



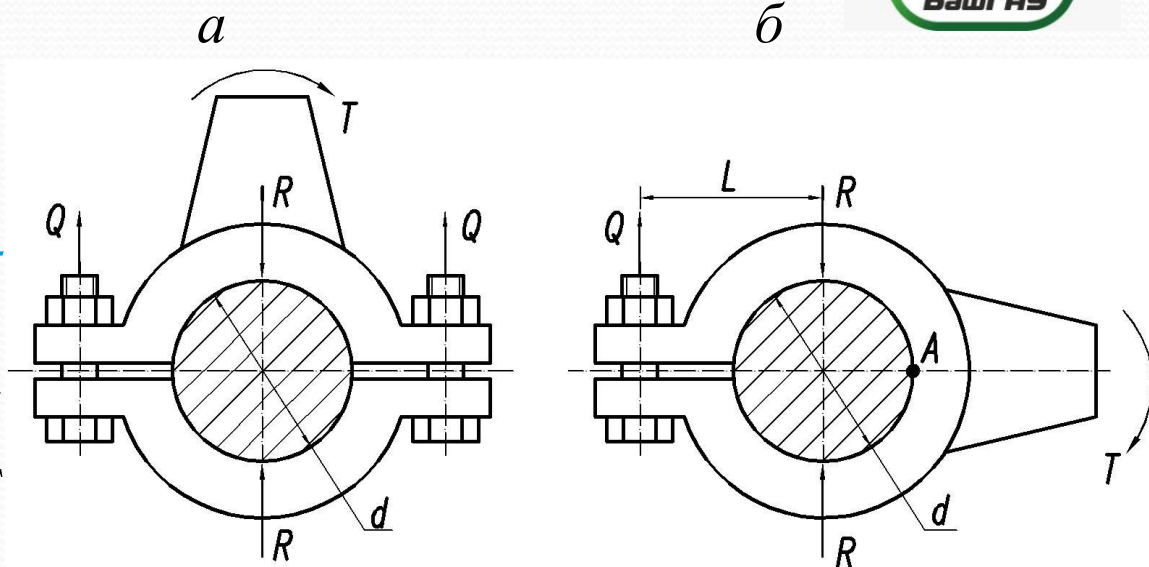
# Детали машин и ОСНОВЫ конструирования

# Клеммовые соединения



*Клеммовые соединения применяют для закрепления деталей на гладких валах. Передача нагрузки с вала на клемму осуществляется за счет сил трения, которые*

возникают от затяжки болтов. Различают два основных типа клеммовых соединений: с **разъемной ступицей** (рис. а) и с **разрезной ступицей** (рис. б). Разъемная ступица несколько увеличивает массу и стоимость соединения, но позволяет устанавливать клемму в любой части вала независимо от формы соседних участков и других деталей, закрепленных на валу.



# Клеммовые соединения



*Основными достоинствами клеммовых соединений являются:* простота сборки и разборки, предохранение от перегрузок, возможность регулировки взаимного положения деталей как в осевом, так и в окружном направлениях.

Усилие затяжки болтов соединения зависит от принятого **закона распределения давления на контактной поверхности** соединения. Рассмотрим возможные предельные случаи распределения давления. *При посадке клеммы на вал с большим зазором* контакт полуступиц с валом происходит по линии. Связь между силой трения и равнодействующей нормальных давлений на полуступице  $R$  в этом случае имеет вид:  $F_{\text{тр}} = f R$ , где  $f$  – коэффициент трения. Условие передачи крутящего момента  $F_{\text{тр}} d > T$  запишем в виде  $F_{\text{тр}} d = KT$ , где  $K = 1,2 \dots 1,8$  – коэффициент запаса;  $d$  – диаметр вала.



# Клеммовые соединения



- Из полученных выражений после преобразований определим  $R = KT/(fd)$ . При посадке *клеммы на вал с натягом* принимают, что давление по контактной поверхности соединения распределено равномерно. В результате  $R = 2KT/(\pi fd)$ .

