

Лекция 8а

Соединения деталей машин.

Неразъемные соединения.
Характеристика и расчеты сварных и
паяных соединений. Заклепочные
соединения.

Соединение — процесс изготовления изделия из деталей, сборочных единиц (узлов), агрегатов путём физического объединения в одно целое.

1 Классификация

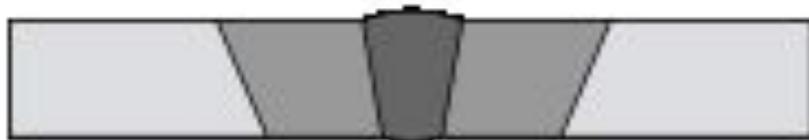
1.1 Неразъёмные соединения

1.2 Разъёмные соединения

1.3 Условно разъёмные соединения

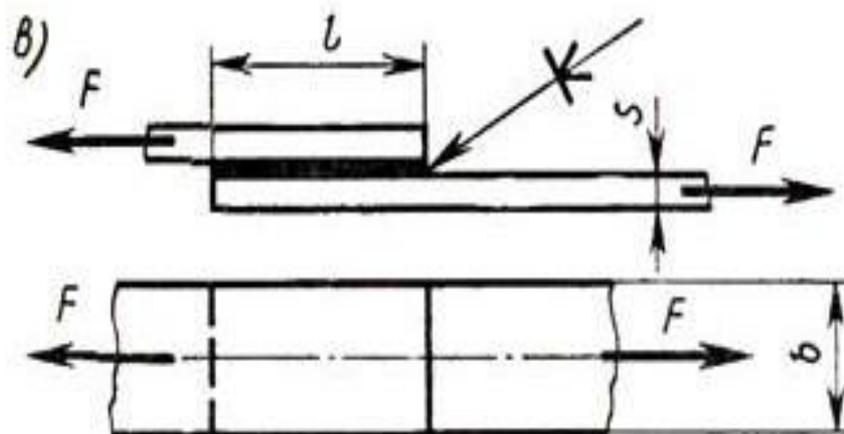
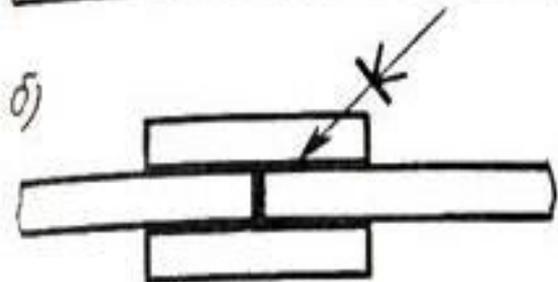
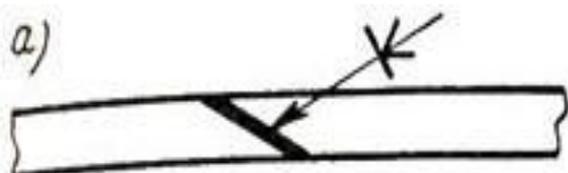
Неразъемные соединения

- сварные соединения

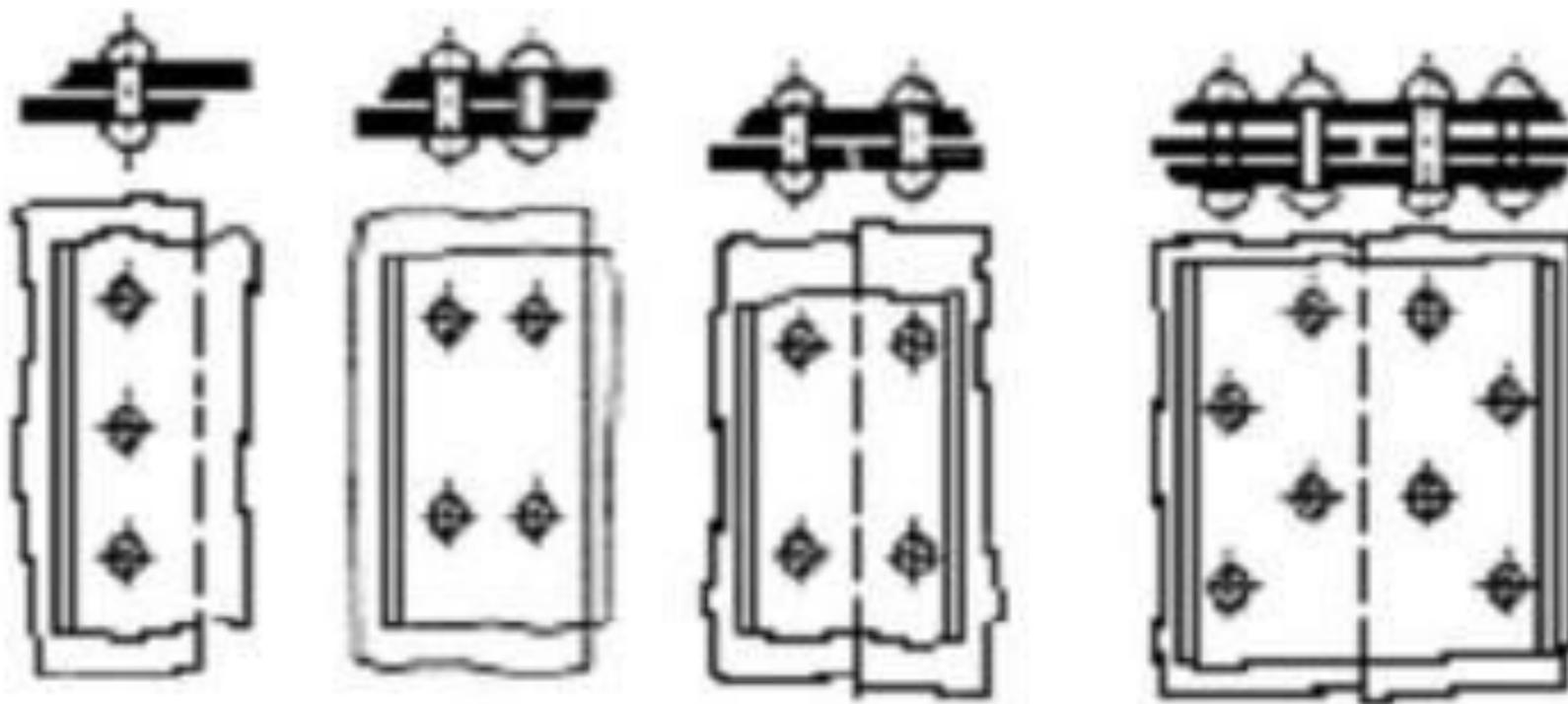


- паяные соединения

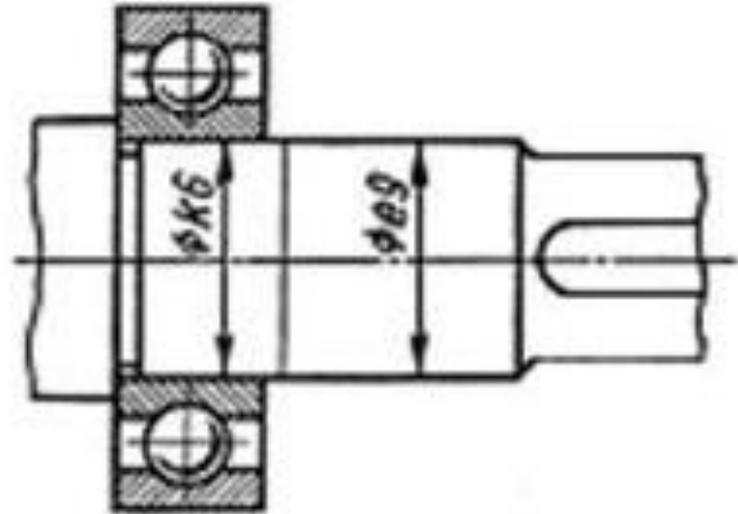
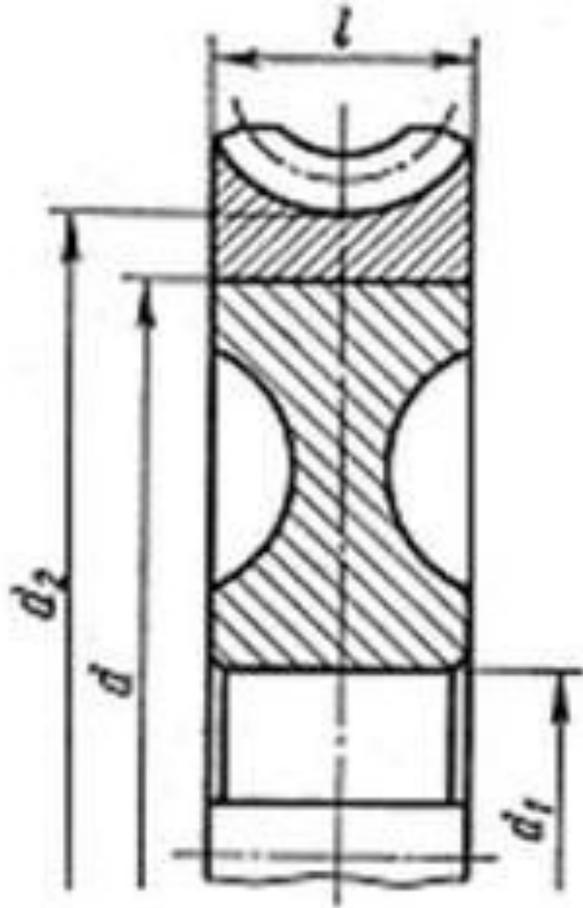
- КЛЕЕВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ



