

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**КУРГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**Кафедра «Гусеничные машины»**

**Отделение «Машиноведение и детали машин»**

## **НЕРАЗЪЕМНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ**

### **Методические указания**

к выполнению лабораторной работы по курсам  
«Детали машин и основы конструирования», «Прикладная механика»  
для студентов направлений (специальностей)  
151000 (151001), 150200 (150202), 190200 (190201),  
190200 (190202), 190600 (190601), 190600 (190603),  
200500 (200503), 260600 (260601), 050000 (050502), 080000 (080502)

Курган 2011

Кафедра: «Гусеничные машины»

Дисциплина: «Детали машин и основы конструирования»,  
«Прикладная механика»

(специальность 151000 (151001) – Технология машиностроения (специализация «Технология и компьютерное обеспечение АП»);  
151000 (151001) – Технология машиностроения (специализация «Проектирование средств технологического оснащения АП»);  
150200 (150202) – Оборудование и технология сварочного производства;  
190200 (190201) – Автомобиле- и тракторостроение;  
190200 (190202) – Многоцелевые гусеничные и колесные машины;  
190600 (190601) – Автомобили и автомобильное хозяйство;  
190600 (190603) – Сервис транспортных и технологических машин и оборудования (автомобильный транспорт), специализация «Автосервис и фирменное обслуживание»);  
200500 (200503) – Стандартизация и сертификация (в машиностроении);  
260600 (260601) – Машины и аппараты пищевых производств;  
050000 (050502) – Технология и предпринимательство;  
080000(080502)-Экономика и управление на предприятии (в машиностроении)).

Составил: канд.техн.наук, доцент Л.Н. Тютрина  
канд.техн.наук, доцент Д.А. Курасов

Утверждены на заседании кафедры « 24 » июня 2010 г.

Рекомендованы методическим советом университета

« 27 » декабря 2010 г.

## **ВВЕДЕНИЕ**

Для выполнения своих функций детали, составляющие все без исключения машины и механизмы, должны быть связаны между собой. Под соединениями в машиностроении понимают прилегающие части соединенных деталей (например, фланцы и др.) и соединительные детали (заклепки, винты и др.). В зависимости от того будут ли детали в процессе эксплуатации разбираться или нет, используются разъемные или неразъемные соединения.

К разъемным относятся соединения, разборка которых возможна без повреждения деталей (например, резьбовые, шпоночные, шлицевые, клиновые и т.д.). К неразъемным соединениям относят такие соединения деталей, которые нельзя разъединить без какого-либо разрушения. Такие соединения используются в узлах машин, разборка которых в течение всего срока службы машины, необязательна. Например, не требуют разборки в процессе эксплуатации котлы, состоящие из листов, различные резервуары, фюзеляжи самолетов, также состоящие из листов и т.д. Не требуют разборки сварные корпуса редукторов, станин и т.д. Детали в таких конструкциях соединяют в одно целое, различными швами: сварными, паяными, клеевыми и при помощи заклёпок.

В предлагаемом методическом руководстве рассматриваются заклепочные и сварные неразъемные соединения.

Цель лабораторной работы – изучение назначения, разновидностей и простейших методик расчета заклепочных и сварных соединений.

## **1. ЗАКЛЕПОЧНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ**

### **ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ**

Заклепочные соединения в большинстве случаев используются для соединения листов, пластин, полос профильного проката. Для этой цели в деталях, подлежащих соединению, выполняются отверстия, в них вставляются заклепки, представляющие собой стержень круглого сечения, с закладной головкой, затем свободный конец стержня заклепки расклепывается с образованием замыкающей головки. В соответствии с назначением заклепочного соединения закладные головки могут иметь различную форму (рис.1).

По конструкции различают следующие заклепочные швы: нахлесточные однорядные (рис.2.а), двухрядные (рис.2.б) и многорядные; стыковые с одной накладкой – однорядные (рис.2.в), двухрядные и многорядные; стыковые с двумя накладками – однорядные, двухрядные (рис.2.г), многорядные. По расположению заклепок двухрядные и многорядные заклепочные швы различают: с рядовым и шахматным расположением заклепок. По числу сечений заклепок, работающих на срез, заклепочные швы могут быть: односрезные, двухсрезные и многосрезные.