*Для разъемной ступицы* усилие затяжки болта  $Q = R/z$ .

*Для разрезной ступицы* примем, что при затяжке соединения происходит поворот полуступицы относительно точки  $A$  (рис. б). Рассматривая условие равновесия полуступицы относительно точки  $A$ , запишем

$$\sum M_A = Qz(L + 0.5d) - 0.5dR = 0,$$

где  $L$  – расстояние от оси болта до оси вала (рис. б);  $z$  – число болтов соединения.

- Отсюда получим усилие затяжки болта: 
$$Q = \frac{R}{z(1 + 2\frac{L}{d})}.$$



## Сварные соединения

- Общие положения
- Классификация сварных соединений
- Расчет соединений на прочность





# Общие положения

*Сварные соединения образуются за счет сил молекулярного сцепления в результате местного нагрева соединяемых деталей.* Эти соединения являются наиболее распространенным типом неразъемных соединений.

Сварными выполняют станины, рамы, корпуса редукторов, шкивы, зубчатые колеса, коленчатые валы, балки, резервуары, трубы и др.

*Основными достоинствами сварных соединений являются:*

- экономия металла по сравнению с литыми деталями (из чугуна – до 50%, из стали – до 30%);
- более низкая трудоемкость сварки по сравнению с другими процессами соединения деталей и литьем;
- возможность автоматизации процесса сварки;
- герметичность и плотность соединения.



# Общие положения. Способы свар

## *Недостатки сварных соединений:*

- коробление деталей из-за неравномерности нагрева в процессе сварки;
- трудность контроля качества сварного шва;
- низкая прочность шва при переменных нагрузках.

## *Способы сварки, применяемые в машиностроении*

1. *Ручная электродуговая сварка.* Осуществляется за счет пропускания электрической дуги между изделием и электродом. Сварной шов образуется за счет расплавления металла электрода. Используют силу тока 200...500 А. Способ является малопродуктивным с невысоким качеством шва, применяют в основном в индивидуальном производстве.





# Способы сварки

## 2. Автоматическая электродуговая сварка под флюсом.

Производится на сварочных установках, в 10...20 раз более производительна, чем ручная сварка. *Флюс предназначен для защиты расплавленного металла от воздействия окружающей среды.* Используют силу тока 1000...3000 А. Выделяемое тепло от сварочной дуги расплавляет не только электрод, но и материал свариваемых деталей, из которого в основном и формируется сварочный шов. Такой способ формирования шва сокращает расход электродов и время сварки, обеспечивает высокое качество шва. Применяют в крупносерийном и массовом производстве.

3. *Контактная сварка.* Применяется для нахлесточных соединений тонкого листового металла. Для сварки используют тепло, выделяющееся в зоне контакта свариваемых деталей при пропускании импульсов электрического тока.

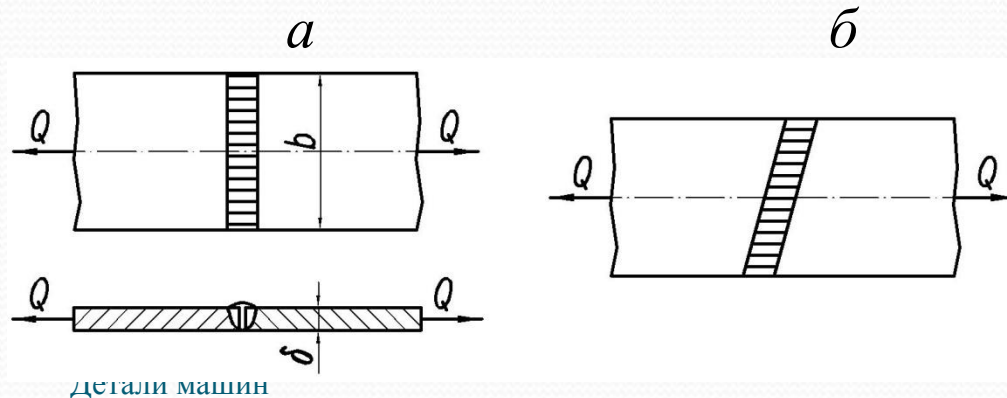




# Классификация сварных соединений

В зависимости от взаимного расположения соединяемых деталей применяют следующие основные типы сварных соединений: стыковые, нахлесточные, тавровые и угловые.