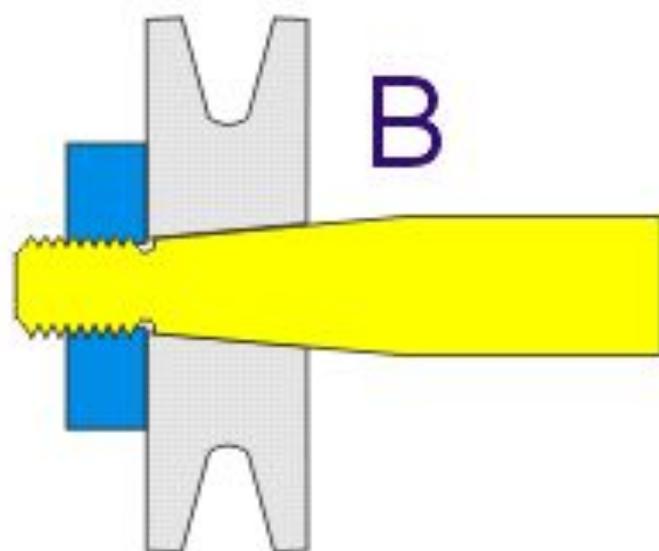
- заклёпочные соединения (клёпаное соединение)



Условно разъемные соединения
- соединения с натягом



Горячая посадка (А). Ступица должна быть нагрета перед сборкой, чтобы ее диаметр стал больше. Это позволяет соединить вал со ступицей. После охлаждения до комнатной температуры соединяемые детали невозможно разъединить без разрушения поверхности.



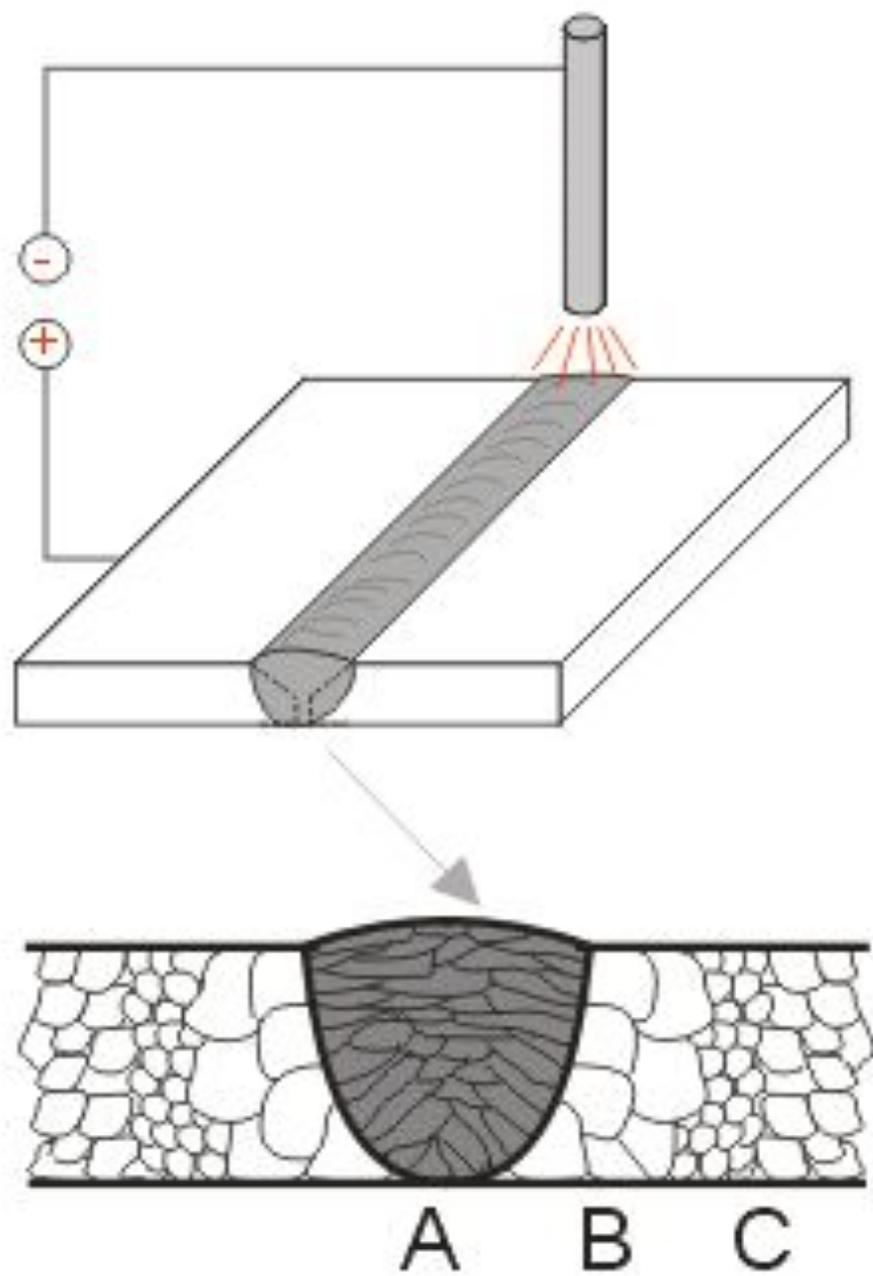
Сварное соединение

Сварное соединение — неразъёмное соединение, выполненное сваркой.

Сварка – это метод соединения двух деталей расплавлением. Сварные соединения являются постоянными соединениями металлов (железа, сталей, алюминиевых сплавов, ...) или пластичных материалов. Сосуды давления свариваются автоматической электродуговой сваркой.

Стальные элементы автомобилей с толщиной 1-4 мм свариваются точечной сваркой.

Алюминий и сталь не могут быть сварены вместе, так как они имеют различные температуры плавления.



Сварное соединение включает три характерные зоны, образующиеся во время сварки:

- зону сварного шва «А»;
- зону сплавления и зону термического влияния «В»;
- часть металла, прилегающей к зоне термического влияния «С».

Высокая температура воздействует на структуру базового металла.

Размер зерна увеличивается на границах сварного соединения в высокотемпературной зоне (ВТЗ) «В».

Вне ВТЗ размер зерна такой же как у базового металла.

Прочность базового металла «С» и сварного шва «А» обычно выше, чем прочность ВТЗ «В».

Сварной шов — участок сварного соединения, образовавшийся в результате кристаллизации расплавленного металла или в результате пластической деформации при сварке давлением или сочетания кристаллизации и деформации.

Металл шва — сплав, образованный расплавленным основным и наплавленным металлами или только переплавленным основным металлом

Качество сварных швов зависит от режима сварки. Такой дефект, как непроварка шва вызван неподходящим режимом сварки (длина дуги, высокая скорость сварки).

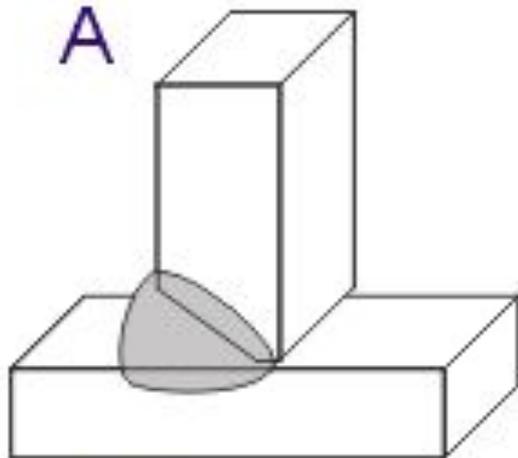
Наиболее часто используемые сварные швы:

А. Т-шов;

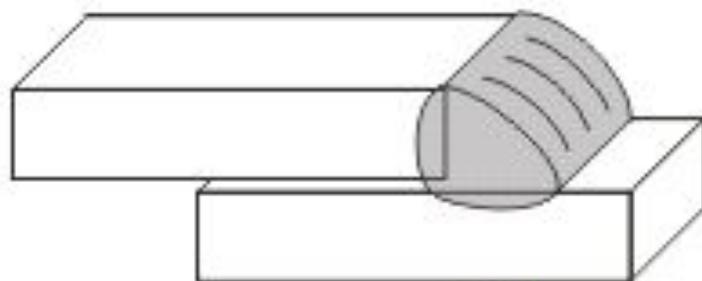
В. Нахлесточный шов;

С. Стыковой шов.