Большое значение в обеспечении долговечности заклепочных соединений имеет выбор материала заклепок.

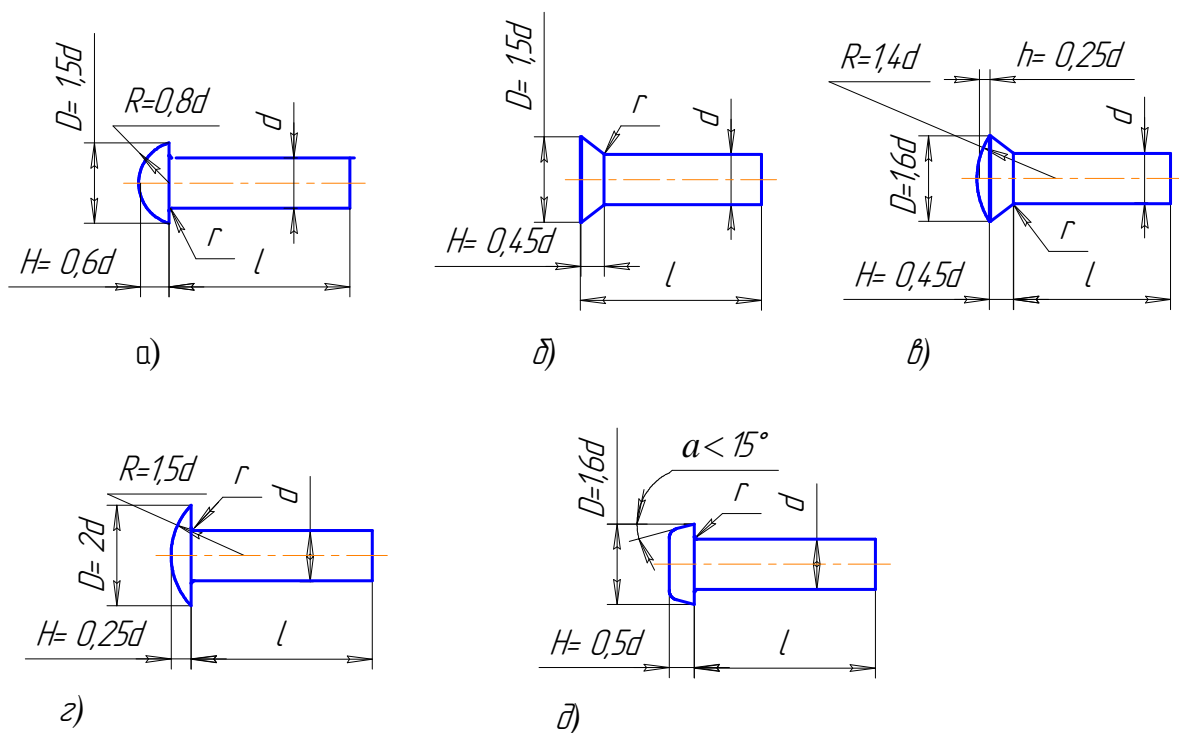


Рис.1. Типы заклепок: а) с полукруглой головкой; б) с потайной головкой; в) с полупотайной головкой; г) с полукруглой низкой головкой; д) с плоской головкой.

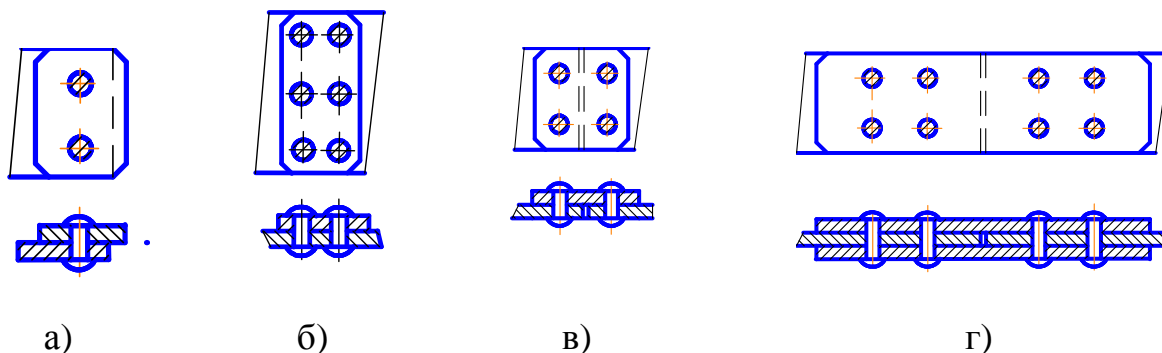


Рис.2. Конструкции заклепочных швов: а) - однорядный заклепочный шов внахлестку; б) - двухрядный заклепочный шов; в) - соединение двух листов встык с одной накладкой; г) - соединение с двумя накладками.