Стыковые соединения выполняют стыковыми швами, которые могут быть *прямыми* (рис. а) или *косыми* (рис. б). Эти соединения являются наиболее простыми и надежными по сравнению с другими типами сварных соединений. Рекомендуется их применение при нагружении конструкций переменными нагрузками.



# Классификация сварных соединений

Нахлесточные соединения выполняют **угловыми швами** (см. рис.). В зависимости от ориентации шва по отношению к направлению действующего усилия различают **лобовые швы**, расположенные перпендикулярно к действующему усилию (рис. а), **фланговые швы**, параллельные действующему усилию (рис. б), **комбинированные швы**, состоящие из комбинации лобовых и фланговых швов (рис. в). Катет шва  $k$  обычно принимают равным толщине соединяемых элементов  $k = \delta$ .

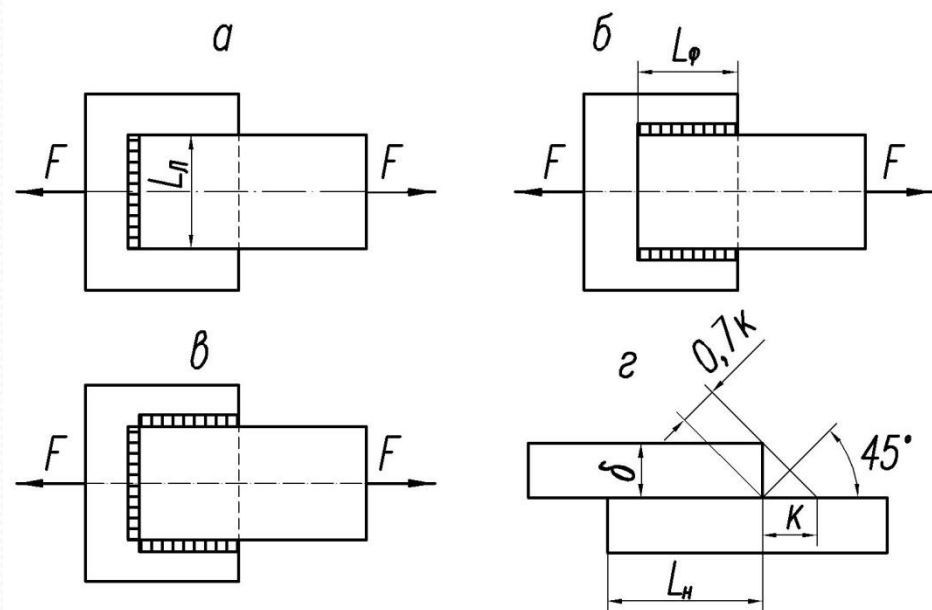


Рисунок 2.





# Классификация сварных соединений

**Тавровые соединения** используют для сварки деталей, расположенных во взаимно перпендикулярных плоскостях. Соединения выполняют стыковыми (рис. 3,*а*) и угловыми (рис. 3,*б*) швами. Сварные швы **углового соединения** (рис. 4) в основном применяют для образования профиля.