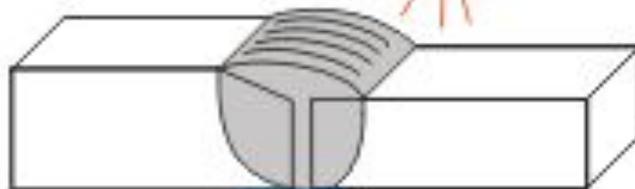
A



B



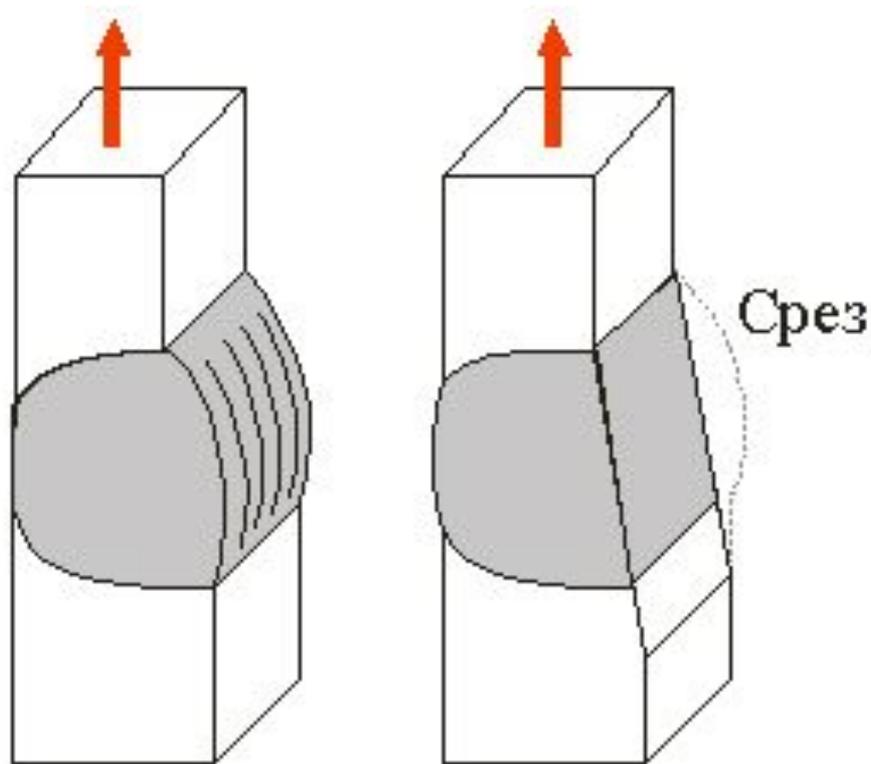
C



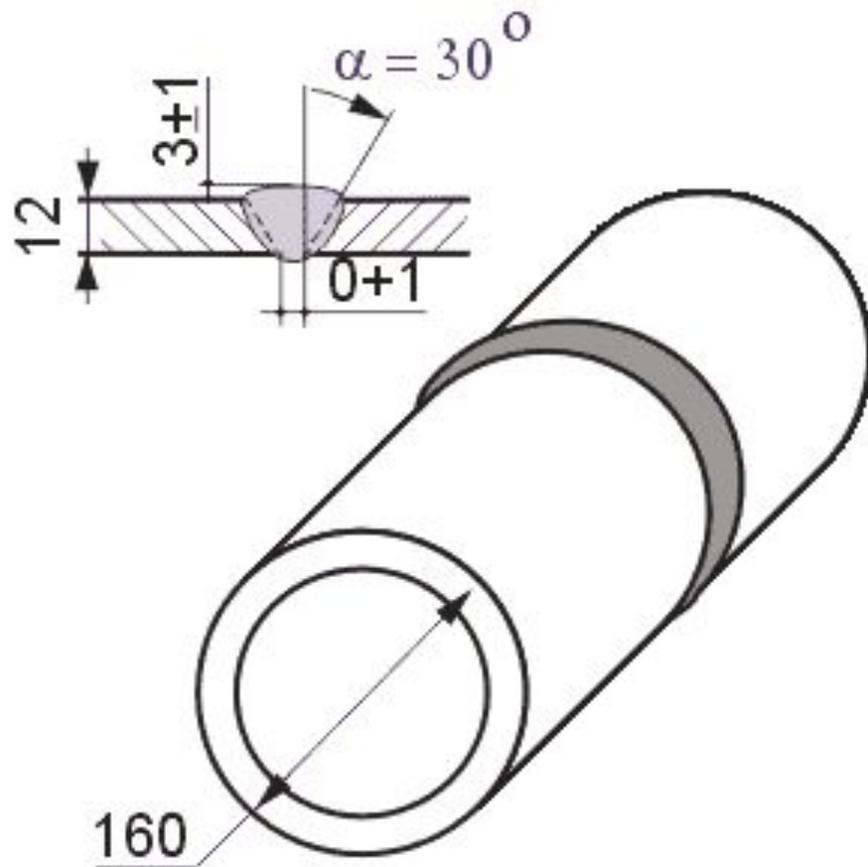
Пленка

Различные методы неразрушающих испытаний (МНИ) используются для контроля качества сварных швов. Стыковая сварка может быть легко испытана радиографическим МНИ. Результаты МНИ более надежны для этого типа соединения.

Операция срезания уменьшает концентрацию напряжений. Это позволяет увеличивать статическую прочность на растяжение на 5-10%, усталостную прочность на 20-50% и количество циклов до разрушения в 2-10 раз.

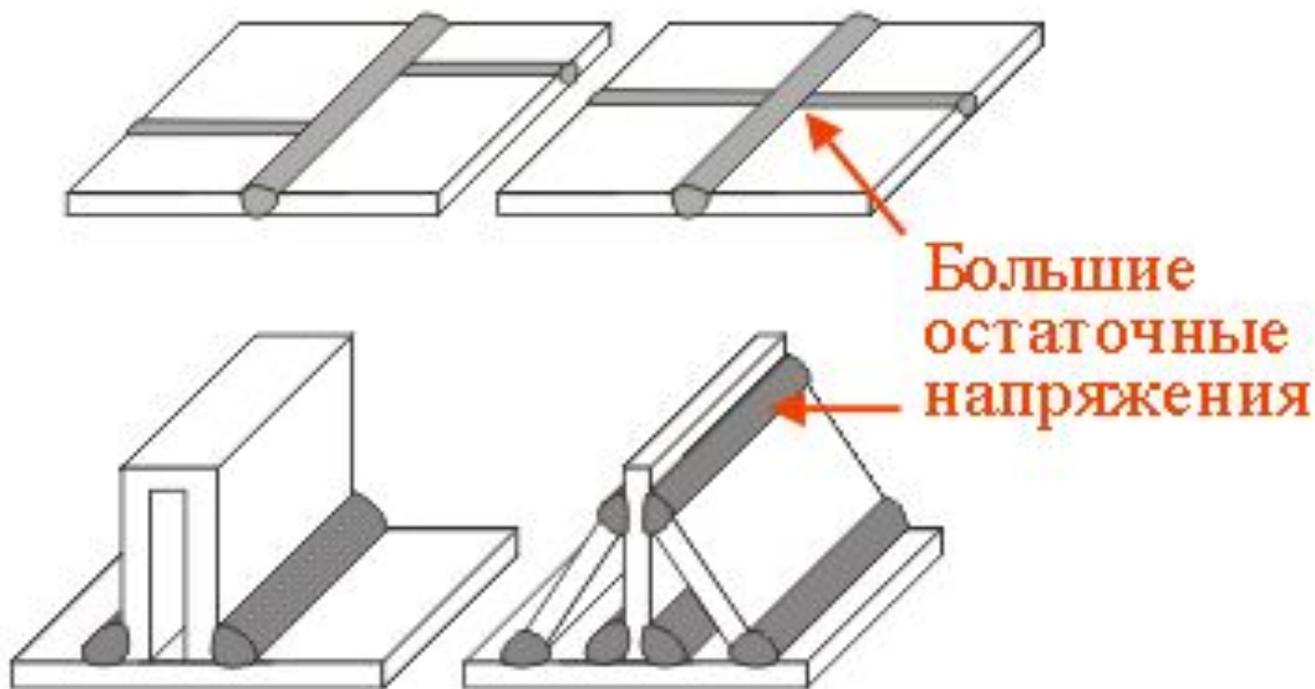


Предварительная подготовка кромок гарантирует полное расплавление и высокое качество соединения. Соединения могут быть сварены за один проход или за несколько проходов. Подготовка кромок зависит от толщины. $\alpha = 30^\circ$ обычно применяется для небольших толщин.

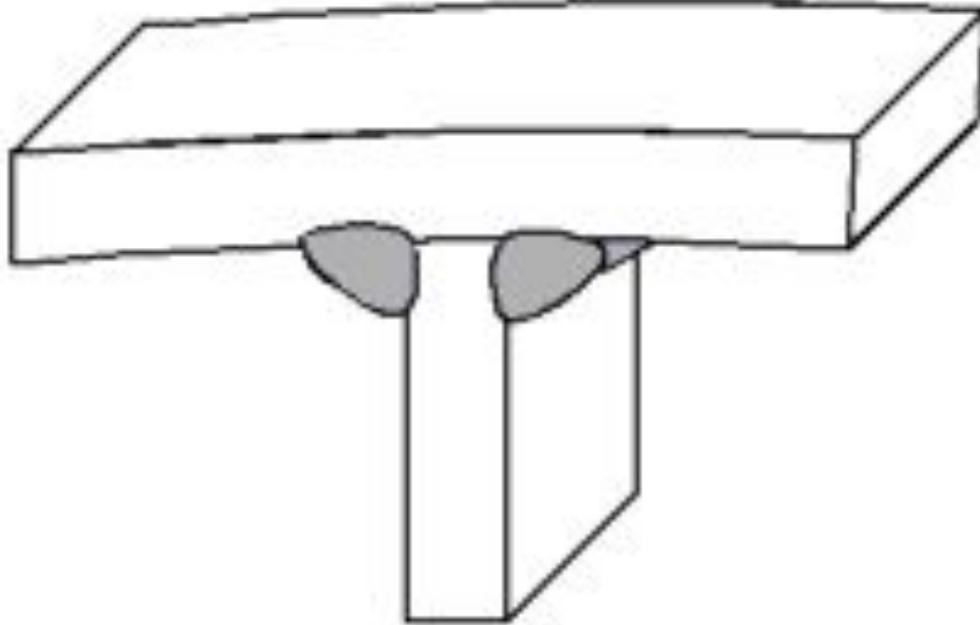


Лучше избегать пересечений нескольких стыковых швов. Пересечения создают концентрацию зон поврежденных высокой температурой.

