

Соединение деталей машин

Для выполнения своих функций детали машин соответствующим образом соединяются между собой, образуя ***подвижное*** или ***неподвижное соединение***.

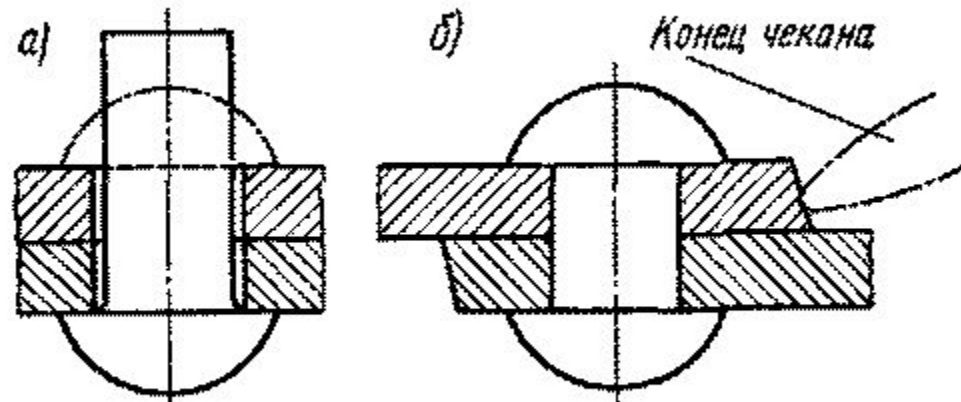
Различают ***разъемные*** соединения, допускающие удобную разборку деталей машин без разрушения соединяющих или соединяемых элементов, и ***неразъемные***, которые можно разобрать только после их полного или частичного разрушения.

В машиностроении термин ***«соединение»*** принято относить только к неподвижным соединениям деталей машин.

Заклёпочные соединения

Заклепка представляет собой **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. Для облегчения постановки **заклепки** диаметр отверстия соединяемых частей выполняют несколько большим диаметра стержня непоставленной **заклепки** (а). В результате клепки **стержень заклепки** осаживается и плотно заполняет данное отверстие (б). Таким образом, диаметр **стержня** поставленной **заклепки** равен диаметру отверстия под **заклепку**.

Расчет заклепки на прочность производят по диаметру стержня поставленной заклепки.

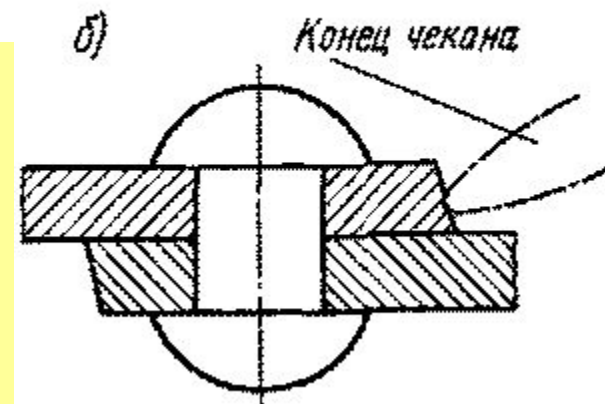


Заклепки применяют для соединения листов, полос, прокатных профилей. Вследствие того, что заклепочные соединения являются более стабильными их применяют в особо ответственных конструкциях, воспринимающих интенсивные вибрационные или большие повторные ударные нагрузки (самолеты, уникальные мосты и т. п.). Заклепочные соединения применяют также в конструкциях, не допускающих сварки из-за опасности коробления деталей, а также в конструкциях, детали которых изготовляют из несвариваемых материалов.

По назначению различают

прочные заклепочные швы для восприятия внешних нагрузок и

прочноплотные, обеспечивающие герметичность соединения при восприятии значительных усилий.



Подчеканка кромок листов, а в особо ответственных случаях и головок заклепок по их краям, заключающаяся в осаживании металла инструментом, называемым **чеканом**, применяется для обеспечения герметичности прочноплотных швов.

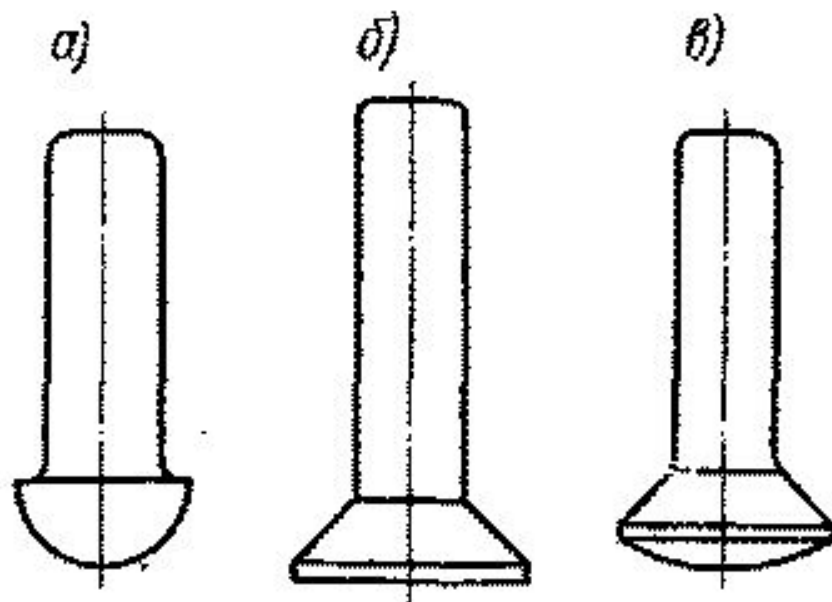
Соединение деталей машины или сооружения, осуществленное группой заклепок, называется **заклепочным швом**.

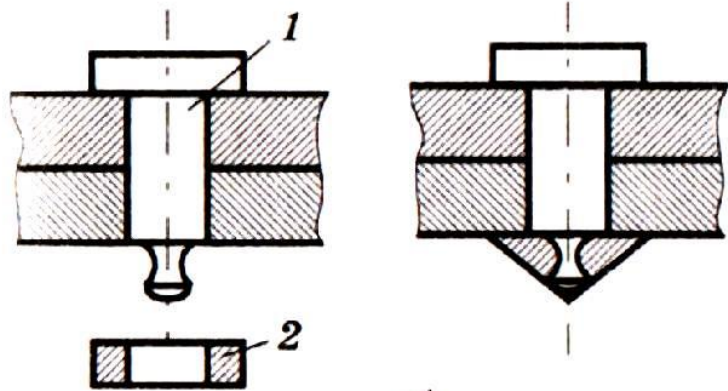
По роду материала различают *стальные, алюминиевые, латунные, медные* и другие заклепки. Материал заклепок должен быть достаточно пластичным для обеспечения формования головок как при изготовлении заклепок, так и при их клепке.

Во избежание химической коррозии в соединениях заклепки ставят из того же материала, что и соединяемые детали: стальные листы соединяют стальными заклепками, латунные — латунными и т. д.

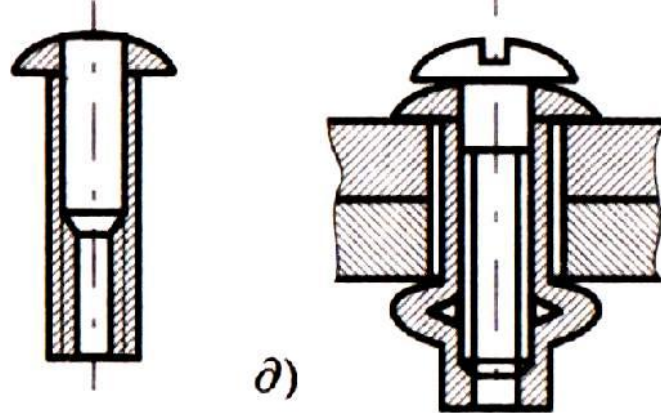
Основные виды заклепок общего назначения стандартизованы: *заклепки с полукруглой головкой (а), заклепки с потайной головкой (б); заклепки с полупотайной головкой (в).*

Как в прочных, так и в прочноплотных заклепочных швах чаще всего применяют заклепки с полукруглой головкой, как наиболее технологичные.