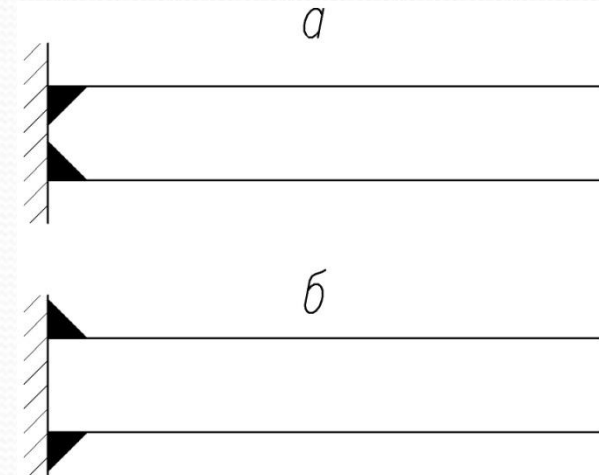


Рисунок 3. Тавровые соединения

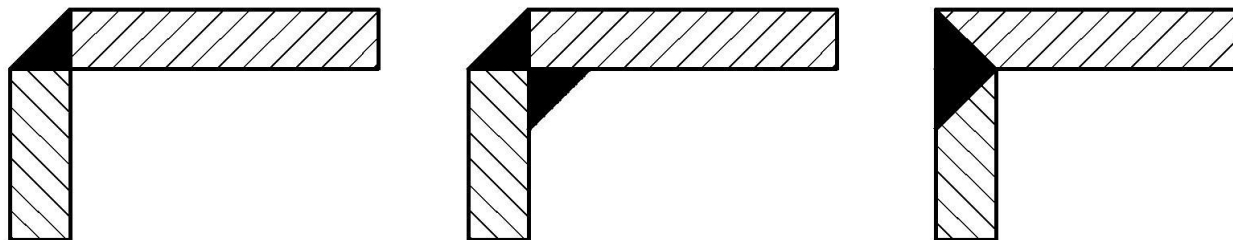


Рисунок 4. Угловые соединения



# Рекомендации для конструирования сварных соединений

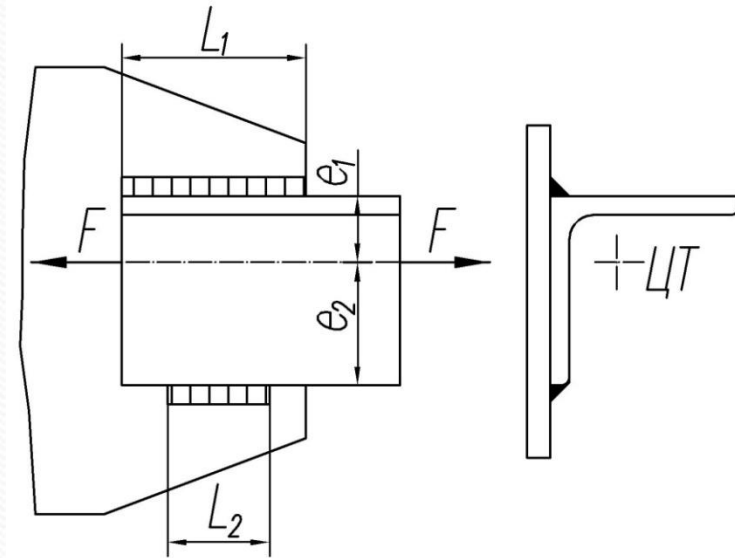
1. Минимальная длина шва должна быть не менее 30 мм с учетом возможных дефектов на концах шва.

2. В нахлесточных соединениях длина перекрытия  $L_n$  должна быть не меньше  $4\delta$ , где  $\delta$  — минимальная толщина свариваемых деталей.

3. Длина фланговых швов ограничена

условием  $L \leq 50k$ . Это связано с возрастанием неравномерности распределения напряжений по длине шва с увеличением последней.

4. Сварные швы располагают так, чтобы выполнялось условие их равнопрочности. Например, при соединении уголка с листом (см. рис.) отношение длин швов должно выбираться из следующего выражения:  $L_1/L_2 = e_1/e_2$ .