Чем больше количество сварных швов и меньше закрытых структурных контуров, тем выше остаточное напряжение в сваренной структуре.

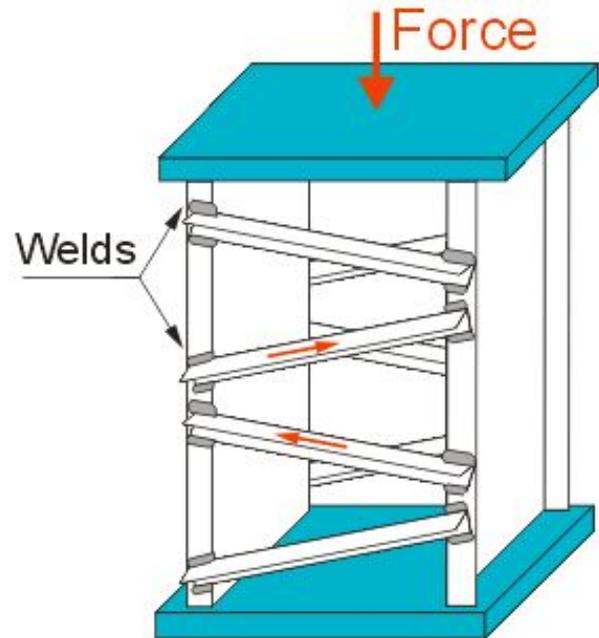


Сваренный металл сжимается при охлаждении. Сварные “натяжения” металлических листов стремятся в центр сварного шва. На рисунке все деформации более увеличены.



Высокотемпературная обработка уменьшает остаточное напряжение и не оказывает никакого влияния на модули упругости металлических частей и сварных швов.

В раскосах имеются растягивающие и сжимающие силы. В сварных швах доминируют напряжения сдвига.



Напряжения "среза" не изменяют площадь поперечного сечения вдоль всей длины структуры. Они не оказывают существенного влияния на жесткость сварных структур.

Достоинства сварных соединений:

1. Экономия материала (Сварные конструкции в среднем легче клепанных на 20-25%)
2. Плотность и непроницаемость соединений
3. Возможность соединения деталей любых криволинейных профилей произвольной толщины
4. Трудоемкость сварного соединения значительно меньше заклепочного
5. Бесшумность технологического процесса сварки и возможность ее автоматизации

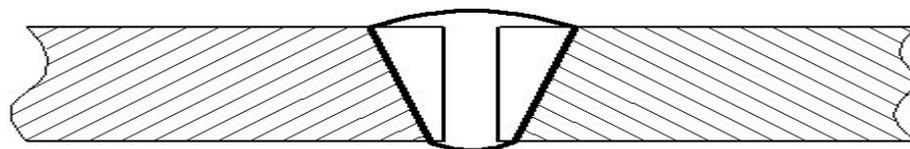
Недостатки сварных соединений:

1. Сложность проверки качества шва (только визуально)
2. Возможность нарушения физико-химических свойств соединяемых деталей в зоне сварки
3. Наличие внутренних "напряжений" в зоне сварки, что снижает прочность соединения

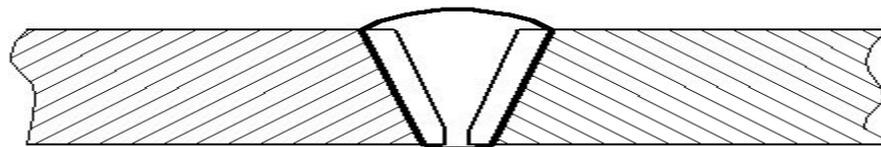
Основные типы сварных соединений

Стыковое — сварное соединение двух элементов, примыкающих друг к другу торцовыми поверхностями.

без раздела кромок

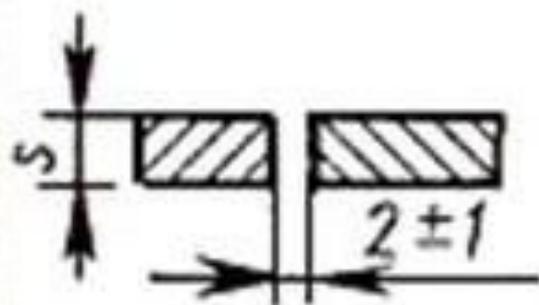


с симметричной V-образной разделкой кромок



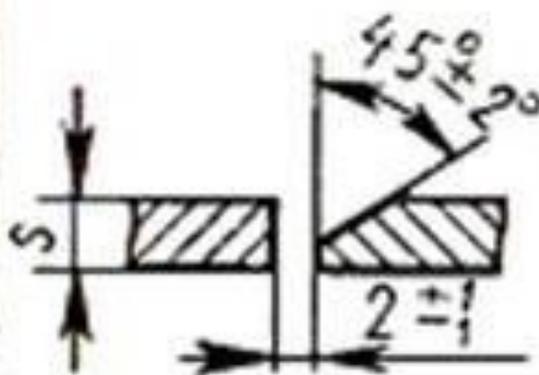
Без ско-
са кро-
мок

Двусто-
ронний



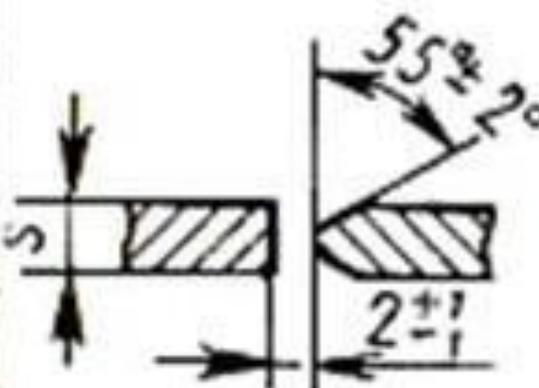
Со ско-
сом од-
ной
кромки

Одно-
сторон-
ний



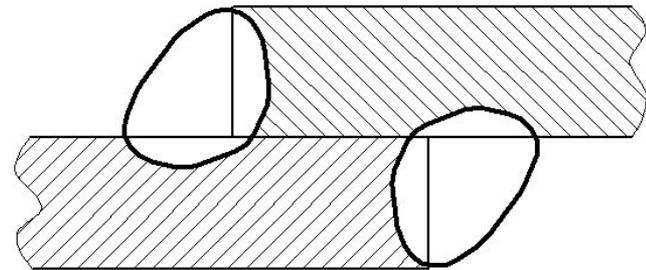
С двумя
симмет-
ричны-
ми ско-
сами
одной
кромки

Двусто-
ронний

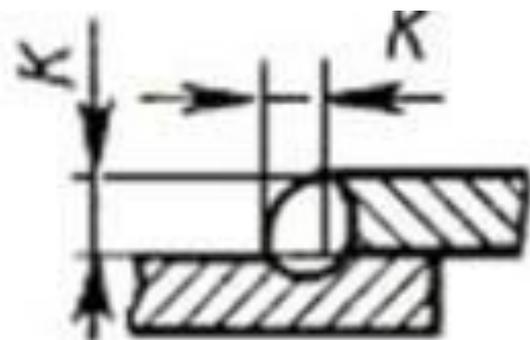
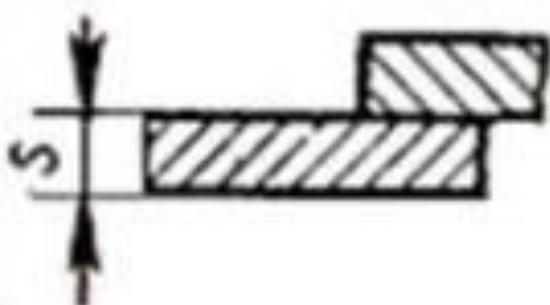


Нахлѐсточное — сварное соединение, в котором сваренные элементы расположены параллельно и частично перекрывают друг друга.

Двустороннее нахлѐсточное сварное соединение.

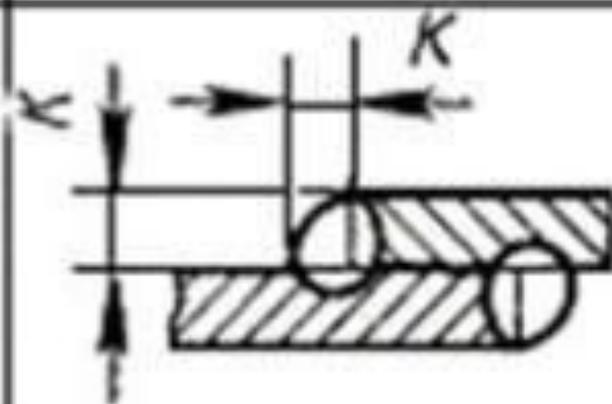
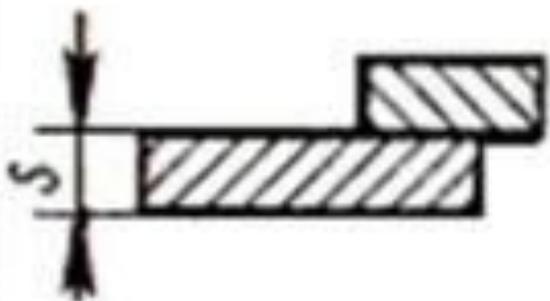


