

Соединение деталей машин

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

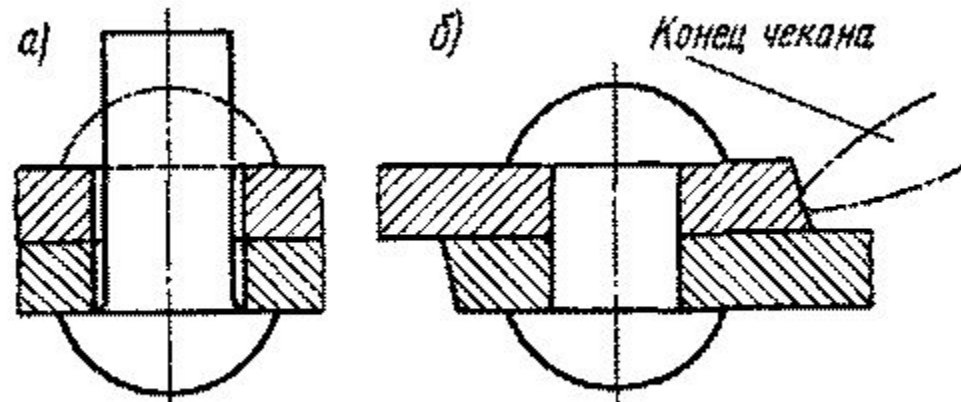
Различают ***разъемные*** соединения, допускающие удобную разборку деталей машин без разрушения соединяющих или соединяемых элементов, и ***неразъемные***, которые можно разобрать только после их полного или частичного разрушения.

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.

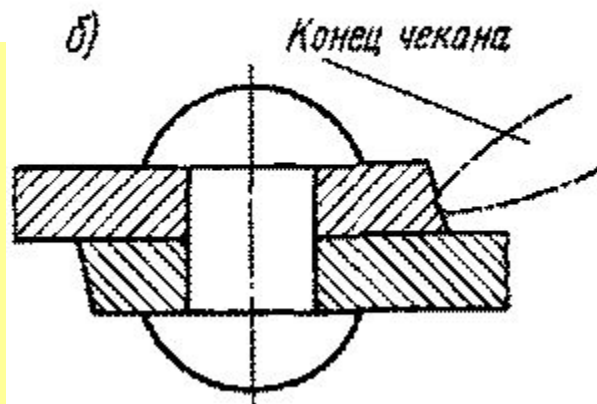


Заклепки применяют для соединения листов, полос, прокатных профилей. Вследствие того, что заклепочные соединения являются более стабильными их применяют в особо ответственных конструкциях, воспринимающих интенсивные вибрационные или большие повторные ударные нагрузки (самолеты, уникальные мосты и т. 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.

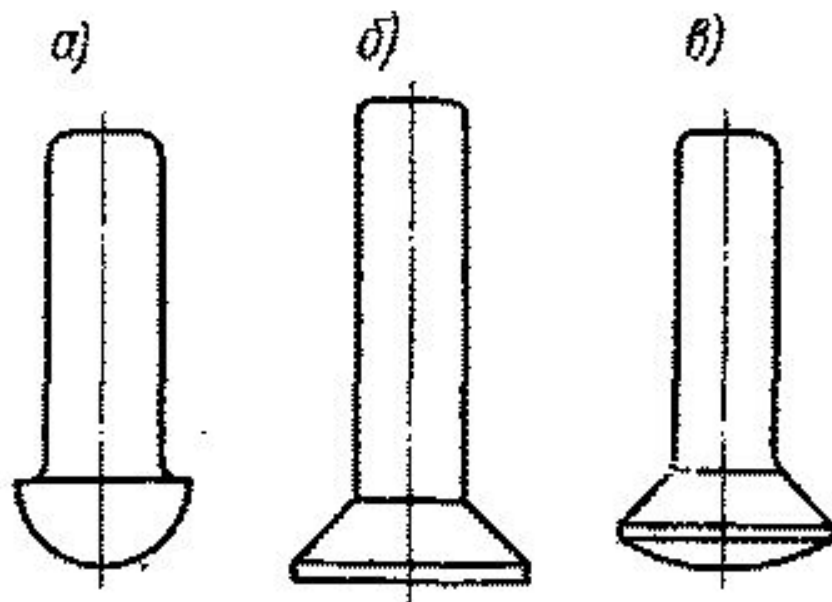
Соединение деталей машины или сооружения, осуществленное группой заклепок, называется **заклепочным швом**.

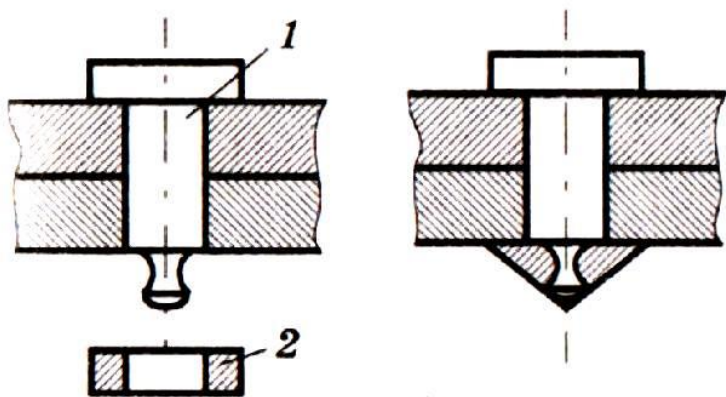
По роду материала различают *стальные, алюминиевые, латунные, медные* и другие заклепки. Материал заклепок должен быть достаточно пластичным для обеспечения формования головок как при изготовлении заклепок, так и при их клепке.

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.

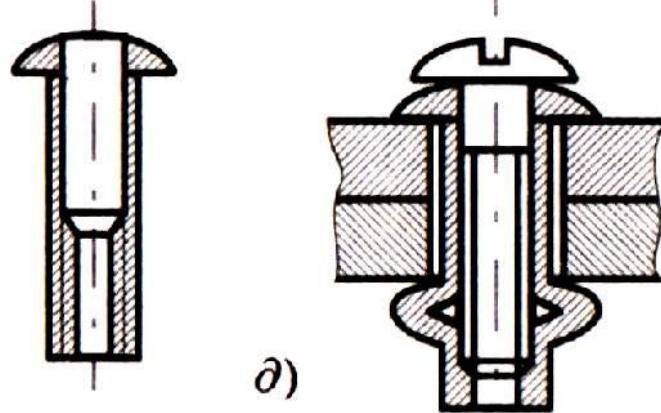
Основные виды заклепок общего назначения стандартизованы: *заклепки с полукруглой головкой (а), заклепки с потайной головкой (б); заклепки с полупотайной головкой (в).*