# Расчет соединений на прочность

*Основным требованием при проектировании сварных конструкций является обеспечение равнопрочности шва и соединяемых им деталей.*

## *Стыковые соединения*

Разрушение стыковых соединений преимущественно происходит в зоне термического влияния шва, под которой понимают прилегающий к шву участок детали с измененными в результате нагрева при сварке механическими свойствами металла.

Расчет прочности стыкового соединения выполняют по размерам детали в этой зоне.

Возможное снижение прочности детали учитывают при назначении допускаемых напряжений путем введения *коэффициента прочности соединения  $\varphi$* .

# Расчет стыковых швов

Допускаемые напряжения для металла шва равны:

$$[\sigma'] = \varphi[\sigma_p],$$

где  $[\sigma_p] = \sigma_T / S$  – допускаемое напряжение на растяжение основного металла детали;  $\sigma_T$  – предел текучести металла детали;  $S$  – коэффициент запаса прочности (при статических нагрузках  $S = 1,5 \dots 1,6$ ).

При расчете полосы, сваренной встык, на растяжение силой  $F$  условие прочности имеет вид

$$\sigma = F/A \leq [\sigma'],$$

где  $A$  – площадь поперечного сечения детали.

При расчете этой полосы на изгиб

$$\sigma = M/W_x \leq [\sigma'],$$

где  $W_x$  – осевой момент сопротивления сечения полосы.





# Расчет угловых швов

## *Нахлесточные соединения*

Угловые швы рассчитывают на срез в опасном сечении, совпадающем с биссектрисой прямого угла (рис. 1, *а*).

Расчетная высота шва

$$h = k \cos 45^\circ \approx 0.7k.$$

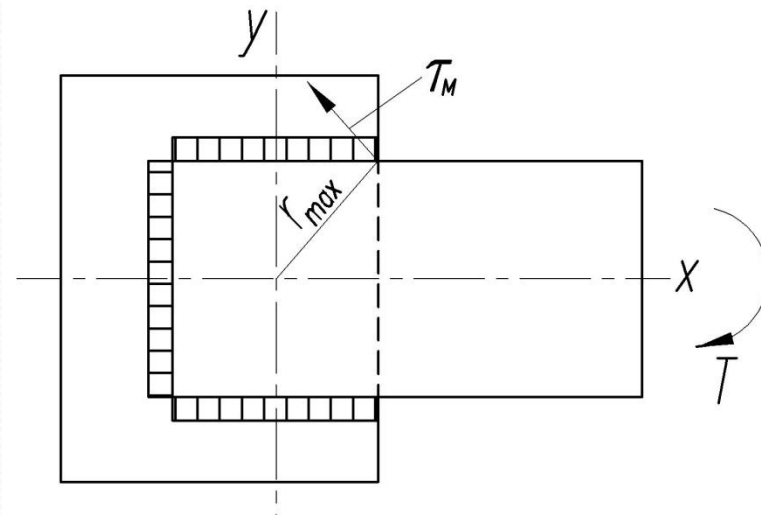
Если соединение нагружено усилием  $F$ , то условие прочности записывают в виде

$$\tau = F/(hL_\Sigma) = [\tau'],$$

где  $L_\Sigma$  – суммарная длина швов соединения;  $[\tau']$  – допускаемое напряжение среза для шва. Для соединения на рис. 1, *а* имеем  $L_\Sigma = L_\Pi$ ; на рис. 1, *б* –  $L_\Sigma = 2L_\Phi$ ; на рис. 1, *в* –  $L_\Sigma = 2L_\Phi + L_\Pi$ .