Одно-
сторон-
ний



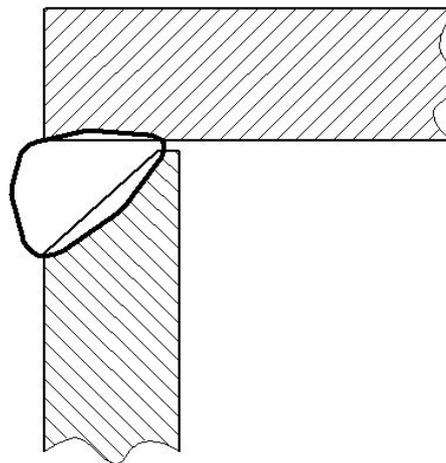
Без ско-
са кро-
мок

Двусто-
ронний



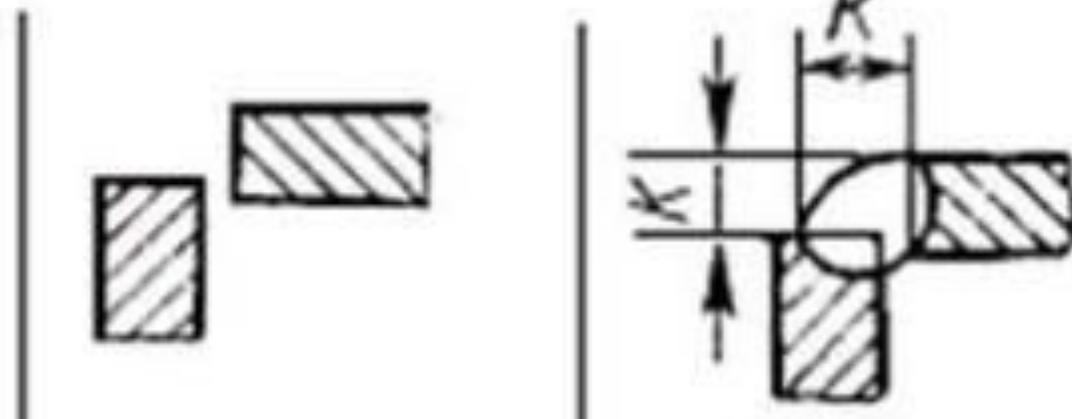
Угловое — сварное соединение двух элементов, расположенных под углом и сваренных в месте примыкания их краев.

Угловое сварное соединение с односторонней разделкой кромок под сварку.



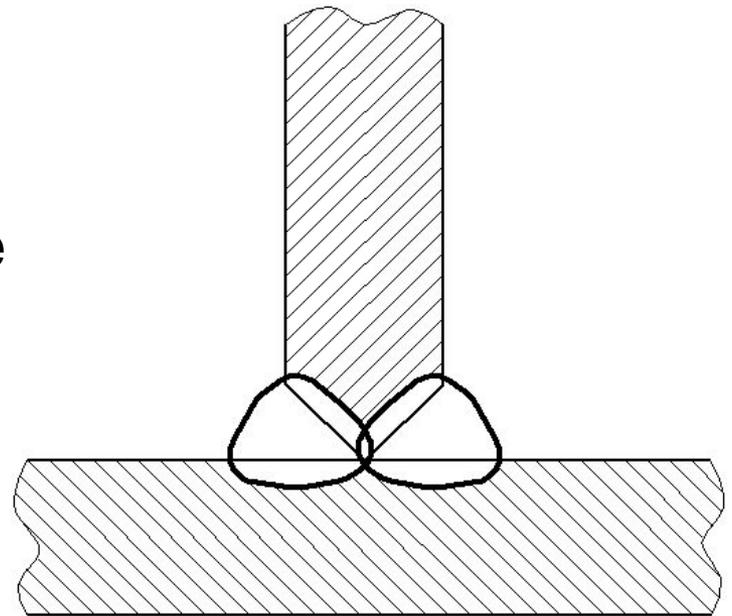
Без ско-
са кро-
мок

Одно-
сторон-
ний



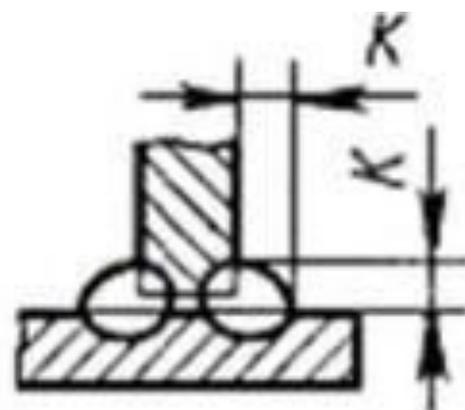
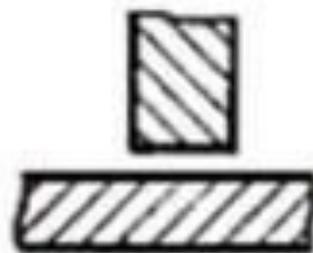
Тавровое — сварное соединение, в котором торец одного элемента примыкает под углом и приварен к боковой поверхности другого элемента.

Тавровое сварное соединение с симметричной разделкой кромок под сварку.

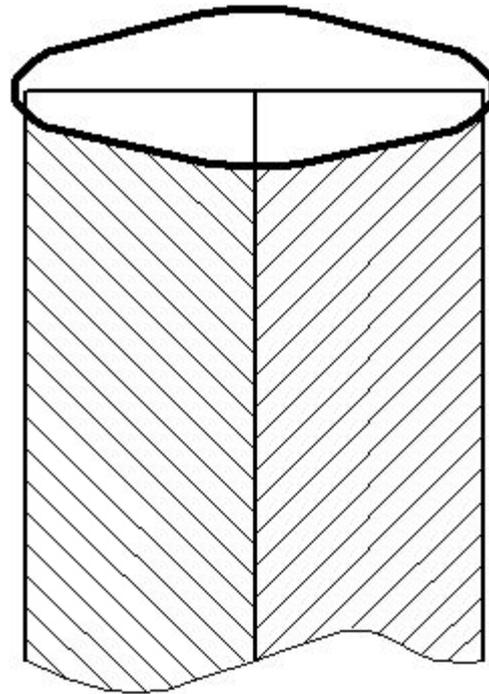


Без ско-
са кро-
мок

Одно-
сторон-
ний



Торцовое — сварное соединение, в котором боковые поверхности сваренных элементов примыкают друг к другу.