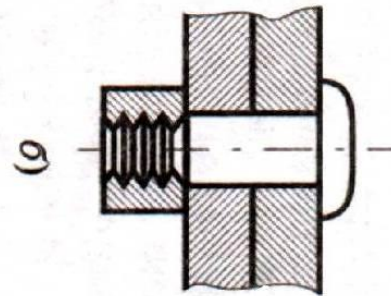
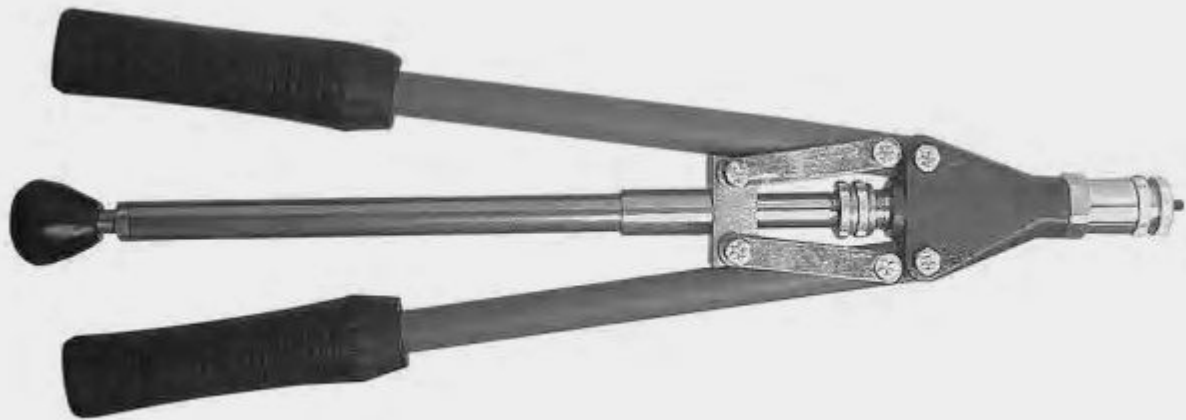




Усиленная для срезных усилий стальная заклёпка, 2-обжимающее кольцо

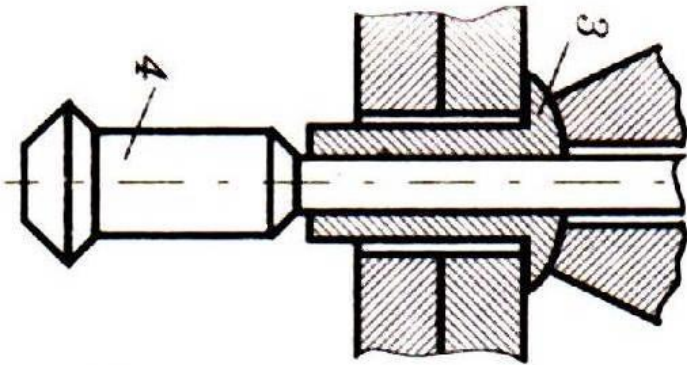


Гайки-пистоны – при заворачивании винта тонкая стенка пистона деформируется, образуя замыкающую головку заклёпки.

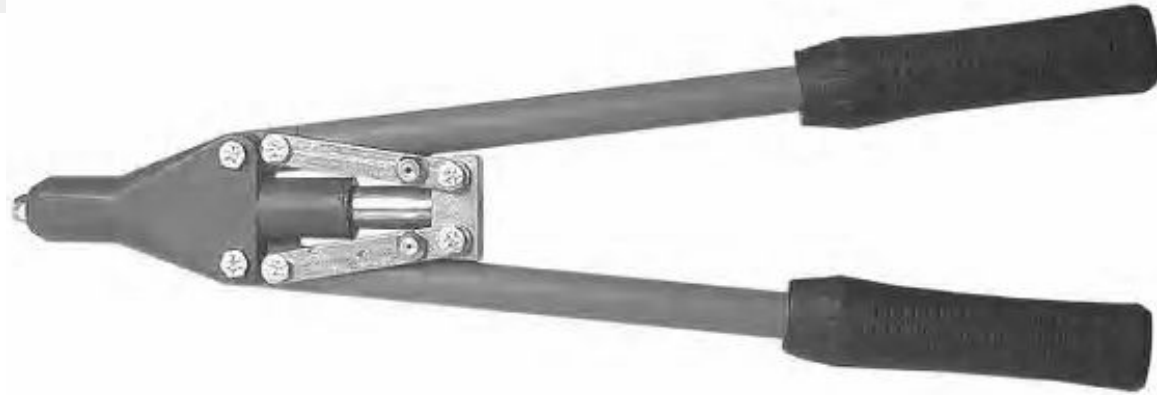
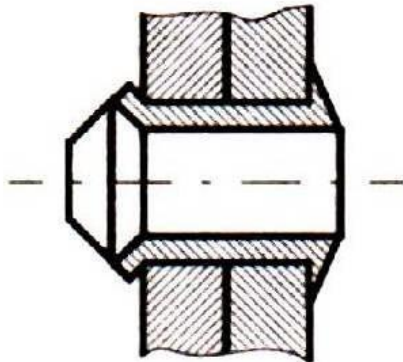


Болты-заклёпки – имеют выступающий участок с накатанными кольцевыми рёбрами и отрывной шейкой. Обжимное кольцо формирует замыкающую головку заклёпки. Обжим кольца и удаление выступающей части болта производят специальным инструментом.

Заклёпки с сердечником – состоят из двух частей – пистона с потайной или полукруглой головкой 3 и сердечника 4. Образование замыкающей головки происходит при протягивании сердечника через отверстие пистона. Выступающая часть сердечника отрывается. Обработка заклёпки производится специальными клещами.

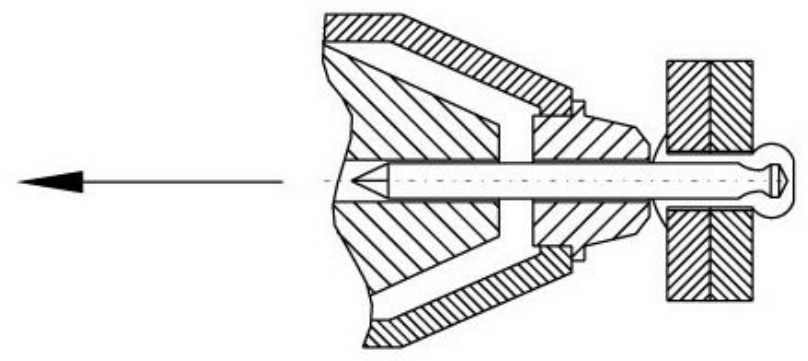
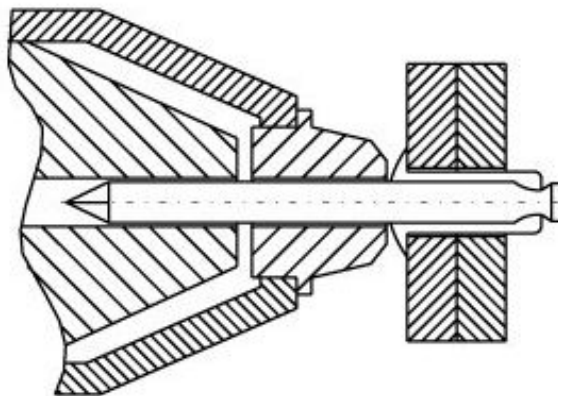
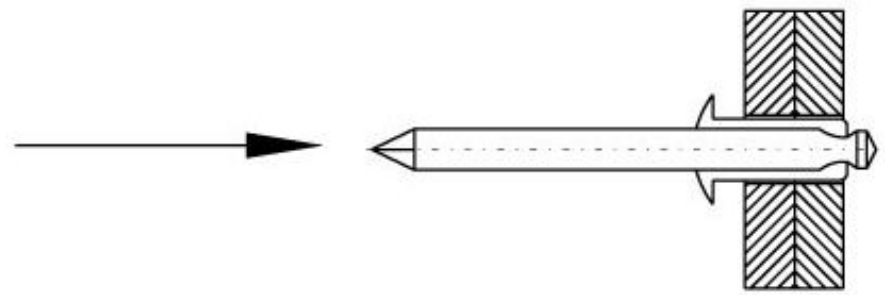
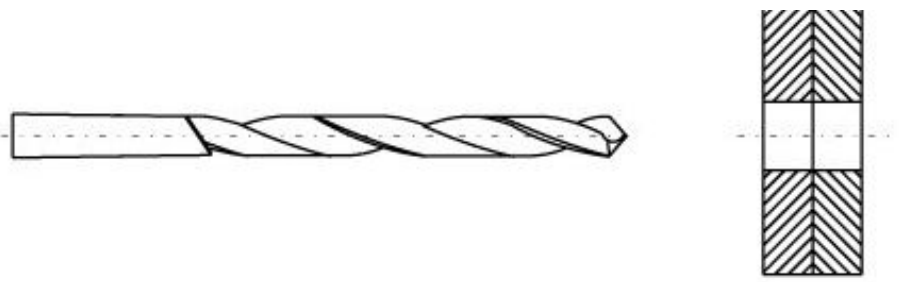


а)