## В плоскости стыка

Если соединение нагружено моментом  $T$  в плоскости стыка (см. рис.), то напряжения от момента распределяются по длине швов неравномерно, и направлены перпендикулярно радиусу вектору, проведенному из центра тяжести швов в рассчитываемую точку. В общем случае наибольшее касательное напряжение определяют по формуле  $\tau_M = T/W_p$ , где  $W_p$  – полярный момент сопротивления швов,  $W_p = J_p / r_{\max}$ , здесь  $J_p$  – полярный момент инерции швов,  $J_p = J_x + J_y$ ;  $J_x$  и  $J_y$  – осевые моменты инерции швов относительно осей  $x$  и  $y$ ;  $r_{\max}$  – расстояние от центра тяжести до наиболее удаленной точки швов.

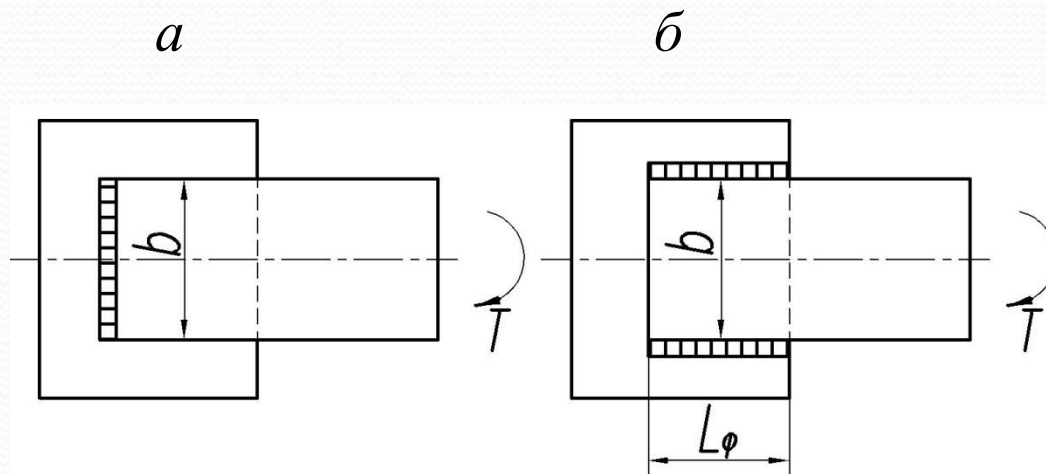




## В ПЛОСКОСТИ СТЫКА



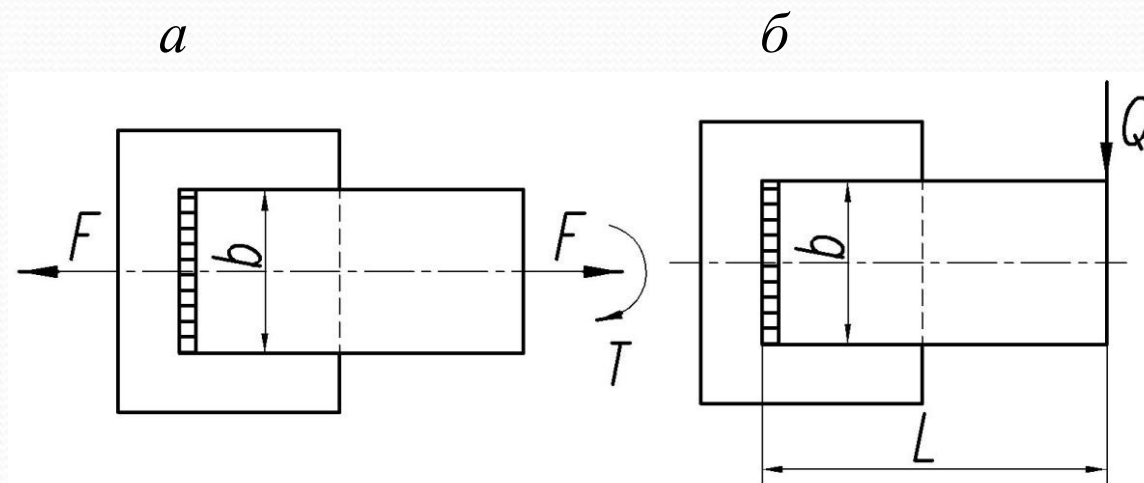
При нагружении моментом соединения с лобовым швом (рис. *а*) имеем  $W_p = hb^2/6$ . Для соединения с фланговыми швами (рис. *б*), если выполняется условие  $L_\phi < b$ , расчет  $W_p$  выполняют по приближенной формуле  $W_p \approx hbL_\phi$ . Для комбинированного шва соединения при выполнении условия  $L_\phi < 0.5b$  имеем  $W_p = hb(L_\phi + b/6)$ .