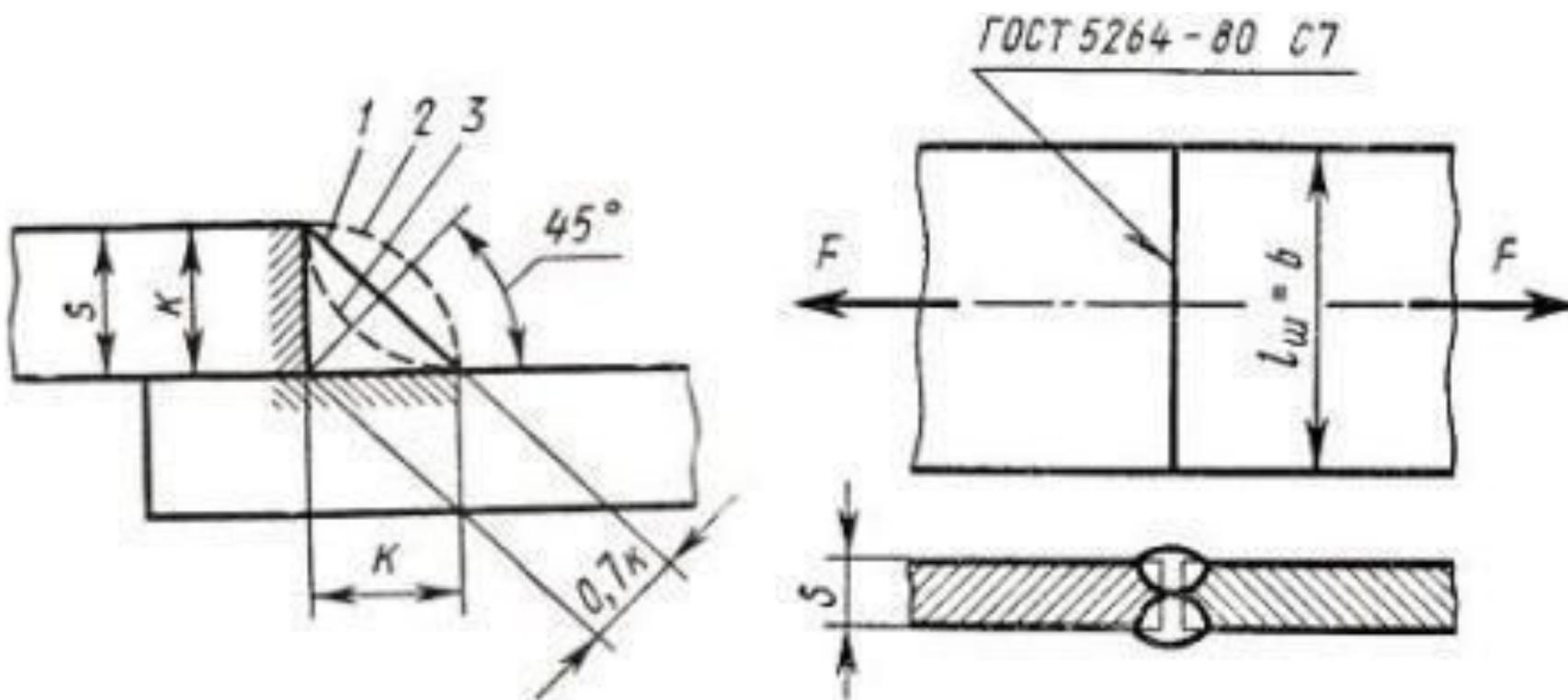


Геометрия сварного шва

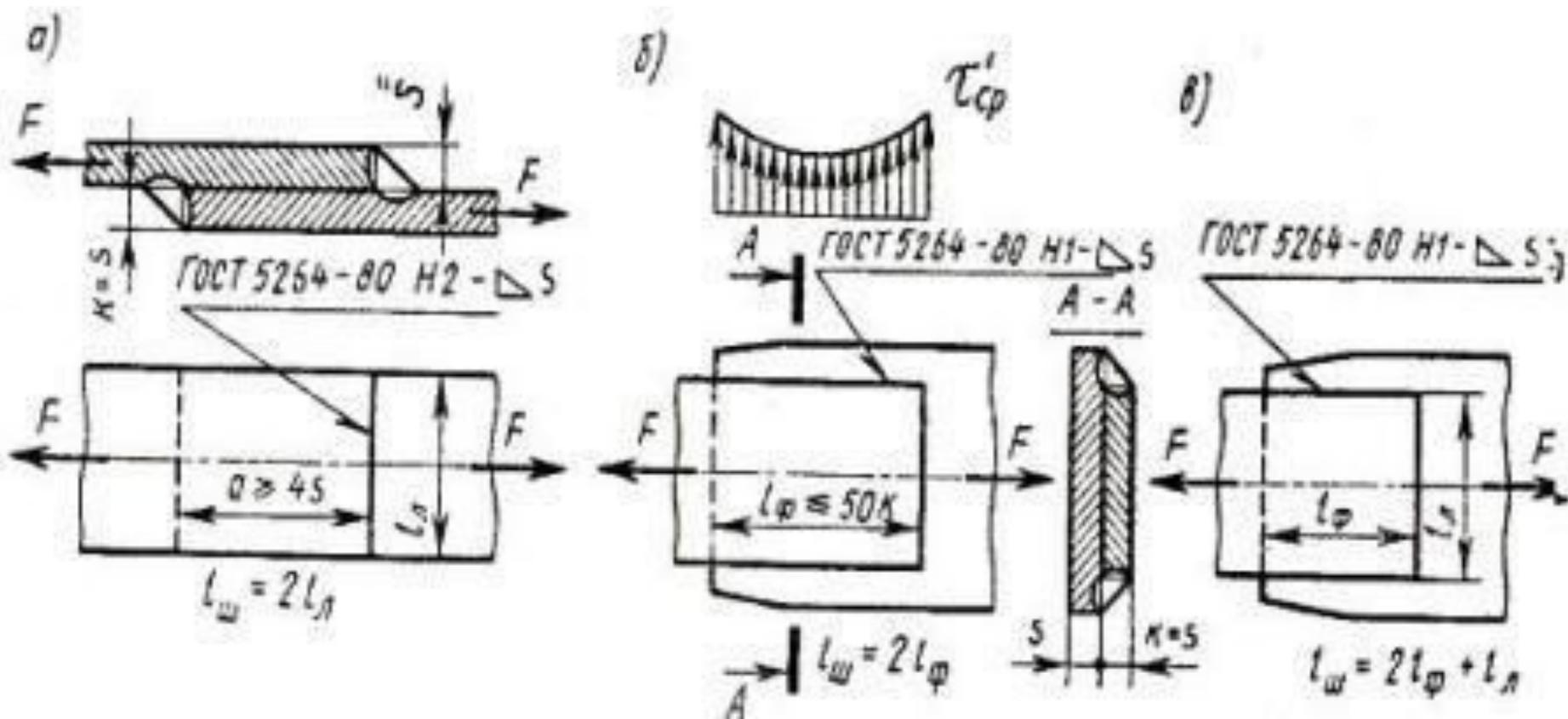
Сварной шов характеризуется катетом «К», толщиной свариваемых деталей «S», длиной шва «lш».

Сварные швы могут быть непрерывными и прерывистыми.

Сварные швы по форме поперечного сечения могут быть нормальными 1, выпуклыми 2 и вогнутыми 3.



В зависимости от расположения к направлению действующей нагрузки различают швы лобовые (а) и фланговые (б); косые и комбинированные (в).



Критерии работоспособности сварных соединений
Критерием работоспособности сварных соединений является прочность, причём предполагается, что напряжение в опасных сечениях распределены равномерно.

Расчёты сварных соединений:

условие прочности
стыковых швов

$$\sigma_p = \frac{F}{S \cdot l_m} \leq [\sigma_p]$$

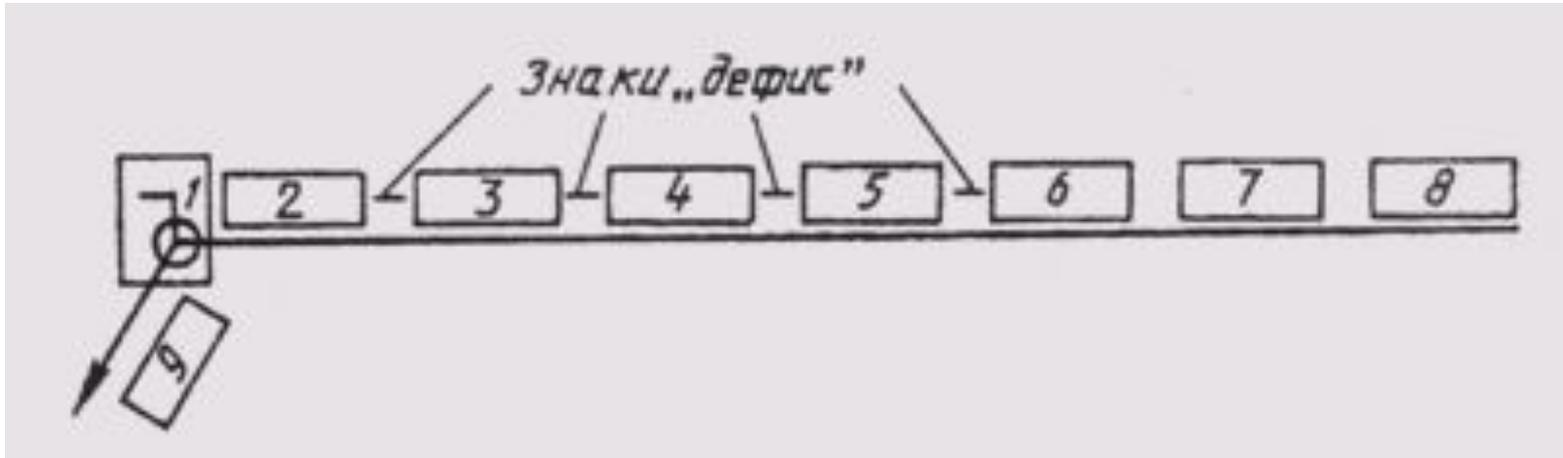
нахлесточные
соединения
рассчитываются на срез:

$$\tau_{ср} = \frac{F}{0,7 \cdot K \cdot l_m} \leq [\tau_{ср}]$$

Допускаемые напряжения при расчёте сварных соединений принимают пониженными, в долях от допускаемых напряжений для основного металла. Нормы допускаемых напряжений для сварных соединений деталей из низко- и среднеуглеродистых сталей при статической нагрузке указаны в таблице

Способ сварки и марка электрода	Допускаемые напряжения при		
	растяжении $[\sigma']$	сжатии $[\sigma']$	срезе $[\tau']$
Автоматическая под флюсом и ручная дуговая электродами Э42А и Э50А	$[\sigma_p]$	$[\sigma_p]$	$0,65[\sigma_p]$
Ручная дуговая электр одами Э42 и Э50	$0,9[\sigma_p]$	$[\sigma_p]$	$0,6 \sigma_p]$

Обозначение на чертеже



- 1 — вспомогательные знаки, O — шов по замкнутому контуру,
| — монтажный шов;
- 2 — обозначение стандарта на тип и конструктивные элементы шва;
- 3 — буквенно-цифровое обозначение шва по этому стандарту;
- 4 — условное обозначение способа сварки по стандарту на данный шов;
- 5 — вспомогательный знак A — треугольник и размер катета шва;
- 6 — размеры в мм прерывистого шва со знаками: / — для цепного шва и
Z — для шахматного шва или] — знак незамкнутого контура сварки;
- 7 — вспомогательные знаки (Q или со) обработки шва;
- 8 — обозначение шероховатости механически обработанного шва;
- 9 — указание о контроле шва.

Пайка



Пайка — технологическая операция, применяемая для получения неразъёмного соединения деталей из различных материалов путём введения между этими деталями расплавленного материала (припоя), имеющего более низкую температуру плавления, чем материал (материалы) соединяемых деталей.

Спаиваемые элементы деталей, а также припой и флюс вводятся в соприкосновение и подвергаются нагреву с температурой выше температуры плавления припоя, но ниже температуры плавления спаиваемых деталей. В результате, припой переходит в жидкое состояние и смачивает поверхности деталей. После этого нагрев прекращается, и припой переходит в твёрдую фазу, образуя соединение.

Прочность соединения во многом зависит от зазора между соединяемыми деталями (от 0,03 до 2 мм), чистоты поверхности и равномерности нагрева элементов. Для удаления оксидной плёнки и защиты от влияния атмосферы применяют флюсы.