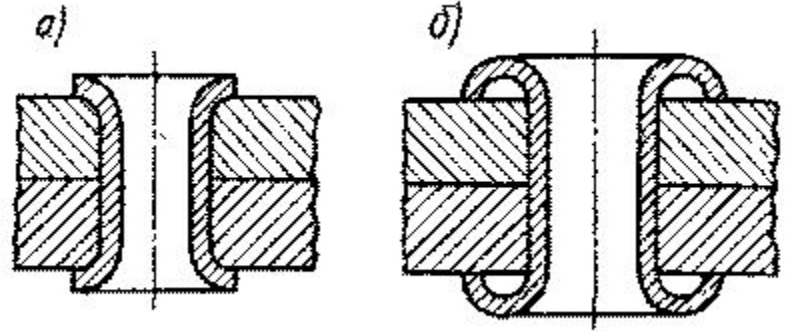




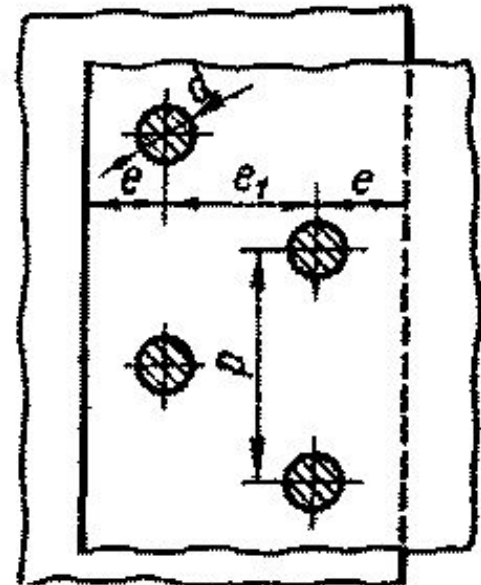
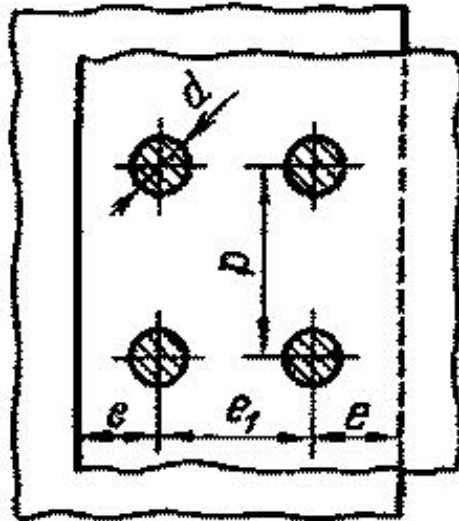
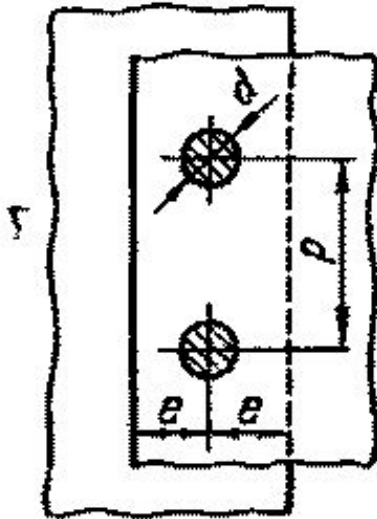
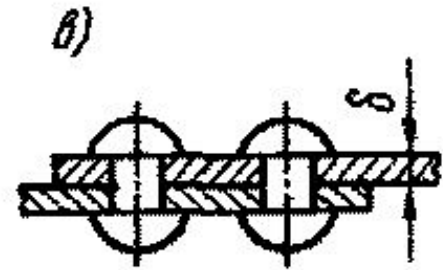
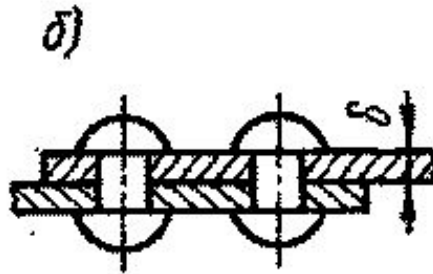
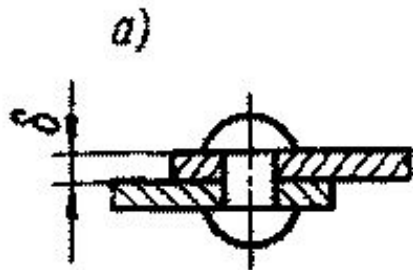
Вариант заклёпки с сердечником, без осаживания пистона в отверстии



В самолетостроении, точных механизмах, и некоторых других областях применяют *трубчатые заклепки (пистоны)*.



По конструкции различают швы нахлесточные однорядные (а) и двухрядные (б,в)



По числу сечений заклепок, работающих на срез, заклепочные швы бывают: *односрезные (г), двухсрезные (д, е) и многосрезные*

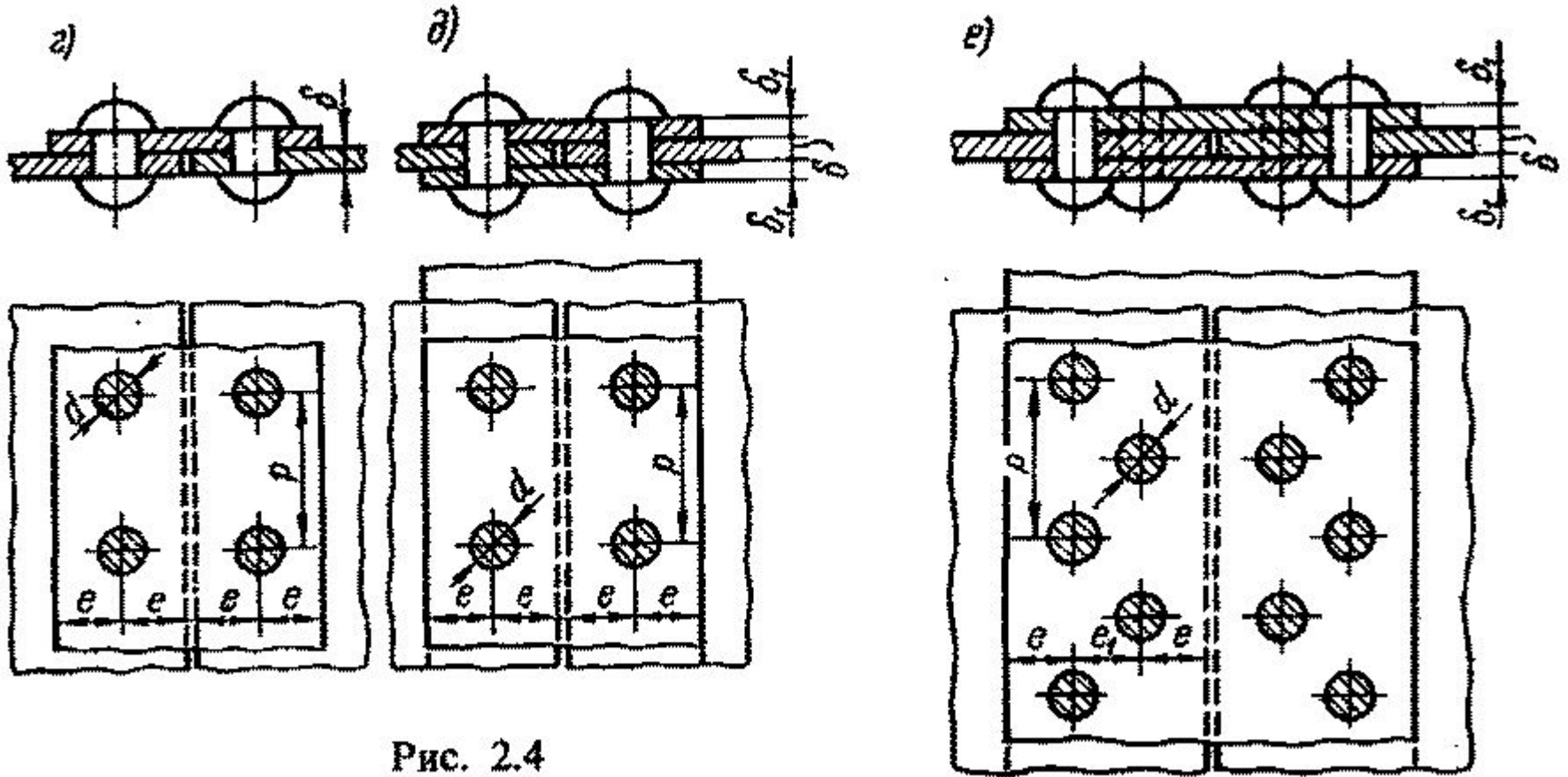
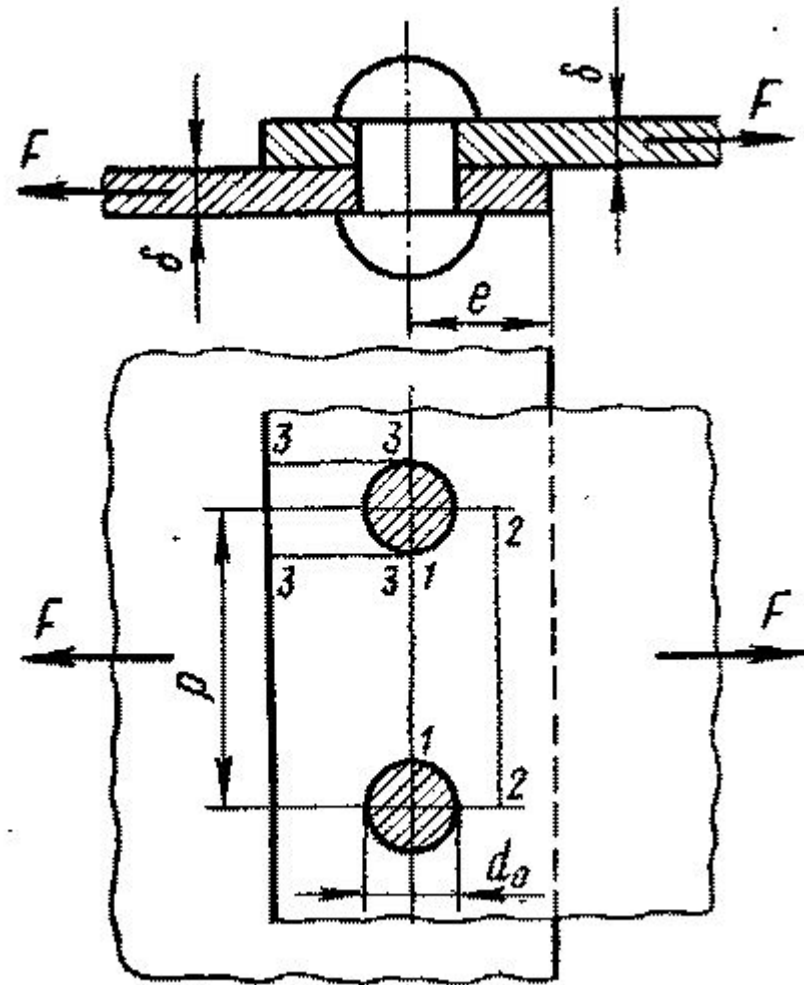