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

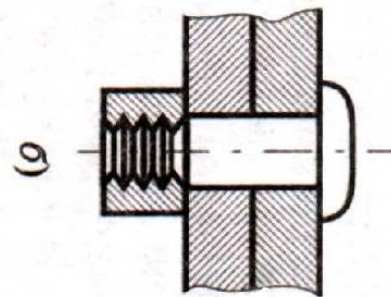
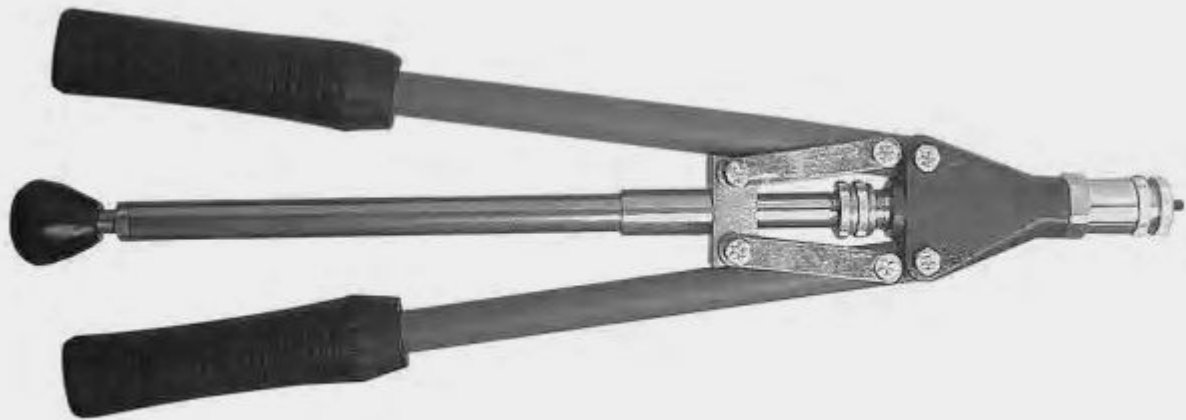




Усиленная для срезных усилий стальная заклёпка, 2-обжимающее кольцо

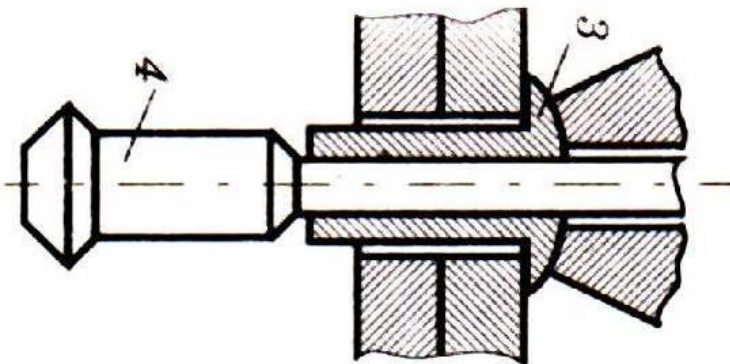


Гайки-пистоны – при заворачивании винта тонкая стенка пистона деформируется, образуя замыкающую головку заклёпки.

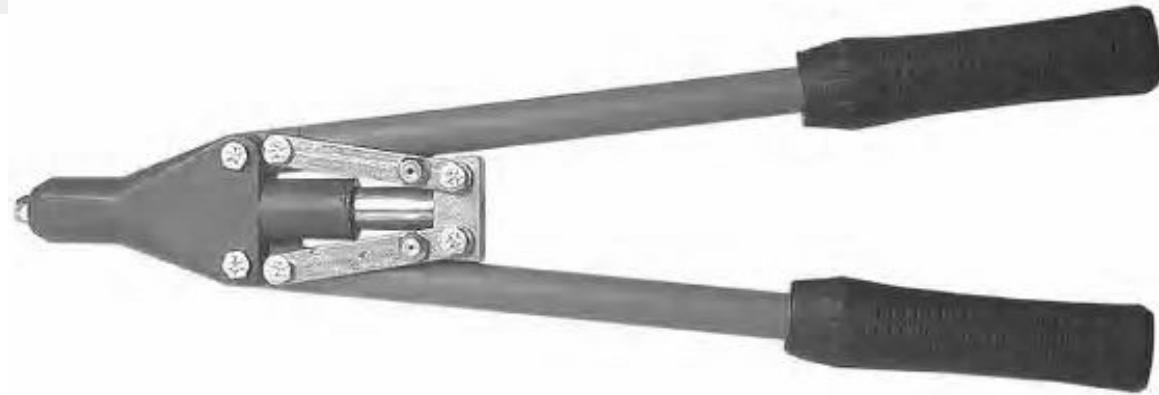
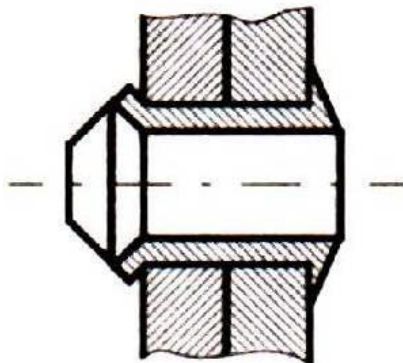


Болты-заклёпки – имеют выступающий участок с накатанными кольцевыми рёбрами и отрывной шейкой. Обжимное кольцо формирует замыкающую головку заклёпки. Обжим кольца и удаление выступающей части болта производят специальным инструментом.

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.

