соединении были нагружены *равномерно*. При проектировании соединения уголков с косынками (рис. 2.8) длины фланговых швов принимают обратно пропорциональными расстояниям до центра тяжести уголка:

$$\frac{l_{1фл}}{b - z_0} = \frac{l_{2фл}}{z_0}$$

Суммарная длина фланговых швов

$$l_{фл} = l_{1фл} + l_{2фл}$$

Следовательно, длина флангового шва у пера уголка

$$l_{2фл} = \partial_{фл} \frac{z_0}{b}$$

5. В конструкциях, подверженных действию *вибрационных знакопеременных нагрузок*, соединения внахлестку не рекомендуются, так как они создают значительную концентрацию напряжений. По этой же причине не разрешается применять всевозможные «усиливающие» накладки и другие элементы.

Клеевые соединения применяют для соединения деталей из металла и неметаллических материалов.

Достоинствами этих соединений являются: возможность соединения разнородных материалов, герметичность, стойкость против коррозии, возможность соединения очень тонких листовых деталей, весьма малая концентрация напряжений.

Недостатки: сравнительно невысокая прочность, низкая теплостойкость.

На прочность клеевых соединений влияют характер нагрузок, конструкция соединения, марка клея, технология склеивания и время (с течением времени прочность некоторых клеев уменьшается). Для склеивания различных материалов применяется большое количество марок клеев, отличающихся физико-механическими и технологическими свойствами (клеи БФ, ВК-1, ВК-2, МПФ-1 и др.). В настоящее время наибольшее применение в машиностроении получили клеевые соединения внахлестку, работающие на сдвиг.

Расчет на прочность клеевых соединений производят на сдвиг методами сопротивления материалов. Для соединений, полученных клеями основных марок, принимают допускаемое напряжение на сдвиг  $[\tau]_c = 15/20 \text{ н/мм}^2$ .