Рис. 2.4

Расчет заклепочного шва заключается в определении диаметра и числа заклепок, шага заклепочного шва, расстояния заклепок до края детали и расстояния между рядами заклепок при заданном растягивающем усилии.

Расчёт простейшего шва — однорядного односрезного нахлесточного.

На рис d_0 — диаметр поставленной заклепки; δ — толщина листов; p — шаг заклепочного шва; e — расстояние заклепок до края листа; F — сила, действующая на участок шва шириной t ; $[\tau_c]$ — допускаемое напряжение на срез для заклепок; $[\sigma_p]$ — допускаемое напряжение на растяжение для листов; $[\sigma_{см}]$ — допускаемое напряжение на смятие между заклепками и листами и $[\tau'_c]$ — допускаемое напряжение па срез для листов.



Для данного заклепочного шва можно написать следующие условия прочности:

на срез для заклепки

$$\tau_c = F / [(\pi d_0^2 / 4)] \leq [\tau_c];$$

на смятие между заклепкой и листом

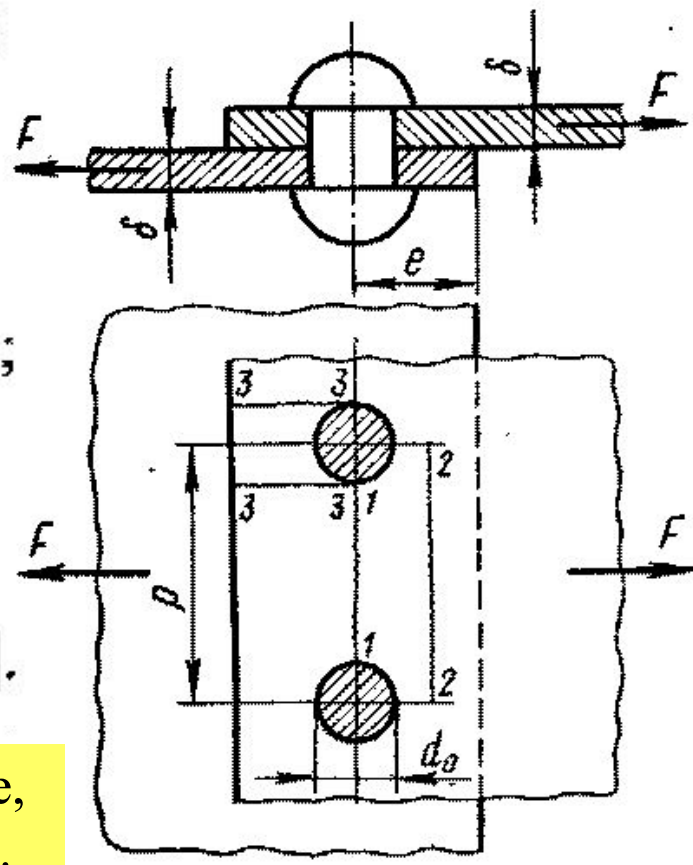
$$\sigma_{см} = F / (d_0 \delta) \leq [\sigma_{см}];$$

на растяжение листа по сечению 1 — 1

$$\sigma_p = F / [(p - d_0) \delta] \leq [\sigma_p];$$

на срез листа одновременно по двум сечениям 3 — 3 в предположении, что срез происходит по длине $e - d_0/2$,

$$\tau'_c = F / [2(e - d_0/2) \sigma] \leq [\tau'_c].$$



Из стандартных рядов заклёпок подбираются такие, которые удовлетворяют конструктивным условиям.

$$d_0 = 2\delta. \quad p = 3d_0. \quad e = (1,5 \dots 2) d_0.$$

γ - коэффициент запаса ≤ 1

Необходимое число заклепок Z в шве при симметрично действующей нагрузке F определяют расчетом заклепок на срез по формуле.

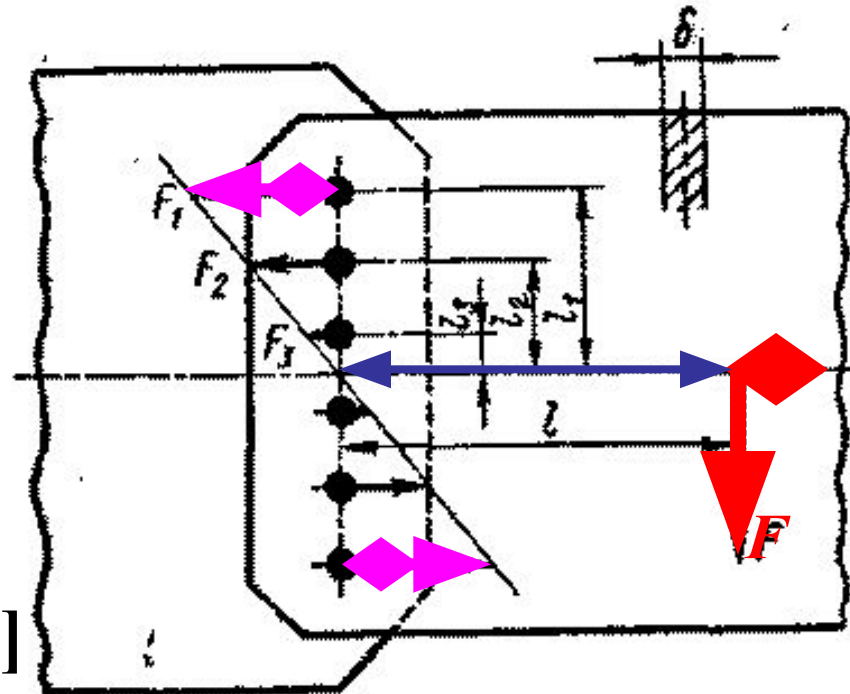
$$Z \geq \frac{F}{[\gamma (\pi \cdot d_o^2 / 4) \cdot [\tau_c]]}$$

При действии на заклепочный шов эксцентрично приложенной нагрузки **F** расчет на прочность по указанным выше формулам производят лишь для наиболее нагруженной заклепки. На рис. наиболее нагруженные заклепки — верхняя и нижняя. Силу F_1 , действующую на наиболее нагруженную заклепку, определяют следующим образом.