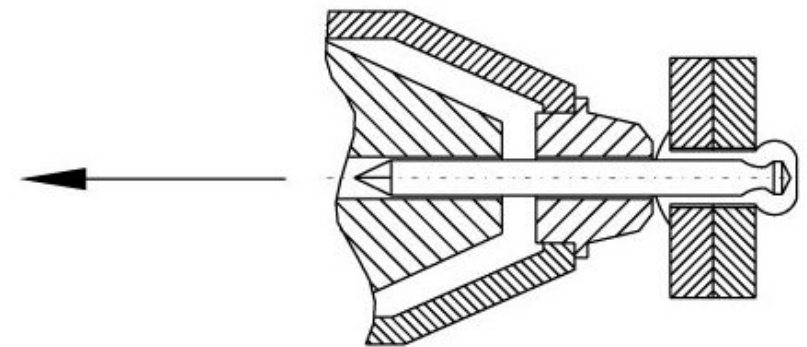
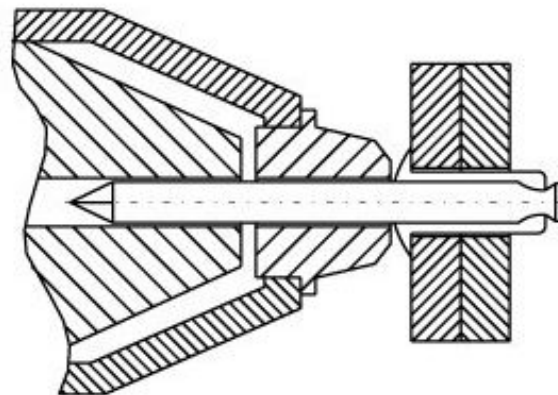
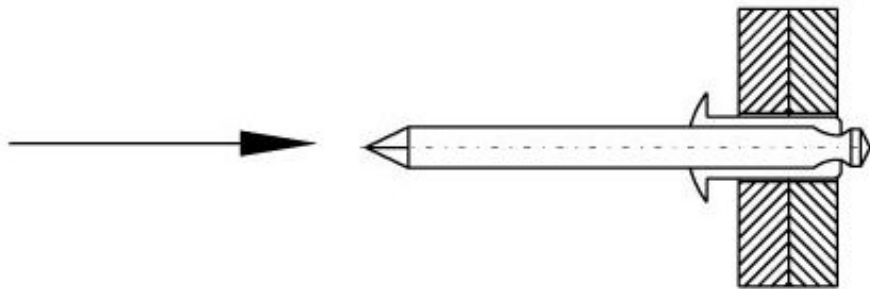
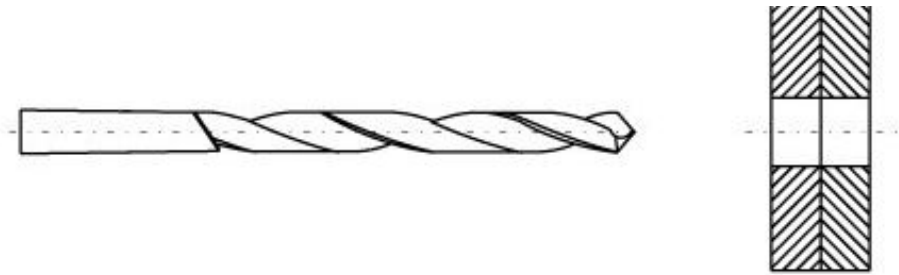


2)

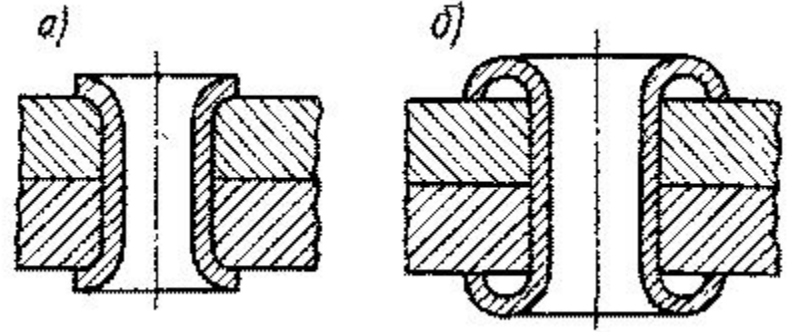




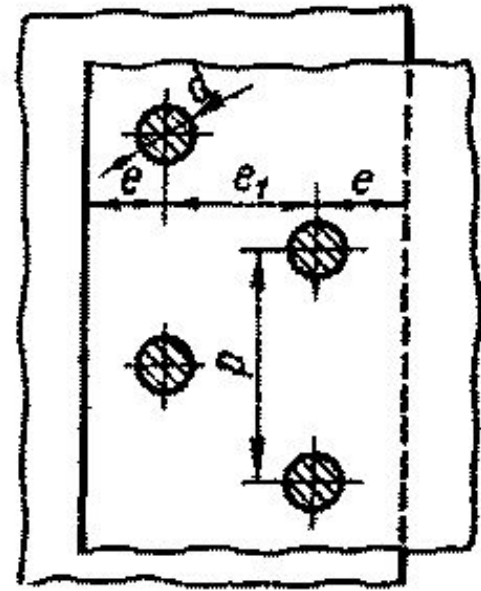
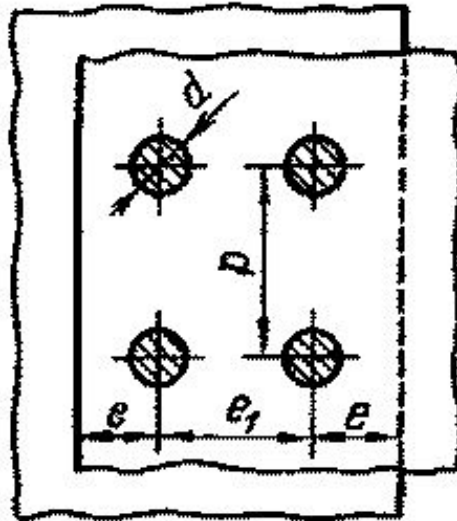
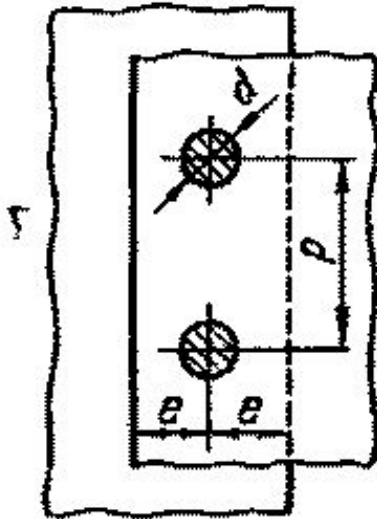
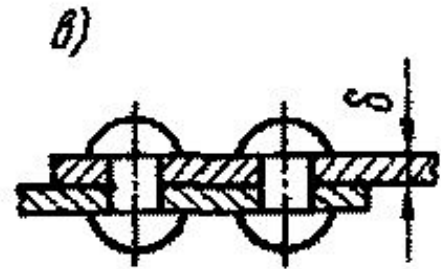
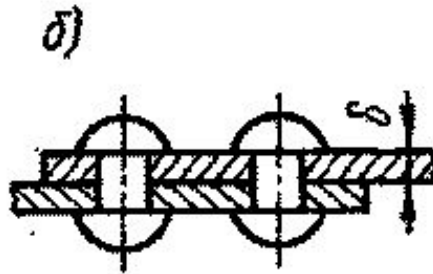
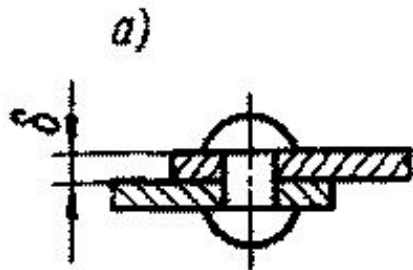
Вариант заклёпки с сердечником, без
осаживания пистона в отверстии