# Соединение, нагруженное моментом и силой

При нагружении соединения силой и моментом  $T$  пользуются принципом независимости действия сил. Сначала определяют напряжения от силы, затем максимальные напряжения от момента  $T$ . Далее полученные напряжения геометрически суммируются.







# Соединение, нагруженное моментом и силой

Для соединения, показанного на рис. а, растягивающие напряжения от момента  $T$  в верхней точке шва суммируются с растягивающими напряжениями от силы  $F$ :

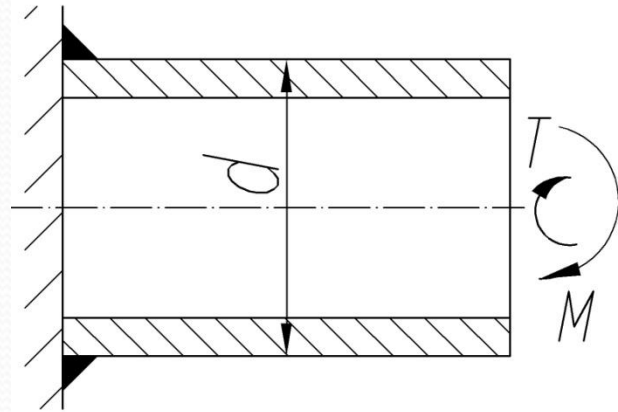
$$\tau = \tau_F + \tau_T = F / (bh) + 6T / (bh^2) \leq [\tau'].$$

Для соединения, показанного на рис. б, растягивающие напряжения от момента  $T = QL$  в верхней точке шва направлены  $\tau = \sqrt{\tau_Q^2 + \tau_T^2} = \sqrt{\left(\frac{Q}{b}\right)^2 + \left(\frac{6T}{bh^2}\right)^2} \leq [\tau']$  вправо, а напряжения от силы  $Q$  вниз (по направлению силы  $Q$ ). Результирующие напряжения равны

# Тавровые соединения



Рассмотрим *расчет таврового соединения трубы, выполненного угловым швом* (см. рис.). Соединение нагружено изгибающим  $M$  и крутящим  $T$  моментами.



Напряжения в шве от крутящего момента

$$\tau_T = \frac{T}{W_p} \approx \frac{2T}{\pi h d^2},$$

Напряжения в шве от изгибающего момента  $M$  равны

$$M = \tau_M / W_x \approx 4M / (\pi h d^2).$$

С учетом того, что напряжения  $\tau_T$  и  $\tau_M$  взаимно перпендикулярны, суммарные напряжения определим по формуле

$$\tau = \sqrt{\tau_T^2 + \tau_M^2}.$$



# Расчет швов при переменных нагрузках



При переменных нагрузках допускаемые напряжения получают умножением допускаемых напряжений при статическом нагружении на коэффициент  $\gamma$ :

$$\gamma = \frac{1}{0.9K_{\sigma} \pm 0.3 - (0.9K_{\sigma} \mp 0.3)R} \leq 1,$$

где  $K_{\sigma}$  – эффективный коэффициент концентрации напряжений;  $R = \sigma_{\min} / \sigma_{\max}$  – коэффициент асимметрии цикла напряжений.

Верхние знаки в формуле выбирают, если наибольшие по абсолютной величине напряжения – растягивающие.