На заклепки данного шва действуют сила F и момент $M = Fl$. Момент M вызывает в заклепках горизонтальные силы F_1 , F_2 и F_3 . Принимаем, что нагрузка на заклёпки распределяется пропорционально расстоянию от нейтрального слоя,

$$M = Fl = 2(F_1l_1 + F_2l_2 + F_3l_3),$$

Таким образом, $F_1 = F \cdot l \cdot l_1 / [2(l_1^2 + l_2^2 + l_3^2)]$



От силы F на каждую заклепку шва действует вертикальная сила F/z , где z — число заклепок шва. Таким образом, сила, действующая на наиболее нагруженную заклепку данного шва (верхнюю или нижнюю).

$$F_{\max} = \sqrt{F_1^2 + (F/z)^2}.$$

При расчете прочных заклепочных швов стальных конструкций при статическом нагружении допускаемые напряжения для заклепок из Ст0 и Ст2 принимают $[\tau_c] = 140$ МПа и $[\sigma_{см}] = 280$ МПа и для заклепок из Ст3 - $[\tau_c] = 140$ МПа и $[\sigma_{см}] = 320$ МПа. При знакопеременных нагрузках указанные допускаемые напряжения получают умножением на коэффициент γ :

$$\gamma = 1 / [(a - b) F_{\min} / F_{\max}] \leq 1,$$

Где F_{\max} и F_{\min} , - наименьшая и наибольшая по абсолютному значению силы, действующие на заклёпки, взятые со своими знаками; a и b – коэффициенты; $a = 1$ и $b = 0,3$ для низкоуглеродистых сталей и $a = 1,2$ и $b = 0,8$ и для среднеуглеродистых.

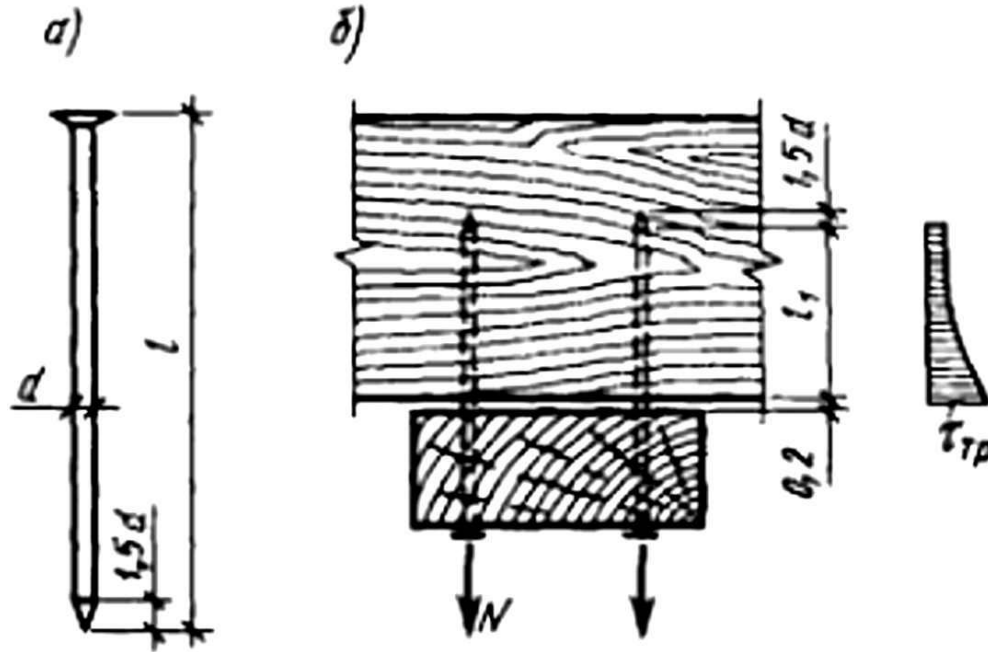
Достоинства заклепочных соединений:

- хорошо работают в конструкциях, подверженных вибрациям и повторным динамическим нагрузкам, где сварные соединения недостаточно надежны;
- применяют для соединения материалов, не поддающихся сварке или трудносвариваемых, недопускающих нагрев при сварке, коробящихся или меняющих механические характеристики.

Недостатки заклепочных соединений:

- повышенная металлоемкость;
- трудоемкость изготовления;
- невысокая технологичность.

Диаметр гвоздей должен быть не более 1/4 толщины сплавляемых элементов.



Расчетное сопротивление выдергиванию гвоздя $R_{в.г}$, забитого в сухую древесину поперек волокон, составляет $R_{в.г} = 0,3$ МПа, а в сырую $R_{в.г} = 0,1$ МПа

Несущую способность гвоздя диаметром d на выдергивание $T_{в.г}$ определяют как произведение расчетного сопротивления гвоздя выдергиванию $R_{в.г}$ на площадь поверхности трения $\pi \cdot d \cdot l_1$.

$$T_{в.г} = R_{в.г} \cdot \pi \cdot d \cdot l_1.$$

Сварка — это технологический процесс соединения металлических деталей, основанный на использовании сил молекулярного сцепления и происходящий при сильном местном нагреве их до расплавленного (сварка плавлением) или пластического состояния с применением механического усилия (сварка давлением).

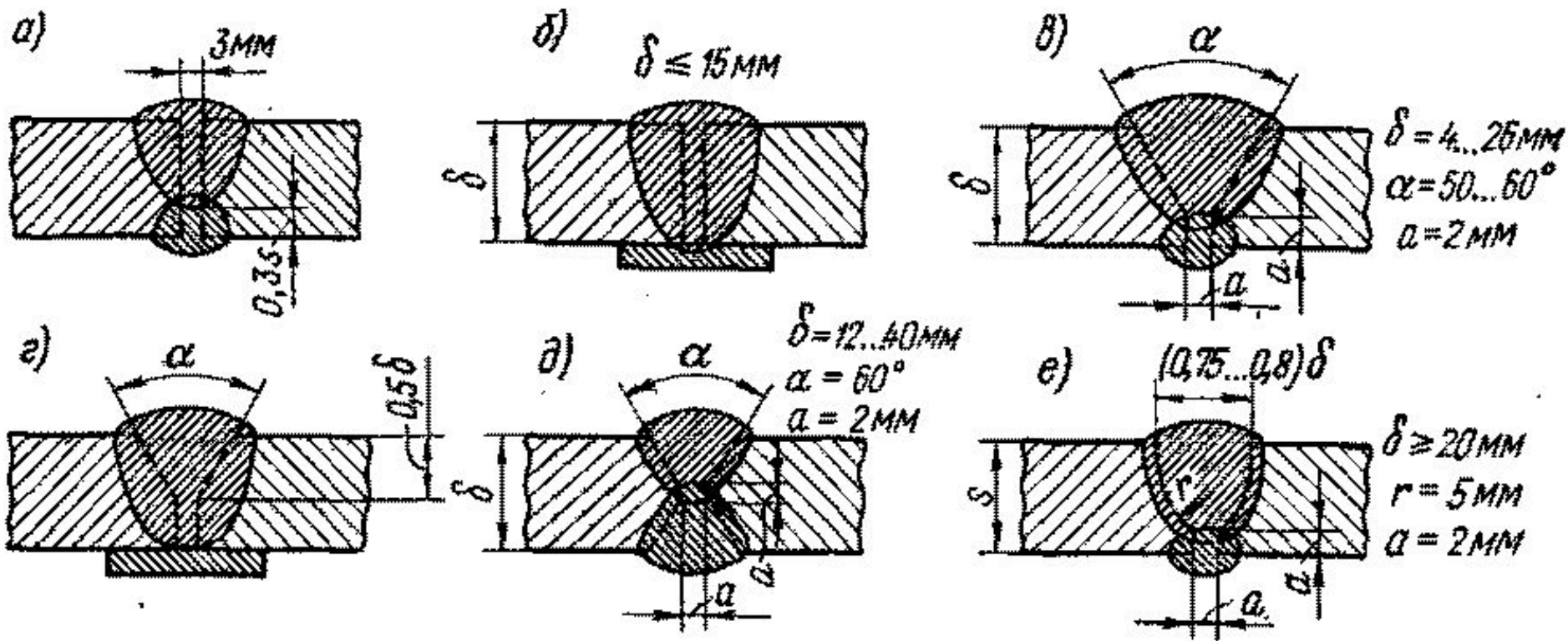
Затвердевший после сварки металл, соединяющий сваренные детали, называется *сварным швом*.

По сравнению с клепаными и литыми *сварные* конструкции обеспечивают существенную экономию металла и значительно снижают трудоемкость процесса изготовления.

К недостаткам сварных конструкций относятся: появление остаточных напряжений в свариваемых элементах после окончания процесса сварки, коробление, плохое восприятие переменных и особенно вибрационных нагрузок, сложность и трудоемкость контроля качества сварных швов.