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*

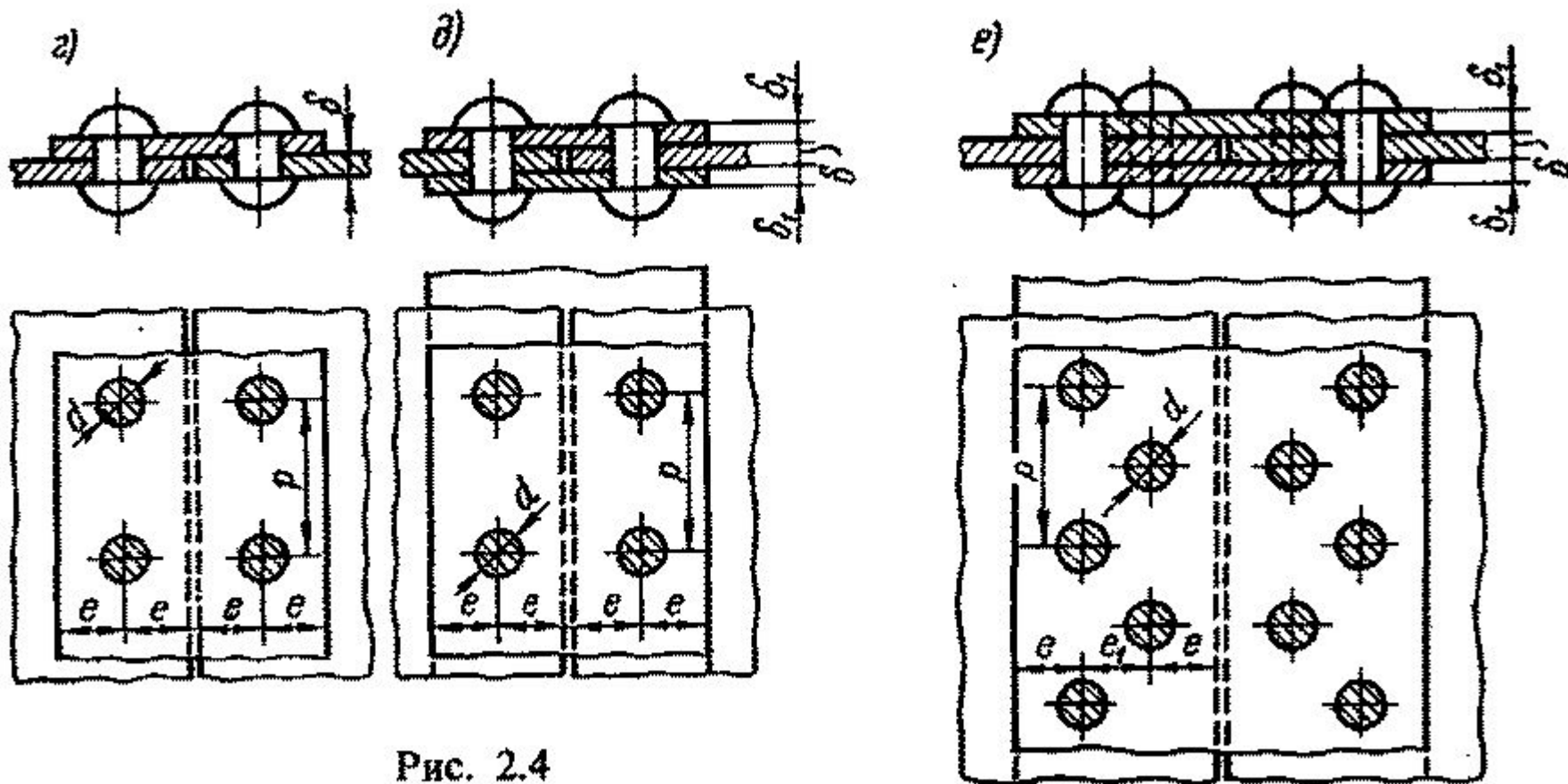
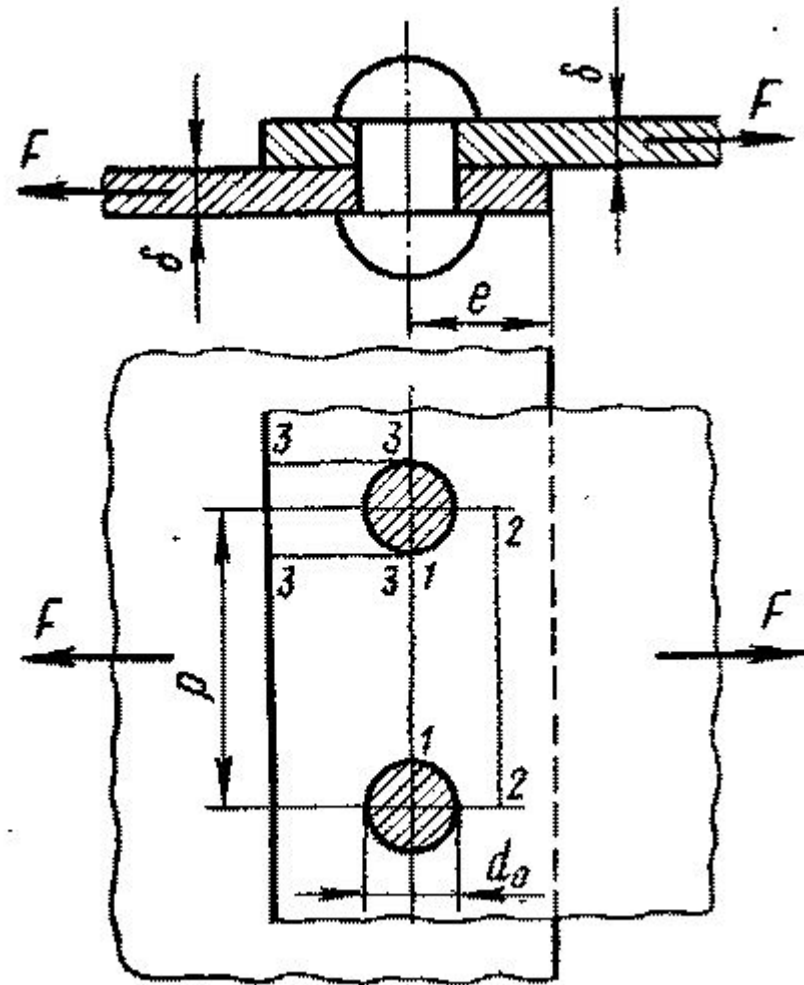