Во избежание химической коррозии в соединениях, заклепки ставят из того же материала, что и соединяемые детали: стальные листы соединяются стальными заклепками, латунные – латунными и т.д. Материал заклепок должен быть достаточно пластичным для обеспечения формирования головок, как при изготовлении заклепок, так и при их клепке.

В настоящее время заклепочные соединения в значительной степени вытеснены сварными соединениями из-за ряда своих недостатков (большого

расхода металла, большей трудоемкости изготовления и высокой стоимости). В то же время заклепочные соединения имеют ряд преимуществ по сравнению со сварными, а именно большую стабильность и лучшую контролируемость качества, а также меньшие повреждения соединяемых деталей при разьеме. Поэтому их применяют в особо ответственных конструкциях, воспринимающих интенсивные вибрационные или большие повторные ударные нагрузки (самолеты, уникальные мосты и т.п.). Заклепочные соединения используют также в конструкциях, не допускающих, сварки из-за опасности коробления деталей или отпуска термообработанных деталей, возникающего при нагреве, а также в конструкциях, детали которых изготавливают из несвариваемых материалов.

## 1.2. РАСЧЕТ ЗАКЛЕПОЧНЫХ СОЕДИНЕНИИ

### 1.2.1. Расчет соединений при продольном нагружении

Расчет заклепочного шва может сводиться к определению диаметра и числа заклепок, шага заклепочного шва, расстояния от оси заклепок до края соединяемой детали и расстояния между рядами заклепок.

Прежде всего, следует уяснить, какие разрушения могут произойти при превышении допускаемой нагрузки. К ним следует отнести: срез заклепок; обрыв листа по ослабленному отверстиями сечению 1-1; вырыв (срез) листа по четырем сечениям 2-2 (на рис. 3 они показаны волнистыми линиями); смятие листа в месте контакта с заклепками.

Критериями прочности при такого рода разрушениях являются напряжения при срезе  $\tau_c$ , напряжение при растяжении  $\sigma_p$ , напряжение при смятии  $\sigma_{см}$ .

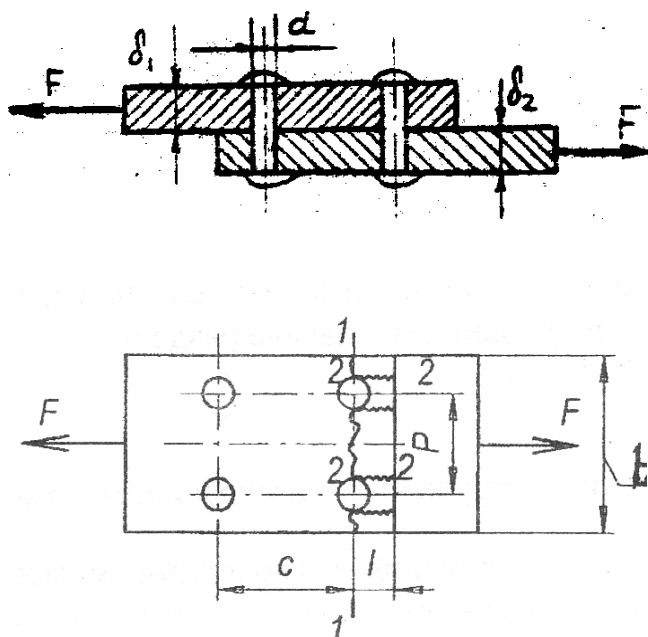


Рис. 3. Схема нахлесточного заклепочного соединения:  
 $p$  – шаг заклепочного шва, мм;  $c$  – расстояние между рядами заклепок.