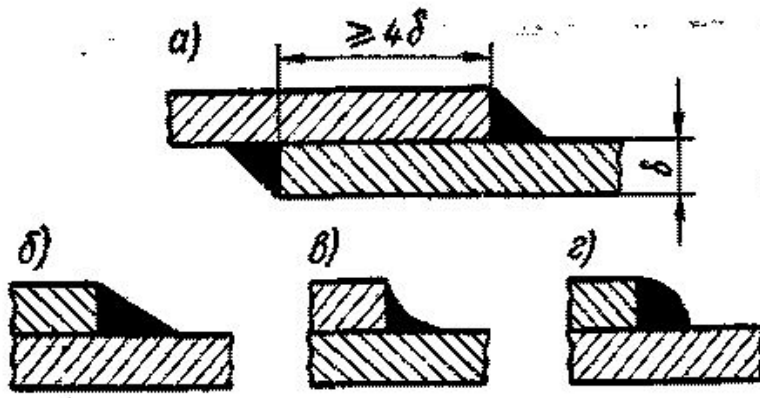
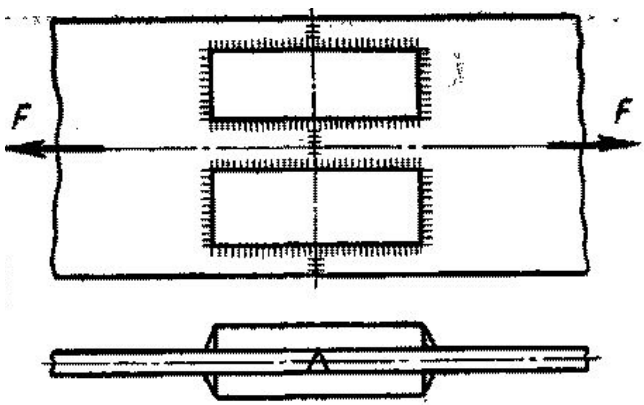
Из большого разнообразия существующих видов сварки в машиностроении применяют: ручную дуговую **сварку плавящимся электродом**, автоматическую **дуговую сварку плавящимся электродом под флюсом**, **электрошлаковую сварку** и **контактную сварку** — стыковую, шовную и точечную. Первые три способа относятся к сварке плавлением, последний — к сварке плавлением или давлением.

Сварные швы стыковых соединений называют **стыковыми**.

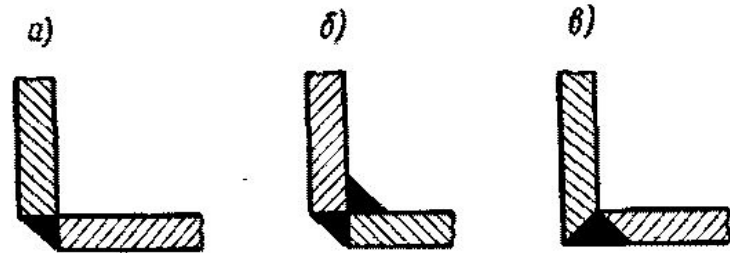


Угловые соединения

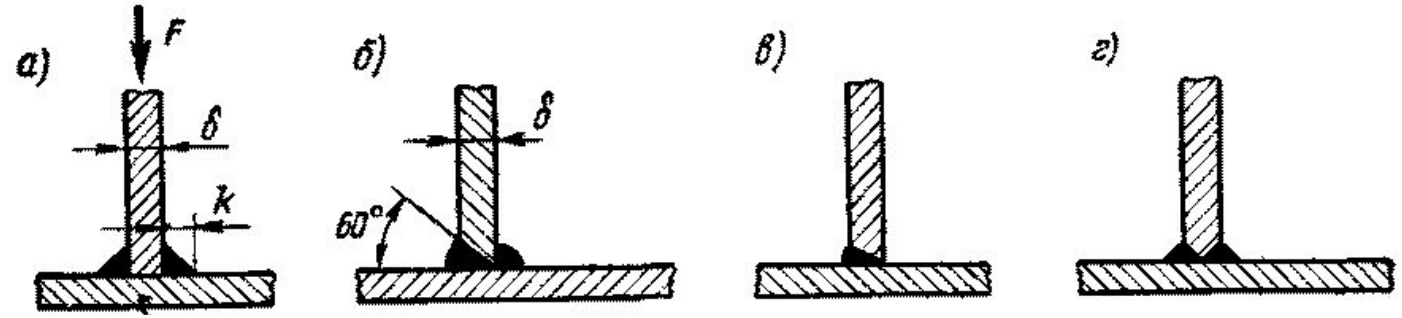
Швы нахлесточные.



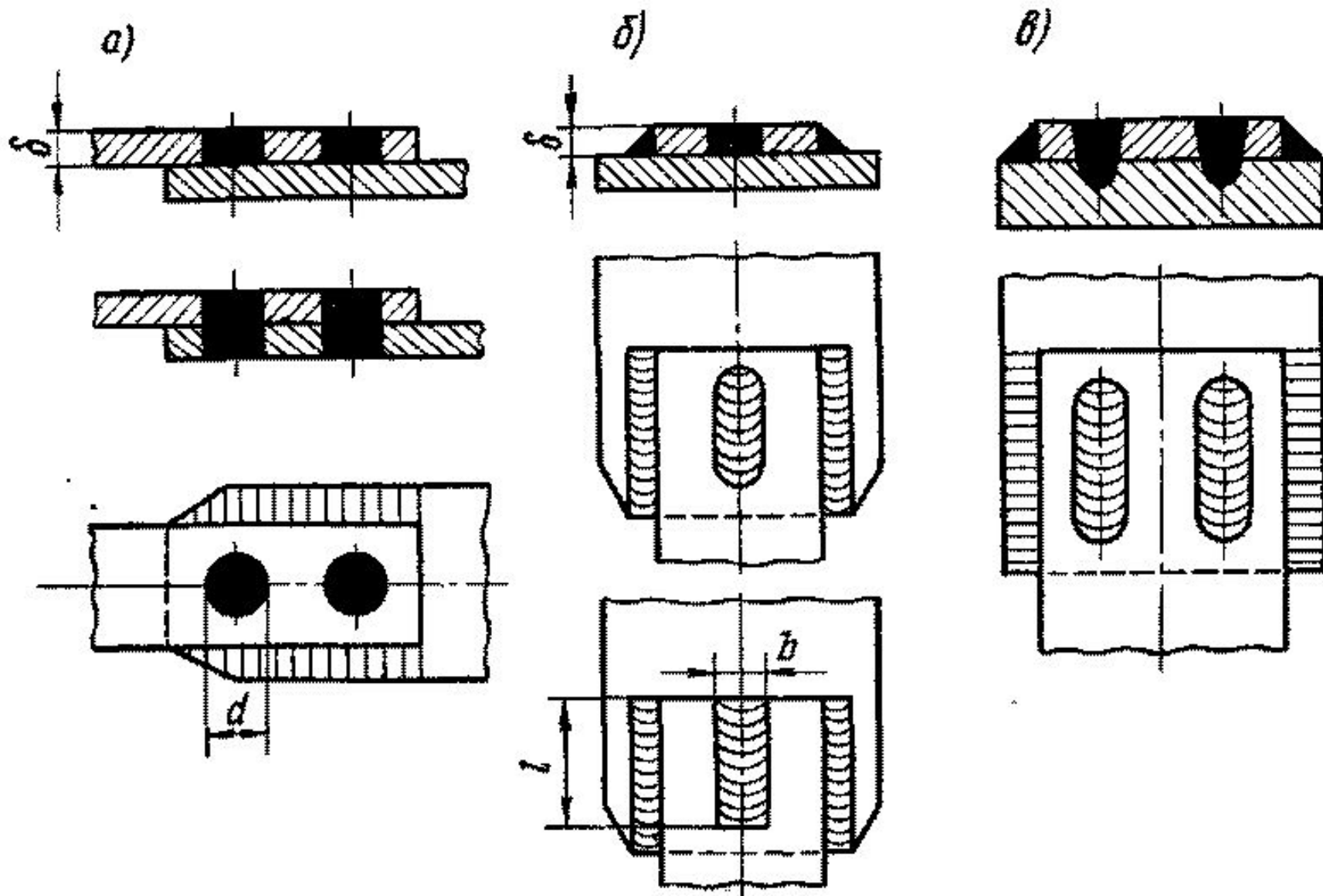
Швы угловые.



Швы тавровые.



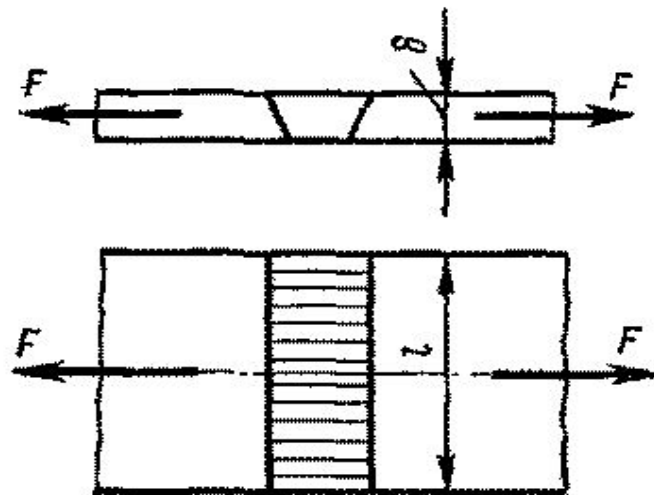
Если в нахлесточном соединении угловые, швы не обеспечивают требуемой прочности, то иногда дополнительно к угловым применяют пробочные, прорезные, или проплавные швы.