Рис. 2.4

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

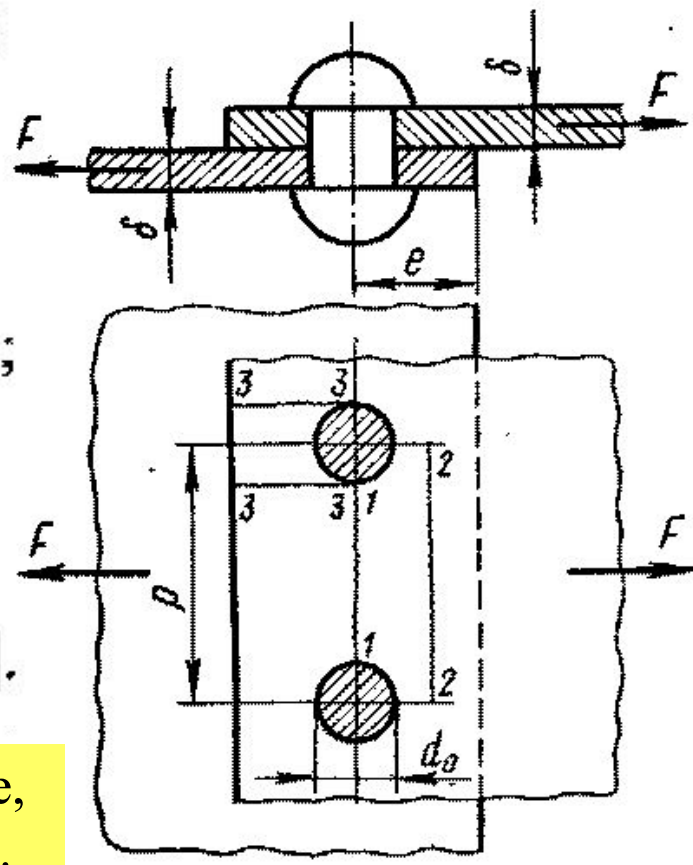
$$\sigma_{см} = F / (d_0 \delta) \leq [\sigma_{см}];$$

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.

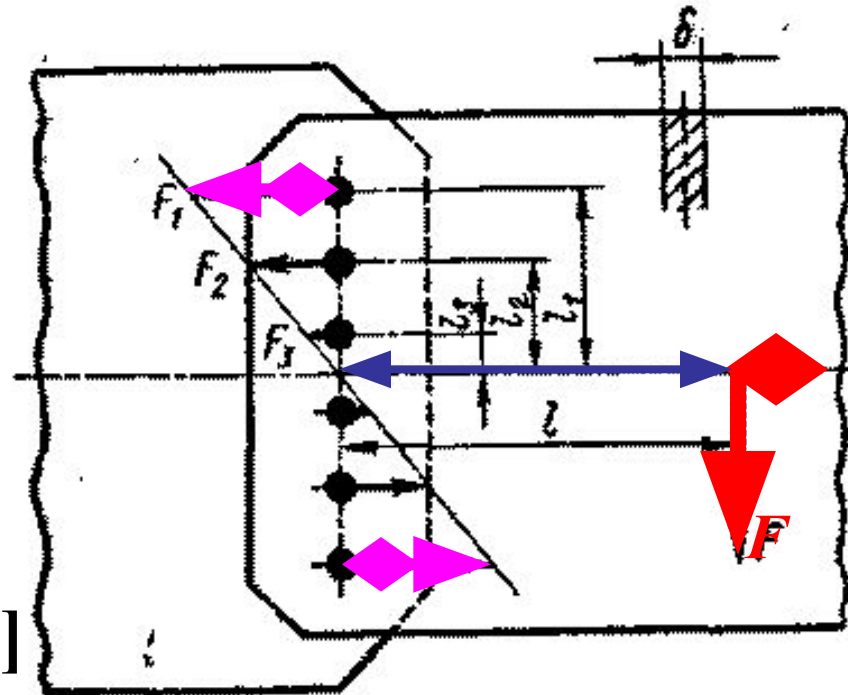
$$Z \geq \frac{F}{\left[\gamma \left(\pi \cdot d_o^2 / 4 \right) \cdot [\tau_c] \right]}$$

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,

$$M = Fl = 2(F_1 l_1 + F_2 l_2 + F_3 l_3),$$

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 $[\sigma_{cm}] = 280$ МПа и для заклепок из Ст3 - $[\tau_c] = 140$ МПа и $[\sigma_{cm}] = 320$ 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.

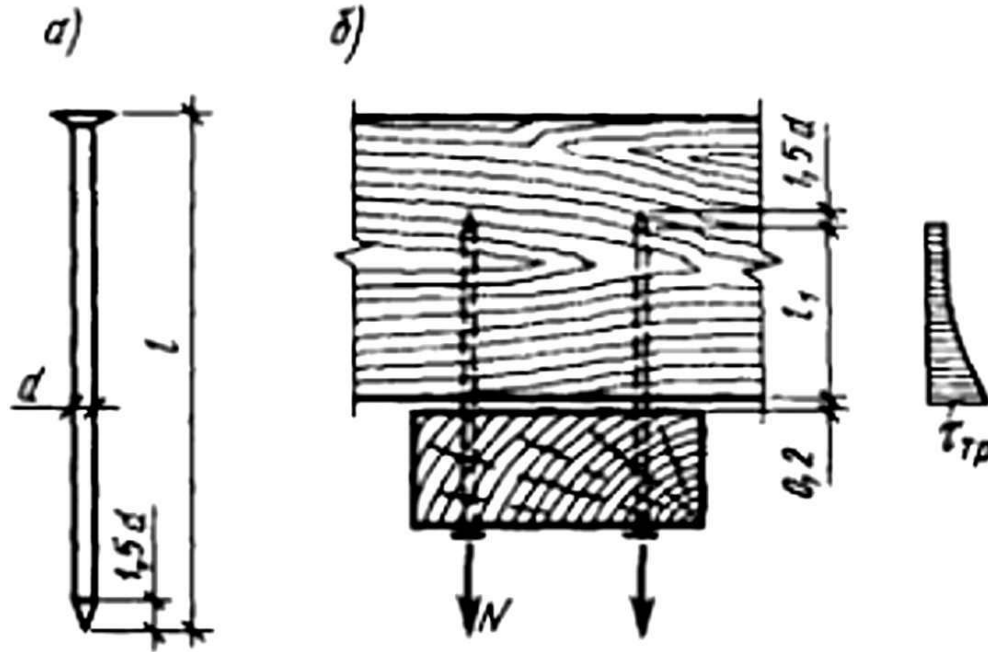
Достоинства заклепочных соединений:

- 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, корбящихся 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).