**Проверка заклепок на срез:**

$$\tau_c = \frac{F}{z \cdot A_c} \leq [\tau_c], \quad (1)$$

где  $z$  – число заклепок;

$$A_c = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \text{ – площадь среза заклепки, мм}^2;$$

$d$  – диаметр заклепки, мм;

$[\tau_c]$  – допускаемое напряжение на срез заклепки. При выполнении лабораторной работы рекомендуется принять в качестве материала заклепок сталь Ст3 с  $[\tau_c] = 140 \text{ Н/мм}^2$ .

Тогда допускаемую силу  $F$  находим по формуле:

$$F \leq \frac{[\tau_c] \cdot z \cdot \pi \cdot d^2}{4}. \quad (2)$$

**Проверка листа на обрыв:**

$$\sigma_p = \frac{F}{A} \leq [\sigma_p], \quad (3)$$

где  $A = (b - 2 \cdot d) \cdot \delta$  – площадь сечения, мм<sup>2</sup>;

$b$  – ширина листа, мм;

$\delta$  – толщина листа, мм;

$[\sigma_p]$  – допускаемое напряжение на растяжение листа  
(принять  $[\sigma_p] = 160 \text{ Н/мм}^2$ ).

Тогда допускаемую силу  $F$  определяем из формулы:

$$F \leq [\sigma_p] \cdot (b - 2 \cdot d) \cdot \delta. \quad (4)$$

**Проверка листа на вырыв:**

$$\tau = \frac{F}{z \cdot A} \leq [\tau_c], \quad (5)$$

где  $A = 2 \cdot \left( l - \frac{d}{2} \right) \cdot \delta$  – площадь сечения, мм<sup>2</sup>;

$l$  – расстояние от оси заклепок до края деталей, мм.

Допускаемую силу  $F$  определяем на основании (5):

$$F \leq [\tau_c] \cdot z \cdot 2 \cdot \left( l - \frac{d}{2} \right) \cdot \delta. \quad (6)$$

**Проверка листа на смятие:**

$$\sigma_{см} = \frac{F}{z \cdot A} \leq [\sigma_{см}], \quad (7)$$

где  $A = d \cdot \delta$  – площадь смятия, мм<sup>2</sup>;

$[\sigma_{см}]$  – допускаемое напряжение при смятии (принять  $[\sigma_{см}] = 320 \text{ Н/мм}^2$ ).

Допускаемую силу смятия находим из зависимости (7):

$$F \leq [\sigma_{см}] \cdot z \cdot d \cdot \delta. \quad (8)$$

Окончательной допускаемой растягивающей силой  $F$  является наименьшая из сил, полученных по перечисленным выше критериям прочности.

### 1.2.2. Расчет соединения, нагруженного изгибающим моментом

Примером нагружения соединения изгибающим моментом является соединение полосы с косынкой, которая нагружена на конце сосредоточенной силой  $Q$  (рис.4).

При таком виде нагружения заклепки аналогично предыдущему примеру работают на срез. Причем, наибольшие срезающие силы, как это видно из рисунка, воздействуют на крайние заклепки. Именно их, как правило, проверяют на прочность или определяют их диаметр. В этом случае на заклепки данного шва действует сила  $Q$  и момент  $M$ . Момент вызывает в заклепках горизонтальные реакции  $F_1$  и  $F_2$ . Принимаем, что нагрузка на заклепки при малом числе их вертикальных рядов распределяется пропорционально расстоянию от нейтрального слоя, следовательно:

$$M = Q \cdot L = 2 \cdot (F_1 \cdot l_1 + F_2 \cdot l_2), \quad (9)$$

где  $Q$  – вертикальная сила (для имеющейся модели соединения принять  $Q = 4500$  Н);

$L$  – расстояние от оси расположения заклёпок до действующей силы, мм;

$l_1, l_2$  – расстояния между центрами заклепок, мм.