В зависимости от работы стыкового шва его соответственно рассчитывают на растяжение:

$$\sigma'_p = F / (\delta l) \leq [\sigma'_p];$$

$$\sigma'_c = F / (\delta l) \leq [\sigma'_c],$$



где σ'_p и σ'_c — соответственно расчетное напряжение в шве при растяжении и сжатии; F — сила, растягивающая или сжимающая соединяемые элементы; δ — толщина более тонкой свариваемой детали; l — длина шва; $[\sigma'_p]$ и $[\sigma'_c]$ — соответственно допускаемое напряжение для шва при растяжении и сжатии.

| Вид напряжения | Усл. обознач. | Допускаемые напряжения | |
|------------------------------------------|------------------|----------------------------|----------------------------|
| | | Ст. 2 [н/мм ²] | Ст. 3 [н/мм ²] |
| Растяжение | $[\sigma'_p]$ | 143 | 163 |
| Сжатие | $[\sigma'_c]$ | | |
| Изгиб | $[\sigma'_u]$ | | |
| Срез (для пробок) | $[\tau_{cp}]$ | 92 | 102 |
| Смятие торцевой поверхности (для пробок) | $[\sigma'_{cm}]$ | 245 | 245 |

2. Расчет нахлесточного соединения угловыми швами. Разрушение угловых швов происходит по наименьшему сечению треугольника шва — по плоскости, проходящей через биссектрису прямого угла. Катет шва k , как правило, выбирают равным толщине свариваемых листов (рис. 20.4): $k = \delta$.

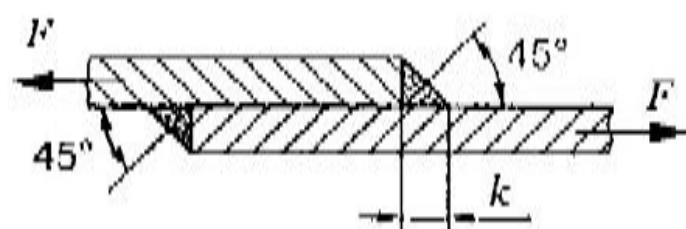


Рис. 20.4. Нахлесточное соединение

Условие прочности на сдвиг

$$\tau'_c = \frac{Q}{A'_c} \leq [\tau_c],$$

где Q — поперечная сила, $Q = F$; A'_c — расчетная площадь сварочного шва на сдвиг.

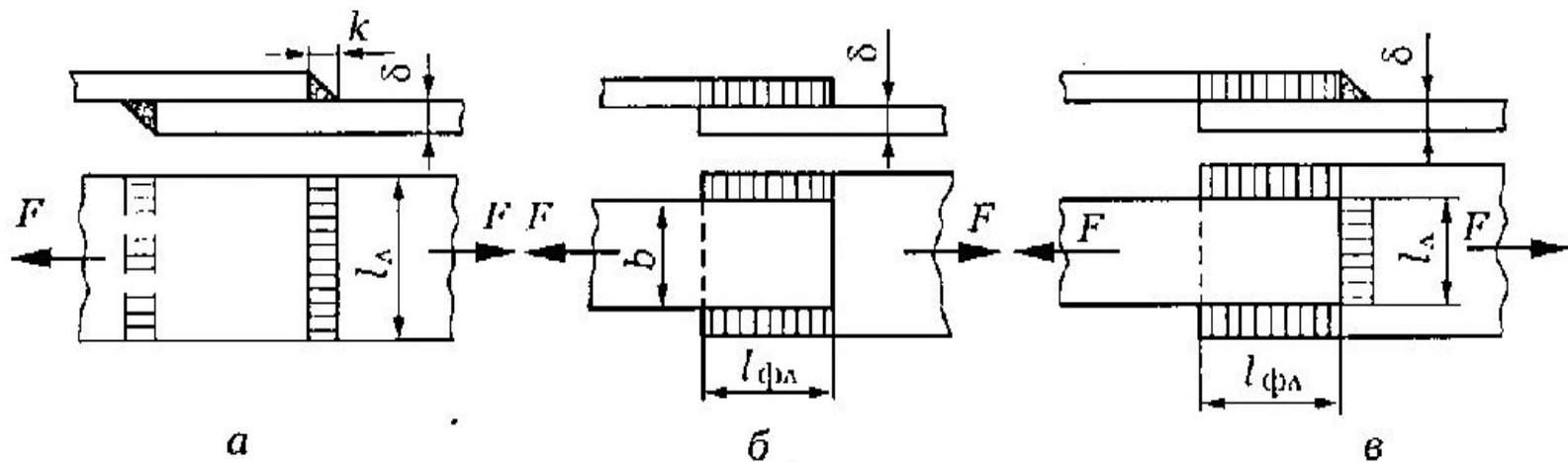


Рис. 20.5. Нахлесточные соединения: а — лобовыми швами; б — фланговыми швами; в — комбинированное

3. Условия прочности для сварных швов, изображенных на рис. 20.5:

$$а) \tau'_c = \frac{F}{2 \cdot 0,7kl_n} \leq [\tau_c]';$$

$$б) \tau'_c = \frac{F}{2 \cdot 0,7kl_{фл}} \leq [\tau_c]';$$

$$в) \tau'_c = \frac{F}{0,7k(l_n + 2l_{фл})} \leq [\tau_c]'.$$

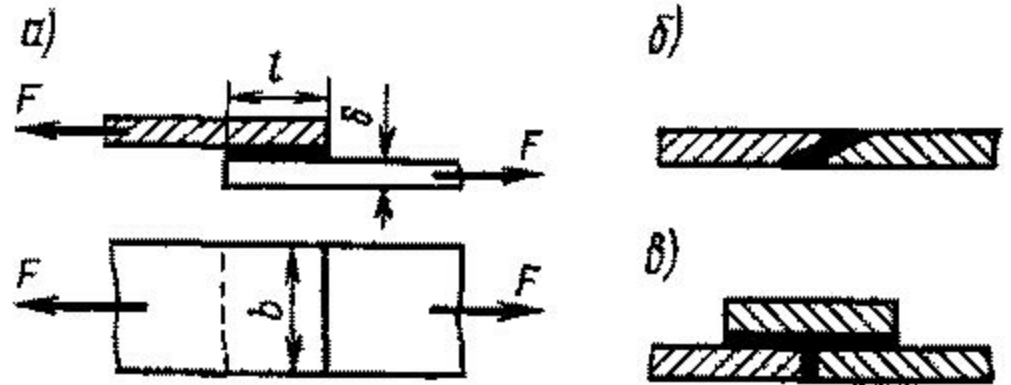
Клеевые и паяные соединения

Клеевые соединения

Наиболее распространенные виды клеевых соединений — нахлесточные (а), стыковые по косому срезу (в ус) (б) и с накладками (в).

Клеевые соединения, работающие на срез, по сравнению с соединениями, работающими на отрыв, более прочны.

$$\tau'_c = F / (bD) \leq [\tau'_c],$$



где τ_{cp} — расчетное напряжение на срез в клеевом шве; F — сила, действующая на соединение; b — ширина соединяемых деталей.

Допускаемое напряжение на срез шва можно принимать для клея БФ-2 $[\tau_{cp}] = 15 \dots 20$ МПа, для клея БФ-4 $[\tau_{cp}] = 25 \dots 30$ Мпа. $1 \text{ н/мм}^2 = 1 \text{ МПа}$