Разновидности

Пайка бывает низкотемпературная (до 450 °С) и высокотемпературная. Соответственно припой бывают легкоплавкие и тугоплавкие. Для низкотемпературной пайки используют в основном электрический нагрев, для высокотемпературной — в основном нагрев горелкой. В качестве припоя используют сплавы оловянно-свинцовые (Sn 90 % Pb 10 % с t° пл. 220 °С), оловянно-серебряные (Ag 72 % с t° пл. 779 °С), медно-цинковые (Cu 48 % Zn остальное с t° пл. 865 °С), галлиевые (t° пл. ~50°С), висмутовые (сплав Вуда с t° пл. 70 °С, сплав Розе с t° пл. 96 °С) и т. д.

К достоинствам можно отнести:

- пайка является высокопроизводительным процессом,
- обеспечивает надёжное электрическое соединение,
- позволяет соединять разнородные материалы (в различной комбинации металлы и неметаллы),
- отсутствие значительных температурных короблений (по сравнению со сваркой),
- паяные соединения допускают многократное разъединение и соединение соединяемых деталей (в отличие от сварки).

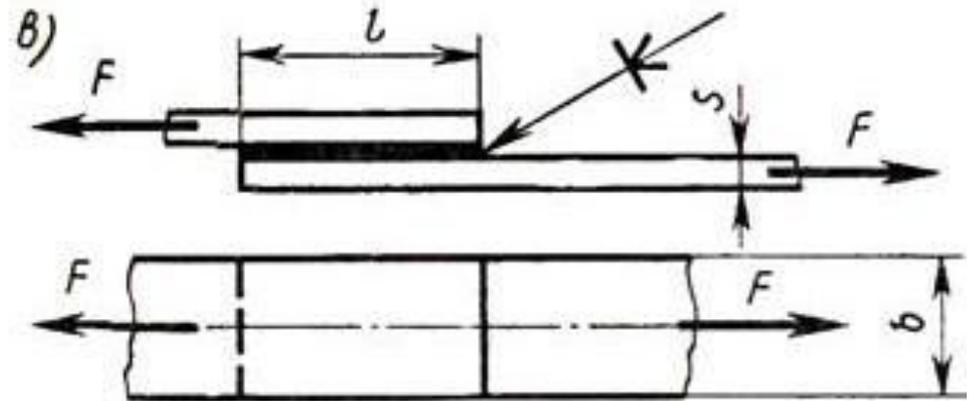
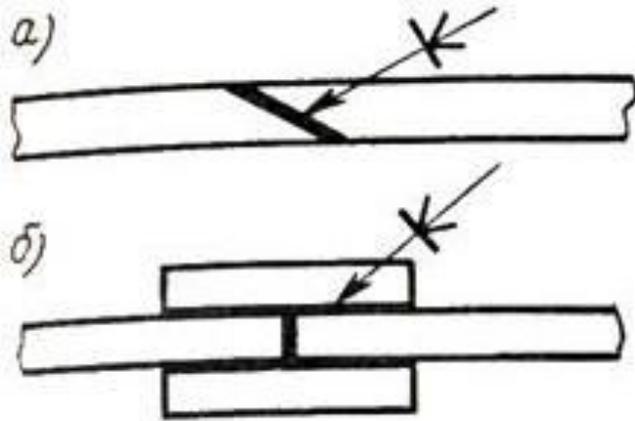
К недостаткам можно отнести относительно невысокую механическую прочность.

Клеевые соединения

Клеевое соединение - неразъёмное соединение деталей машин или строительных конструкций, осуществляемое с помощью клея. Клеевое соединение позволяет скреплять различные, в том числе и разнородные материалы, обеспечивая равномерное распределение напряжений.

Клеевое соединение используют при изготовлении изделий из стали, алюминия, латуни, текстолита, стекла, фанеры, древесины, ткани, пластмассы, резины и др. материалов, которые можно соединять в различных сочетаниях.

Виды клеевых соединений листов



Чаще всего с помощью клея выполняют соединения, работающие на сдвиг или равномерный отрыв. Такие соединения для стальных изделий обеспечивают предел прочности на сдвиг 20-35 Мн/м² (200-350 кг/см² , а в ряде случаев значительно выше. Прочность клеёного шва пластмасс обычно превышает прочность самого материала.

Достоинства клеевых соединений:

1. Коррозионная и бензомаслостойкость
2. Уменьшение массы конструкции по сравнению с другими видами неразъемных соединений
3. Невысокая концентрация напряжений в месте соединения
4. Возможность соединения практически любых конструкционных материалов
5. Возможность соединения деталей практически любой толщины
6. Герметичность и достаточная надежность соединения
7. Высокая усталостная прочность
8. Значительно меньшие, чем при сварке и клепке, трудовые затраты на единицу продукции

Недостатки клеевых соединений:

1. "Старение", т.е. снижение прочности соединения с течением времени (некоторые клеи обладают устойчивостью против старения)
2. Низкая теплостойкость
3. Невысокое сопротивление растяжению и сдвигу, особенно в случае неравномерного отрыва
4. Необходимость тщательной зачистки и пригонки склеиваемых поверхностей

Недостатками клеевых соединений являются их меньшая долговечность, по сравнению со сварными и заклёпочными соединениями (особенно при резких колебаниях температуры), и низкая прочность на односторонний неравномерный отрыв. В этих случаях хорошие результаты даёт применение комбинированных соединений - клеезаклёпочных и клеесварных.

Расчет на прочность клеевых соединений
(аналогичен расчёту сварных соединений):

расчёт шва на прочность клеевого шва
нахлесточного соединения производят по формуле:

$$\tau' = F / (bl) \leq [\tau'] \quad , \text{где}$$

τ' - расчётное напряжение на срез в клеевом шве.

Допустимое напряжение на
срез шва для клея БФ-2

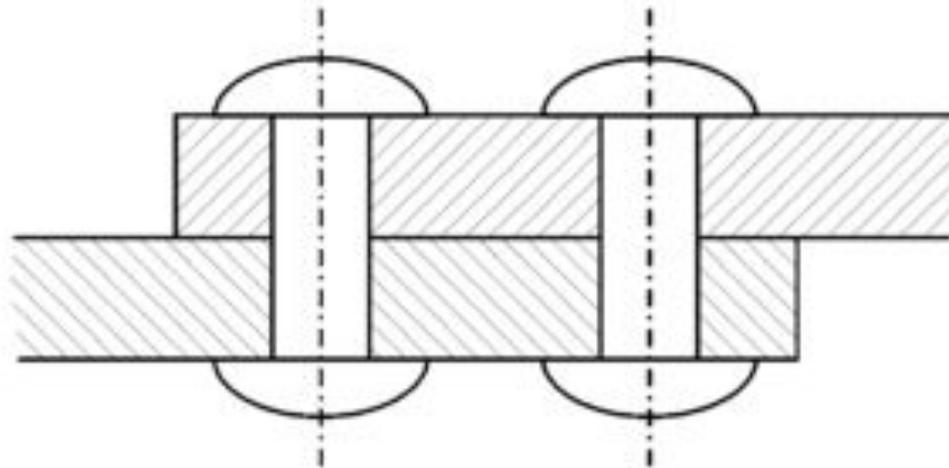
$$[\tau'] = 15 \dots 20 \text{ Н/мм}^2$$

Заклёпочное соединение

Заклёпочное соединение — неразъёмное соединение деталей при помощи заклёпок. Обеспечивает высокую стойкость в условиях ударных и вибрационных нагрузок. На современном этапе развития технологии уступает место сварке и склеиванию, обеспечивающим большую производительность и более высокую прочность соединения.

Однако, по-прежнему находит применение по конструктивным или технологическим соображениям: в соединениях, где необходимо исключить изменение структуры металла, коробление конструкции и перегрев расположенных рядом деталей; соединение разнородных, трудно свариваемых и не свариваемых материалов; в соединениях с затруднительным доступом и контролем качества; в случаях, когда необходимо предотвратить распространение усталостной трещины из детали в деталь.

Двухрядное заклёпочное соединение внахлёстку
(внакрой)