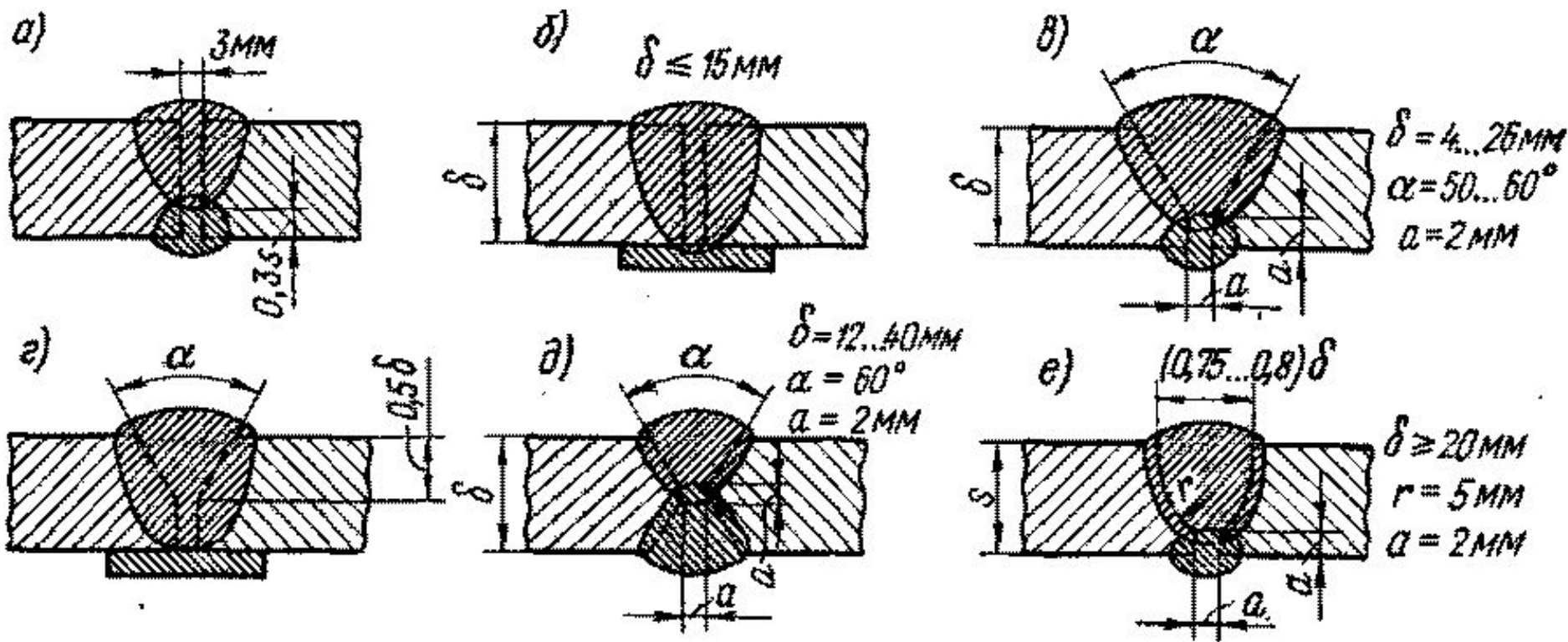
Затвердевший после сварки металл, соединяющий сваренные детали, называется **сварным швом**.

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.

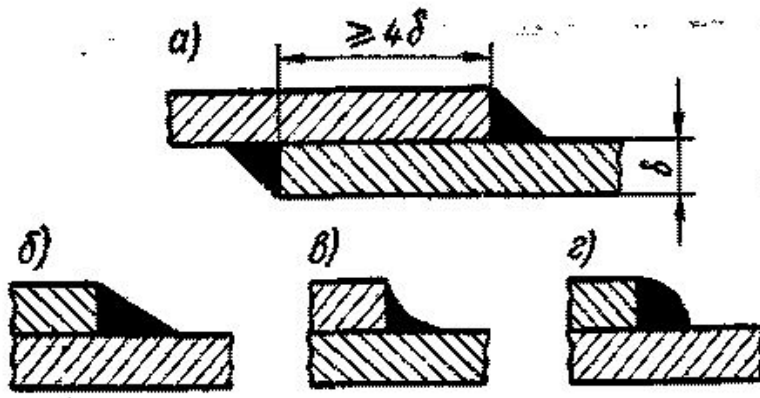
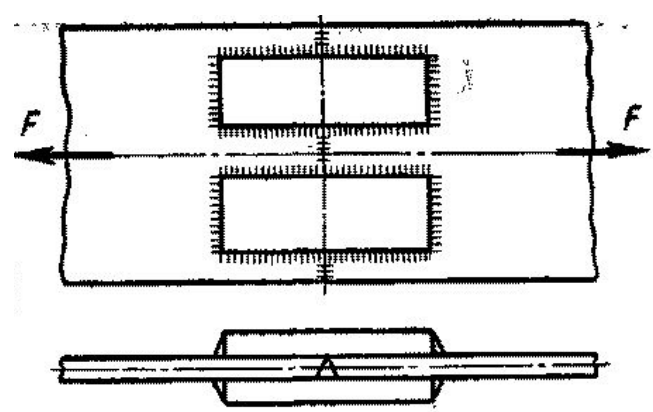
Из большого разнообразия существующих видов сварки в машиностроении применяют: ручную дуговую **сварку плавящимся электродом**, автоматическую **дуговую сварку плавящимся электродом под флюсом**, **электрошлаковую сварку и контактную сварку** — стыковую, шовную и точечную. Первые три способа относятся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

Сварные швы стыковых соединений называют **стыковыми**.

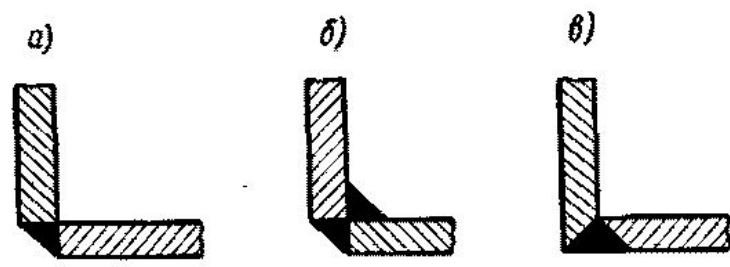


Угловые соединения

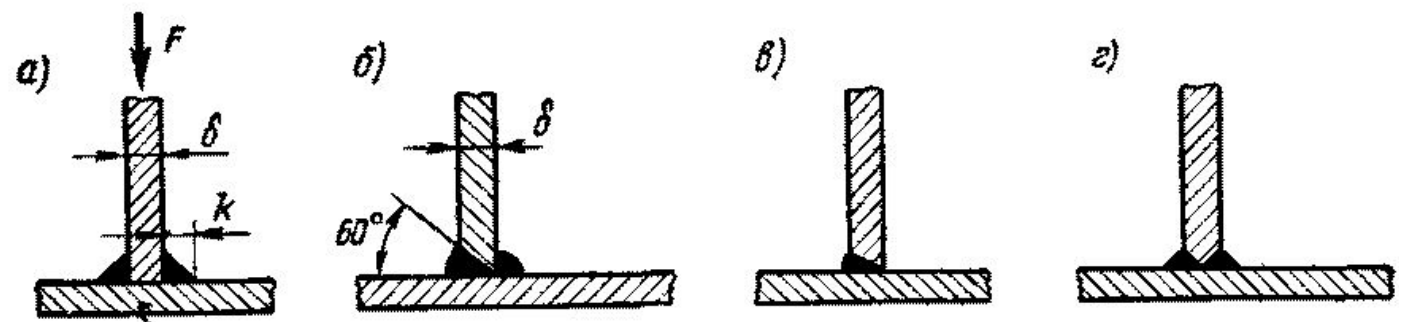
Швы нахлесточные.