В соответствии с вышесказанным:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_1}{l_2}. \quad (10)$$

Тогда с учетом (9) и (10):

$$F_1 = \frac{M}{2 \cdot (l_1^2 + l_2^2)} \cdot l_1. \quad (11)$$

От вертикальной силы  $Q$  на каждую заклепку шва действует сила  $Q/z$ . Таким образом, суммарная сила, действующая на наиболее нагруженную заклепку (верхнюю или нижнюю) равна:

$$F_{\max} = \sqrt{F_1^2 + \left(\frac{Q}{z}\right)^2}. \quad (12)$$

Условие прочности этой заклепки на срез:

$$F_{\max} \leq A_c \cdot [\tau_c], \quad (13)$$

где  $A_c = \frac{\pi d^2}{4}$  – площадь среза заклепки, мм<sup>2</sup>;

$[\tau_c]$  - допускаемое напряжение среза заклепки (принять  $[\tau_c] = 140 \text{ Н/мм}^2$ ).

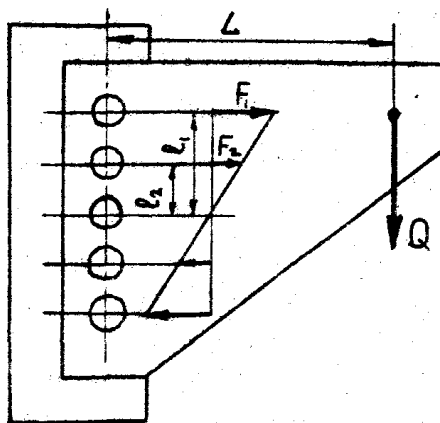


Рис.4. Схема соединения полосы с косынкой

### 1.3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Получить от преподавателя заклепочное соединение, определить и записать в отчете тип заклепочного соединения.

2. Выполнить эскиз и нанести размеры заклепочного соединения.

3. Определить, какие виды деформации испытывают заклепочные соединения при действии силы. Указать соответствующие критерии прочности.

4. Для нахлесточного соединения (рис.3):

- подсчитать число заклепок  $z$ ;

- определить по формулам (2), (4), (6), (8) допускаемую силу  $F$ , которую можно приложить к данному заклепочному соединению, чтобы не произошло его разрушение, исходя из выявленных критериев прочности и выбрать из них наименьшую. Если нет возможности измерить диаметр заклепки  $d$  – определить его по диаметру  $D$  головки (см. рис. 1). Для полукруглой головки  $d = D/1,5$ .

5. Для соединения полосы с косынкой (рис.4):

- определить момент  $M$  по формуле (9) при заданной вертикальной силе  $Q$ ;

- определить силу  $F_1$ , возникающую на крайних заклепках от действия момента  $M$  по формуле (11);

- проверить условие прочности по формуле (13).



## 1.4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие детали соединяются, как правило, посредством заклепок?
2. Какие условия работы диктует применение заклепочных соединений?
3. Какие конструкция заклепочных соединений Вам известны?
4. Из каких материалов изготавливаются заклепки?
5. Какие головки заклепок Вам известны?
6. Какое напряжение возникает в теле заклепок при действии на соединение сдвигающих сил и как оно определяется?
7. Какова форма площади среза заклепки и чему она равна?
8. Какие виды разрушений заклепочного соединения могут произойти при превышении допускаемой нагрузки?
9. Чему равна площадь ослабленного отверстиями сечения листа при проверке его на прочность при растяжении?
10. Что можно отнести к недостаткам заклепочных соединений?

## 2. СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

### 2.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Сварные соединения – это неразъемные соединения, основанные на использовании сил молекулярного сцепления, которые проявляются в результате местного нагрева соединяемых деталей до расплавленного состояния (электродуговая, газовая и т.д.) или тестообразного состояния, но с применением механического усилия сжатия (точечная, роликовая, стыковая сварка).

Преимуществом сварных соединений по сравнению с другими неразъемными соединениями является:

- экономия металла по сравнению с заклепочными соединениями;
- лучшее приближение составных деталей к целым;
- возможность автоматизации сварочного процесса;
- высокая герметичность соединения;
- высокая прочность при статических нагрузках;
- высокая технологичность;
- низкая стоимость оборудования.

В зависимости от относительного расположения свариваемых деталей сварные соединения подразделяются на стыковые, нахлесточные, тавровые и др.

Соединения внахлестку различаются в зависимости от ориентации шва по отношению к направлению действующего усилия. К ним следует отнести соединения лобовыми, фланговыми, комбинированными и косыми швами. Все соединения внахлестку и втавр выполняются валиковыми швами. В сечении такие швы могут иметь различную конфигурацию: равносторонний

прямоугольный треугольник, когда катеты равны, не равносторонний треугольник, когда катеты не равны, треугольники с выпуклой или вогнутой гипотенузой.