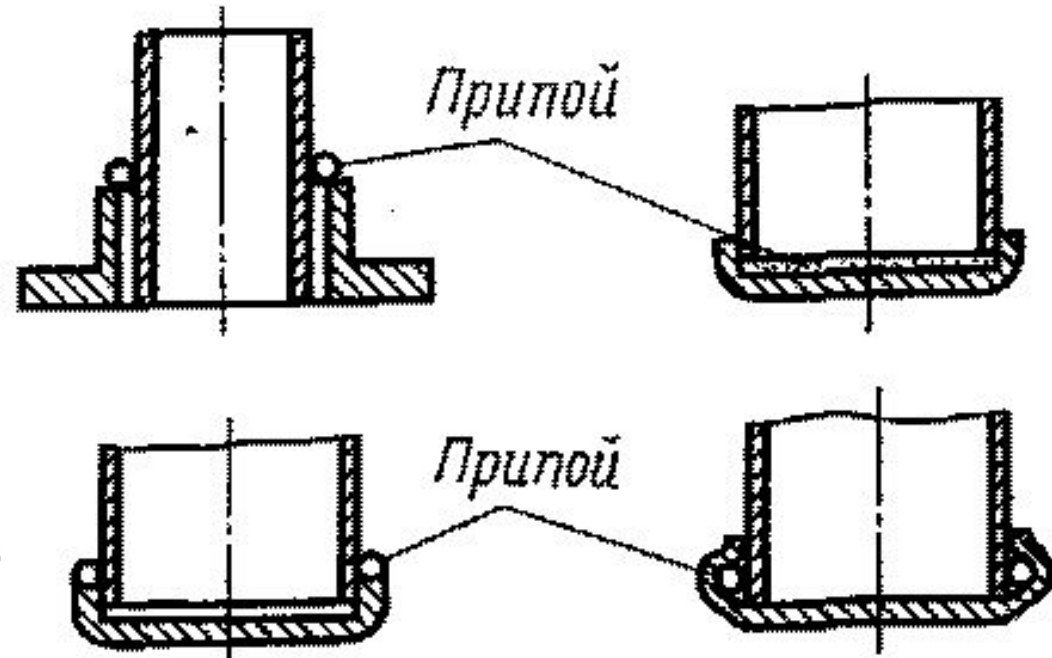
| Марка | Температура эксплуатации, °С | Пределы прочности при 20 °С, МПа | | Обозначение клея по табл. 4.22 |
|---------------|------------------------------|----------------------------------|---------------|--------------------------------|
| | | $\tau_{сд}$ | $\sigma_{от}$ | |
| ФР-12 | До 200 | 8,3 | 3 | 1 |
| БФ-2 | (-60) — (80) | 16,7 | 37,7 | 2 |
| БФР-4 | (-60) — (200) | 16,7 | 30 | 3 |
| ВС-10Т | (-60) — (300) | 16,18 | 78 | 4 |
| ФРАМ | До 80 | 2,94 | 5,88 | 5 |
| ВК-32-200 | (-60) — (60) | 16,5 | 45 | 6 |
| ВК-3 | (-60) — (200) | 3,42 | 19,6 | 7 |
| ВК-13 | (-60) — (300) | 19,6 | — | 8 |
| ВК-9 | (-60) — (125) | 15—23 | 20 | 9 |
| Л-4 | 80 | 12 | 13—25 | 10 |
| Д-96 | 65 | 12 | — | 11 |
| К-153 | (-60) — (80) | 20,5 | 13,6—25,8 | 12 |
| Д-9 | (-60) — (80) | 17,65 | 68,6 | 13 |
| ЭЛ-13 | (-60) — (70) | 8,8 | 24,5 | 14 |
| К-300-61 | (-60) — (250) | 12,5—15 | 10,8 | 15 |
| ПУ-2 | (-60) — (60) | 20 | 4,3 | 16 |
| ВК-11 | (-60) — (60) | — | 10 | 17 |
| ВК-5 | (-60) — (60) | 12,2 | 2,4 | 18 |
| ВК-15 | (-80) — (100) | — | 10,9 | 19 |
| КГ-30 | (-60) — (300) | — | 1,2 | 20 |
| Элатосил Ч-01 | (-55) — (300) | — | 2 | 21 |
| Лейконат | До 150 | — | 4 | 22 |

| Склеиваемые материалы | Сталь и сплавы металлов (Al, Mg, Ti) | Стеклопластики и другие слоистые пластики | Органическое стекло | Силикатное стекло | Керамика, ситаллы | Резины | Полиэтилен, полипропилен |
|-------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------|-------------------|-----------------------------|------------------------|--------------------------|
| Сталь и сплавы металлов (Al, Mg, Ti) | 2—4, 6—10, 12, 13, 15, 16, 19—21, 31 | 2, 4, 6—10, 12, 13, 16, 19 | 2, 16, 41 | 2, 14, 16, 41 | 2, 4, 10, 13, 15, 16, 18 | 16, 21, 23, 41, 43, 44 | 2, 13, 16, 18 |
| Стеклопластики и другие слоистые пластики | 2—4, 6—10, 13, 18, 19 | 2, 3, 6—9, 12, 18, 19 | 2, 9, 16, 18, 41 | 2, 15, 16, 18 | 2, 4, 9, 10, 13, 15, 16, 18 | 16, 21, 41, 43, 44 | 2, 13, 16, 18 |
| Органическое стекло | 2, 16, 41 | 2, 15, 16 | 16, 31, 33 | 2, 16 | 2, 16, 18, 41 | 16, 18, 43 | 2, 1, 18 |
| Силикатное стекло | 15, 16, 18 | 2, 13, 15, 16 | 2, 16, 18 | 2, 15, 16, 31 | 2, 13, 15, 16 | 16, 18, 41 | 2, 13, 16 |
| Керамика, ситаллы | 2, 4, 9, 10, 13, 15, 16, 21 | 2, 4, 10, 18, 15, 16, 18, 21 | 2, 16, 18, 41 | 15, 16, 18, 41 | 2, 4, 10, 13, 15, 16, 18 | 16, 41, 43, 44 | 2, 13, 16 |

Паяные соединения

П а й к а — это технологический процесс соединения металлических деталей посредством присадочного материала (металла или сплава), называемого припоем, основанный на диффузионном взаимодействии материалов соединяемых деталей и припоя с образованием химических соединений или твердых растворов и сцеплении паяного шва с металлом деталей.

Различают легкоплавкие, или мягкие, припои с температурой плавления до $350\text{ }^{\circ}\text{C}$ и тугоплавкие, или твердые, с температурой плавления выше $600\text{ }^{\circ}\text{C}$. Из мягких припоев наиболее распространены оловянно-свинцовые сплавы, а из твердых — медно-цинковые и серебряно-медные сплавы,



Паяные швы из мягких припоев малопрочные, поэтому мягкие припои применяют для соединения ненагруженных, малонагруженных, не подверженных действию ударных нагрузок и вибраций. Из-за низкой температуры плавления не рекомендуется применять их также для соединений, работающих при температуре выше 100 °С.

Твердые припои применяют для соединений, несущих нагрузки. При статических нагрузках применяют припои на медной основе, а для соединений, воспринимающих ударные и вибрационные нагрузки,— припои на серебряной основе.

Расчет на прочность паяных соединений осуществляют по соответствующим формулам, как и для одностипных сварных и клеевых соединений, допускаемое напряжение на срез можно принимать для паяных швов из оловянно-свинцовых припоев $[\tau_{cp}] = 20 \div 30$ Мпа, из медно-цинковых припоев $[\tau_{cp}] 175 \div 230$ Мпа.

4.14. Физико-механические свойства медно-цинковых припоев

| Марка | $\alpha \cdot 10^3, \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ | $\rho_R \cdot 10^6, \text{ Ом} \cdot \text{м}$ | $\sigma_B, \text{ МПа}$ | $\gamma \cdot 10^3, \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ |
|--------|---------------------------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------------------|
| ПМЦ-36 | 22 | 10,3 | Хрупкий | 7,7 |
| ПМЦ-48 | 21 | 4,5 | 205,8 | 8,2 |
| ПМЦ-54 | 21 | 4,0 | 343 | 8,3 |

4.15. Физико-механические свойства оловянно-цинковых припоев

| Марка | $\gamma \cdot 10^3, \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ | $\rho_R \cdot 10^6, \text{ Ом} \cdot \text{м}$ | $\sigma_B, \text{ МПа}$ | $\delta, \%$ | $\sigma_{y1}, \text{ МПа}$ |
|-------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------|--------------|----------------------------|
| ПОС90 | 7,6 | 0,12 | 49 | 40 | 42 |
| ПОС61 | 8,5 | 0,139 | 43 | 46 | 39 |
| ПОС40 | 9,3 | 0,159 | 38 | 52 | 40 |
| ПОС10 | 10,8 | 0,2 | 32 | 44 | 32 |
| ПОС61М | 8,5 | 0,143 | 45 | 40 | 11 |
| ПОССу61-0,5 | 8,5 | 0,14 | 45 | 35 | 37 |
| ПОССу50-0,5 | 8,9 | 0,149 | 38 | 62 | 44 |
| ПОССу40-0,5 | 9,3 | 0,169 | 40 | 50 | 40 |
| ПОССу35-0,5 | 9,5 | 0,172 | 38 | 47 | 39 |
| ПОССу30-0,5 | 8,7 | 0,179 | 36 | 45 | 39 |

4.16. Предел прочности $\sigma_{пч}$ серебряных припоев при изменении температуры, МПа

| Марка | Температура испытаний, °С | | | | | | | | |
|-------|---------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 20 | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 650 | 700 |
| ПСр70 | 310 | 280 | 250 | 238 | 208 | 123 | 96 | 72 | 60 |
| ПСр45 | 370 | 360 | 340 | 230 | 200 | 118 | 40 | — | — |
| ПСр25 | 365 | 355 | 305 | 260 | 86 | 31 | 30 | 16 | 9 |

4.17. Предел прочности при срезе $\tau_{ср}$ соединений, паяных серебряными припоями, МПа

| Материал соединяемых деталей | Марка припоя | | |
|------------------------------|--------------|---------|---------|
| | ПСр40 | ПСр45 | ПСр25 |
| Сталь 12Х18Н9Т | 240—260 | 180—260 | 190—210 |
| Сталь 40ХНМА | 330—460 | — | — |
| Сталь 30ХГСА | 350—460 | 350—410 | 350—410 |
| Медь | — | 250 | — |