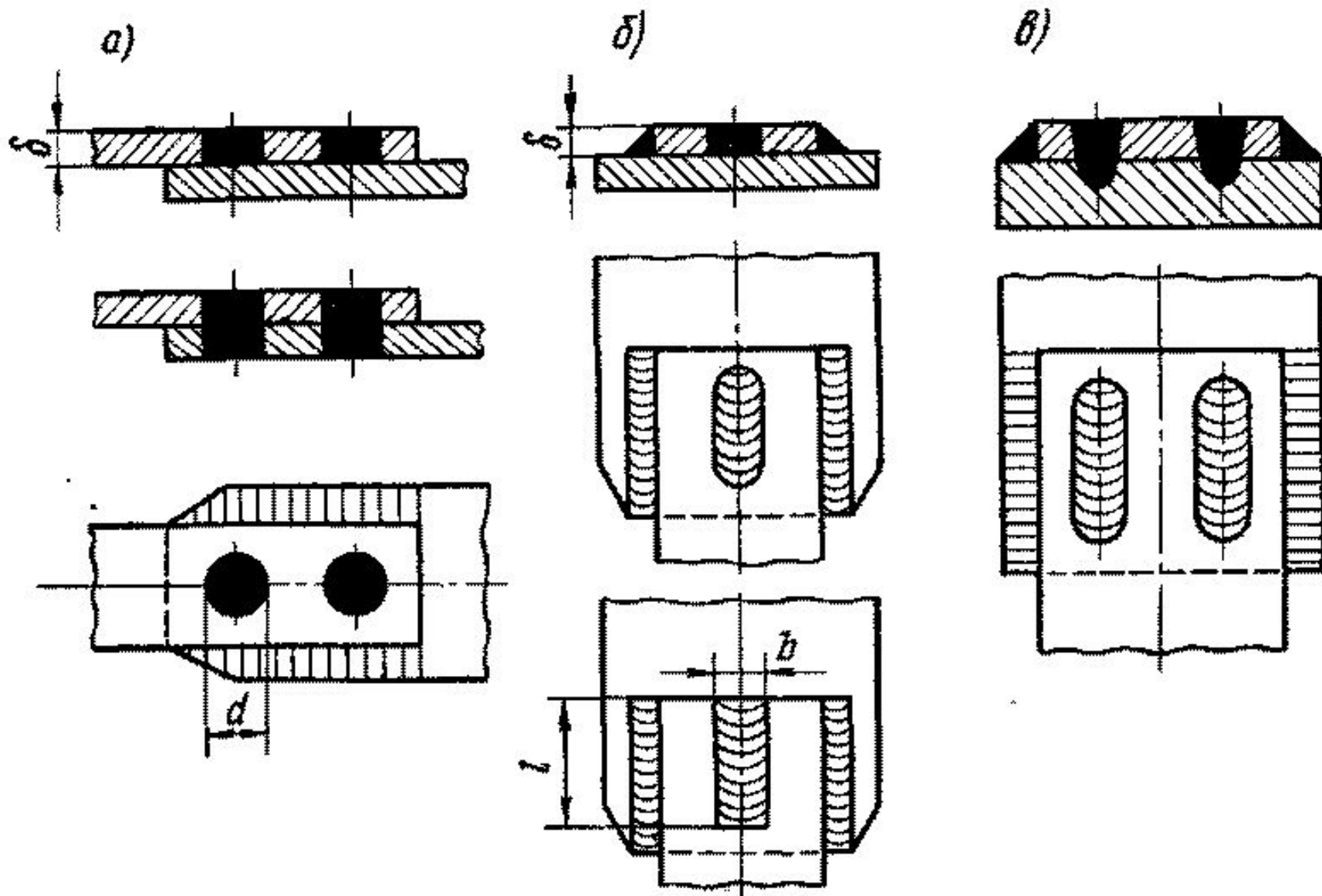
Швы угловые.



Швы тавровые.



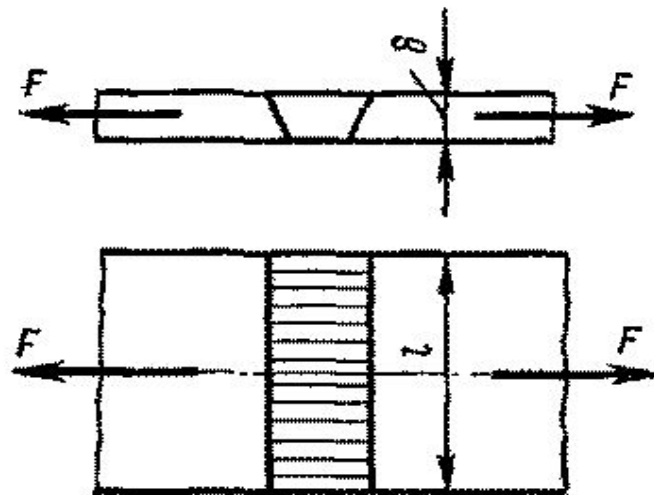
Если в нахлесточном соединении угловые, швы не обеспечивают требуемой прочности, то иногда дополнительно к угловым применяют пробочные, прорезные, или проплавные швы.



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): $k = \delta$.

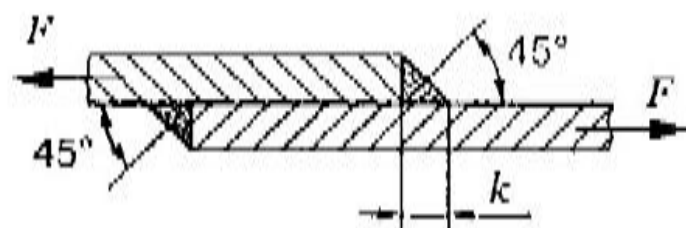


Рис. 20.4. Нахлесточное соединение

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.