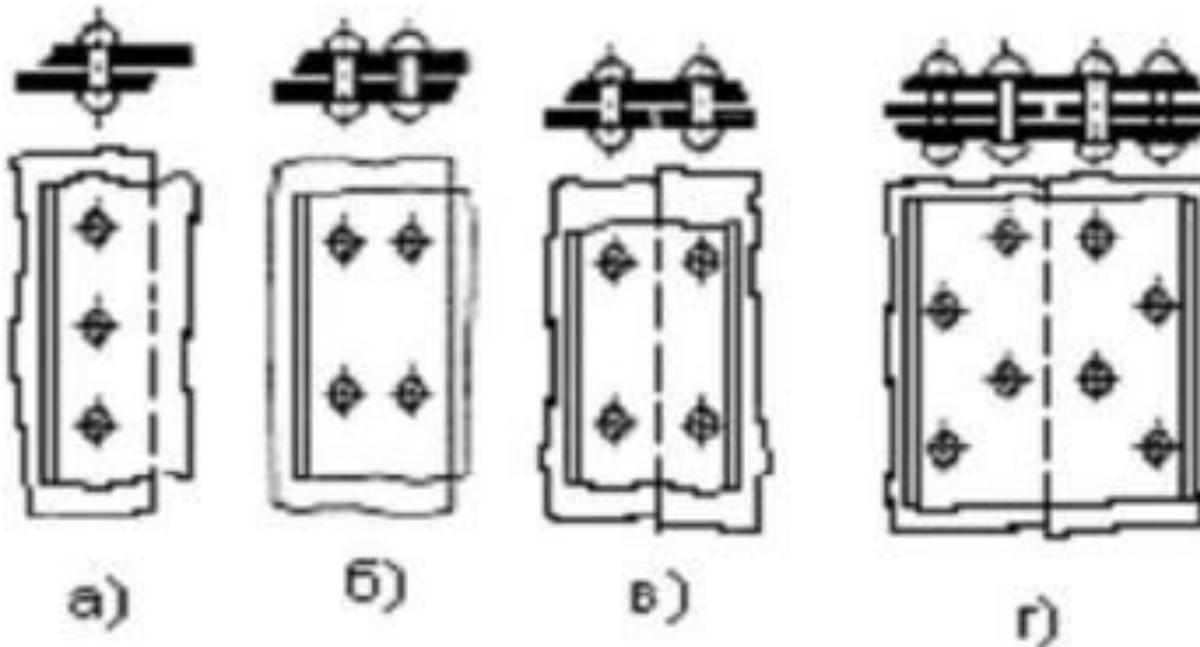
Способ соединения

В предварительно подготовленные отверстия в деталях (пакете листов) вставляют заклепки. После производится осадка (клёпка) специальным инструментом второй замыкающей головки. В процессе клёпки производят стяжку (сжатие) пакета, и за счет поперечной упругопластической деформации стержня происходит заполнение начального зазора между стержнем и стенками отверстия, часто приводящее к образованию натяга

Виды заклёпочных соединений

Заклёпочные соединения по конструкции близки к паянным, сварным и клеевым соединениям.

Наиболее распространены соединения внахлёстку (а и б) и встык со стыковыми планками (в и г)



Заклёпочные соединения делятся на:

- прочные (рассчитанные только на восприятие и передачу силовых нагрузок),
- плотные (герметичные) (обеспечивают герметичность конструкций в резервуарах с невысоким давлением),
- прочноплотные (восприятие силовых нагрузок и герметичность соединения).

По конструкции заклёпочные соединения делятся на однорядные и многорядные с цепным или шахматным расположением заклёпок, а в зависимости от количества плоскостей среза — одно- и многосрезные

По характеру воздействия нагрузки на заклёпочное соединение — швы с поперечной нагрузкой, перпендикулярной оси заклёпок, и продольной, параллельной оси заклёпок.

Герметичность соединения обеспечивается нанесением различных герметиков на поверхность стыка или подкладыванием под стык различных пластичных материалов. Заклёпки герметичных соединений имеют усиленные головки. В зависимости от требований к поверхности, заклёпки могут иметь полукруглую головку, потайную, полупотайную или плоскую (в процессе клёпки для создания внутренних усилий сжатия, которые снижают возможность усталости материала).

Заклёпки изготовляют для разных способов установки. Для односторонней клепки существует множество видов заклёпок, в том числе отрывные и взрывные. Обычная клёпка может выполняться, когда наковаленка-поддержка находится с лицевой стороны и, когда наковаленка находится с тыльной стороны. Последний способ стал наиболее распространенным, поскольку требует меньшей массы наковаленки-поддержки.

Достоинства заклепочных соединений:

1. Высокая прочность и надежность соединения
2. Простота контроля качества соединения
3. Возможность соединения деталей из любых материалов
4. Неизменность физико-химических свойств материалов соединяемых деталей
5. Высокая работоспособность при ударных и повторно-переменных нагрузках
6. При разборке скрепляемых деталей (разрушении заклепок), соединяемые детали обычно почти не повреждаются и могут быть использованы повторно

Недостатки заклепочных соединений:

1. Неполное использование материала соединяемых деталей в результате их ослабления заклепочными отверстиями
2. Сложность технологического процесса изготовления клепанных конструкций
3. Трудность соединения деталей сложной конструкции
4. Соединение деталей встык требует применения специальных накладок
5. Заклепки и соединяемые детали должны быть однородными, с одинаковым температурным коэффициентом линейного расширения
6. Трудоёмкость процесса. Необходимо просверлить множество отверстий, установить заклёпки, расклепать их.
7. Повышенная материалоемкость соединения.

Критерии работоспособности заклёпочных соединений

Критерием работоспособности клёпаных соединений является прочность, причём при расчётах предполагается, что напряжения в сечениях распределены равномерно.

Расчёт на прочность элементов заклёпочного шва

Расчёт односрезного соединения.

$$F^v = \frac{F}{z}$$

1. Нагрузка на одну заклёпку:

где F – нагрузка на соединение,
 z – число заклёпок.

2. Условие прочности на срез (сдвиг):

$$\tau = \frac{4F^v}{\pi d_3^2 z} \leq [\tau]$$

3. Расчёт заклёпок и листов на смятие:

$$\sigma_{см} \geq \frac{F}{z d_3 \delta_{\min}} \leq [\sigma_{см}]$$

Где площадь смятия

$$A_{см} = d_3 \delta_{\min}$$

δ_{\min} – минимальная толщина (толщина наиболее тонкого листа).

Необходимое число заклёпок из расчёта на смятие соединяемых деталей

$$z \geq \frac{F}{d_3 \delta_{\min} [\sigma_{\text{смят}}]}$$

4. Расчёт соединяемых листов на растяжение. Расчёт проводится в сечении, ослабленном под заклёпки.

$$\sigma_r \geq \frac{F}{\delta(b - z'd_3)} \leq [\sigma_r]$$

где

δ - меньшая из толщин листов

b – ширина листа

z' – число заклёпок в ряду

Инструменты и приспособления для клёпки
В последнее время клепальный пневмомолоток и наковальня-поддержка всё чаще вытесняется другим оборудованием. Это — пневмоклещи, клепальный пресс.

Клепальные прессы с ЧПУ позволяют с высокой производительностью изготавливать крупные панели для фюзеляжей и крыльев самолётов

Бытовое устройство для установки отрывных заклёпок — «заклёпочник»



Заклёпка

Заклёпка — деталь заклёпочного соединения в виде круглого стержня или трубы, с одной стороны имеющая закладную головку и образующуюся в процессе клёпки замыкающую (высадную) головку.



Существует большое количество разновидностей заклёпок, каждый вид имеет какое-либо преимущество перед другими.

Примеры заклёпок:

обычные (классические) заклёпки горячей и холодной клёпки — общее применение;
стержневые заклёпки — высоконагруженные соединения;
трубчатые и полутрубчатые заклёпки — малонагруженные соединения, высокопроизводительный процесс клёпки;
пistonные заклёпки — соединение мягких материалов;

закладные заклёпки
вытяжные(тяговые) — возможность создания
соединения при доступе только с одной стороны;



Позволяют осуществить неразъемное соединение с доступом только с одной стороны. Они производятся различной длины и диаметров, бывают с куполообразным (стандартным), увеличенным и потайным бортиком, могут быть из алюминия, стали, нержавеющей стали, меди, в зависимости от вида применения. Для некоторых применений имеют специальную конструкцию: закрытые, многозажимные, лепестковые, рифленые, контактные и самоперфорирующие.

Усиленные вытяжные заклепки



Позволяют осуществить неразъемное соединение с доступом только с одной стороны. Усиленные заклёпки изготавливают из алюминия, стали, нержавеющей стали, в зависимости от вида применения. При установке создают надежное соединение, сравнимое по структуре с соединением полнотелой заклепкой. Обладают высокой сопротивляемостью к нагрузкам на растяжение и сдвиг. Они подходят для закрепления предметов подверженных вибрации. Главный сектор применения: корпуса автомобилей, металлические контейнера, электрошкафы и др.

Штифты с обжимным кольцом



Это система быстрой установки для сборки частей испытывающих высокие механические нагрузки или подвергающиеся высокой вибрации. Состоят из штифта и обжимающего кольца, штифт имеет насечки для жёсткой фиксации обжимного кольца. При установке требуется доступ с обратной стороны. Выпускаются различных длин и диаметров, в зависимости от толщины пакета и нагрузок. Материал: сталь, алюминий и нержавейка.

болт-заклёпка



Заклепочные гайки и болты являются эффективным решением для получения наружной или внутренней резьбы на тонкостенной детали, в том числе и цилиндрической. Они устанавливаются в предварительно подготовленное (пробитое или просверленное) отверстие с одной стороны, обжимаются вытягиванием штока инструмента с формированием с обратной стороны замыкающего бортика. Материал: сталь, нержавейки, алюминия и бронзы.

Самыми известными сооружениями, созданными с использованием заклёпочного соединения являются:

- Эйфелева башня в Париже,
 - Шуховская башня в Москве
 - Мост Харбор-Бридж в гавани Сиднея.
- и др.

Последние время широкое распространение получили закладные трубчатые заклёпки, вытяжные (тяговые), представляющие собой трубочку, развальцованную с одной стороны со вставленным в неё пуансоном (стержнем с шариком на конце). В скрепляемых деталях сверлится отверстие, вставляется заклёпка и специальным инструментом вытягивается пуансон. Шарик развальцовывает формируя в трубочке замыкающую головку, тем самым надёжно закрепляя деталь, и отрывается от стержня.

Например, системный блок компьютера в большинстве случаев собран при помощи них. Существует модификация с герметичной заклёпкой, где внешняя трубка представляет собой закрытую полость, в которой двигается шарик. Такая заклёпка называется закрытой.



Основание клёпаной арки дебаркадера Киевского вокзала



Клёпанные конструкции зимнего сада



Монтаж клёпанных конструкций перекрытия конного манежа

Спасибо за внимание