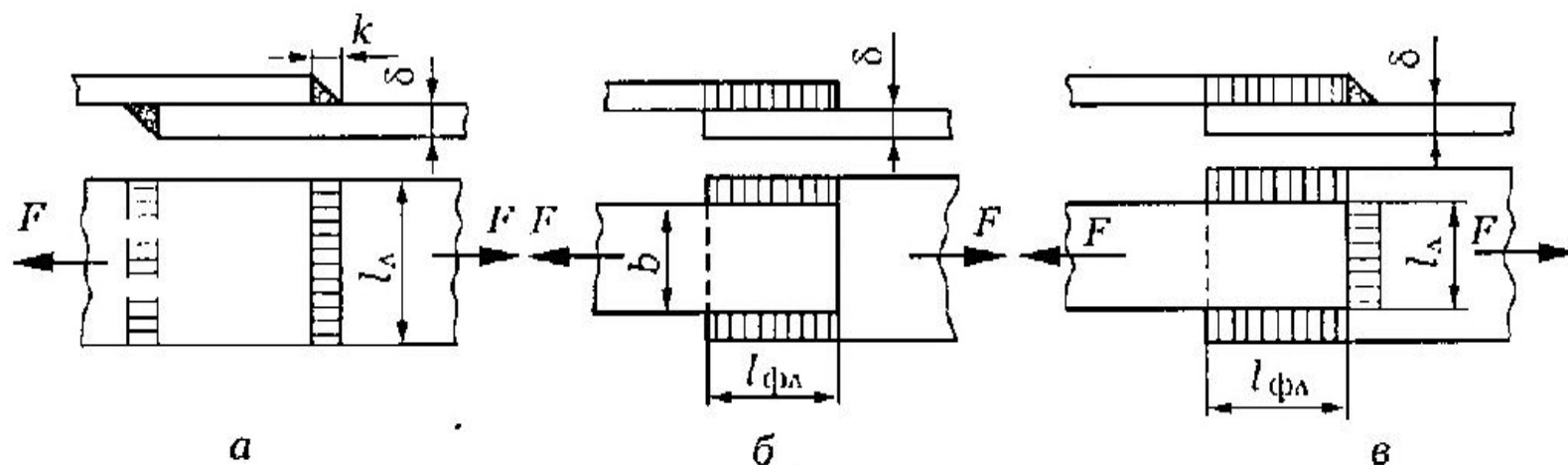


Рис. 20.5. Нахлесточные соединения: а — лобовыми швами; б — фланговыми швами; в — комбинированное

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

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

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

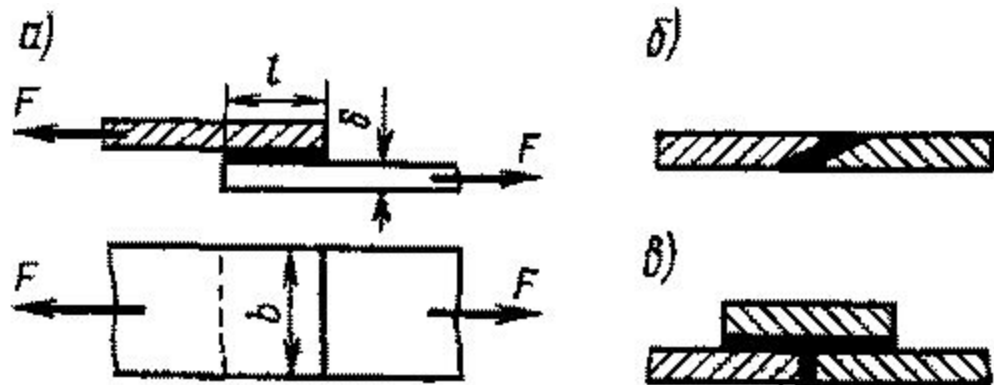
$$в) \tau'_c = \frac{F}{0,7k(l_n + 2l_{фл})} \leq [\tau_c]'.$$

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.



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

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. $1 \text{ н/мм}^2 = 1 \text{ МПа}$

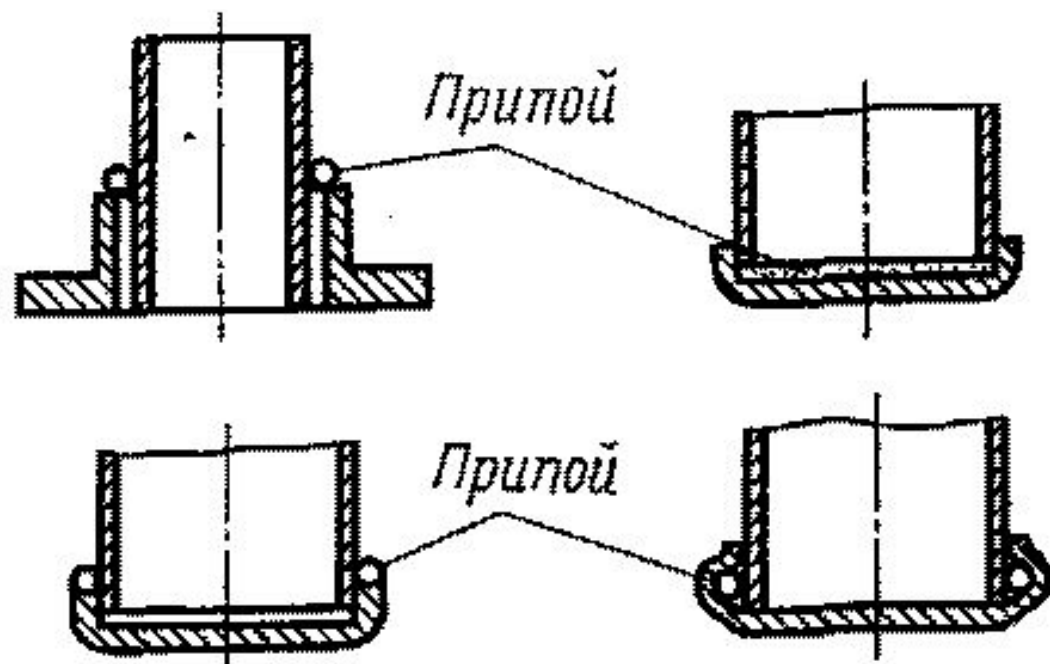
Марка	Температура эксплуатации, °С	Пределы прочности при 20 °С, МПа		Обозначение клея по табл. 4.22
		$\tau_{\text{сд}}$	$\sigma_{\text{от}}$	
ФР-12	До 200	8,3	3	1
БФ-2	(—60)—(80)	16,7	37,7	2
БФР-4	(—60)—(200)	16,7	30	3
ВС-10Т	(—60)—(300)	16,18	78	4
ФРАМ	До 80	2,94	5,88	5
ВК-32-200	(—60)—(60)	16,5	45	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 припой 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 припой применяют для соединений, несущих нагрузки. При статических нагрузках применяют припой на медной основе, а для соединений, воспринимающих ударные и вибрационные нагрузки,— припой 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	$\alpha \cdot 10^3, ^\circ\text{C}^{-1}$	$\rho_R \cdot 10^6, \text{Ом} \cdot \text{м}$	$\sigma_B, \text{МПа}$	$\gamma \cdot 10^3, \text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$
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	$\gamma \cdot 10^3, \text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$	$\rho_R \cdot 10^6, \text{Ом} \cdot \text{м}$	$\sigma_B, \text{МПа}$	$\delta, \%$	$\sigma_{y, \text{МПа}}$
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	—