## 2.2. РАСЧЕТ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Расчет сварных соединений может быть выполнен или с целью проверки его на прочность или для определения какого-либо его геометрического размера, например длины шва. Прежде всего, следует уяснить: какие силовые факторы действуют на сварной шов. К ним относятся: срез сварного шва и растяжение материала вблизи него.

Критериями прочности при такого рода факторах, возникающих в шве под действием внешней силы напряжения (или растягивающие  $\sigma_p$  или срезающие  $\tau_c$ ). Расчет шва на прочность сводится к определению и сравнению его с допускаемым  $[\sigma'_p]$  или  $[\tau'_c]$ , т.е.  $\sigma_p \leq [\sigma'_p]$  или  $\tau_c \leq [\tau'_c]$ .

### 2.2.1. Стыковое соединение, нагруженное продольными силами

В этом случае сварной шов работает на растяжение или сжатие и расчет его производится по тем же формулам, что и целых элементов. Особенность заключается лишь в назначении допускаемых напряжений (рис. 5).

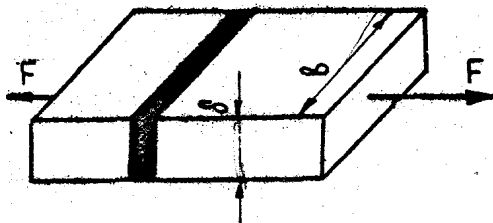


Рис.5. Стыковое соединение

При определении напряжения растяжения используем зависимость:

$$\sigma_p = \frac{F}{b \cdot \delta} \leq [\sigma'_p], \quad (14)$$

где  $F$  – нагрузка на сварное соединение, Н;  
 $A = b \cdot \delta$  – площадь сечения, мм<sup>2</sup>;  
 $b$  – длина шва, мм;  
 $\delta$  – толщина соединяемых деталей, мм;  
 $[\sigma'_p]$  – допускаемое напряжение при растяжении  
 (принять  $[\sigma'_p] = 144 \text{ Н/мм}^2$  для стали Ст3, ручная сварка).

Если требуется определить допускаемую растягивающую силу  $F$ :

$$F = [\sigma'_p] \cdot b \cdot \delta. \quad (15)$$

### 2.2.2. Нахлесточное соединение

Такое соединение рассчитывают по опасному сечению среза, совпадающему с биссектрисой прямого угла (плоскость среза показана на рисунке волнистой линией) (рис. 6).

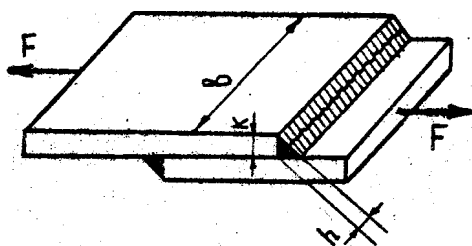


Рис. 6. Нахлесточное соединение

Напряжение среза в угловом шве определяется:

$$\tau_c = \frac{F}{2 \cdot h \cdot b} \leq [\tau'_c], \quad (16)$$

где  $F$  – срезающая сила, Н;  
 $A_c = 2 \cdot h \cdot b$  – площадь среза,  $\text{мм}^2$ ;  
 $b$  - ширина соединяемых листов, мм;  
 $h$  - расчетная высота шва  $h = k \cdot \cos 45^\circ \approx 0,7 \cdot k$  ( $k$  - катет шва), мм;  
 $[\tau'_c]$  - допускаемое напряжение на срез  
 (принять  $[\tau'_c] = 96 \text{ Н/мм}^2$  для стали Ст3).

Окончательно:

$$\tau = \frac{F}{1,4 \cdot k \cdot b} \leq [\tau'_c]. \quad (17)$$

И, наоборот, допускаемая срезающая сила:

$$F = [\tau'_c] \cdot 1,4 \cdot k \cdot b. \quad (18)$$

### 2.2.3. Отрезок трубы, приваренный к пластине валиковым швом

В процессе эксплуатации труба подвергается воздействию крутящего момента (рис.7).

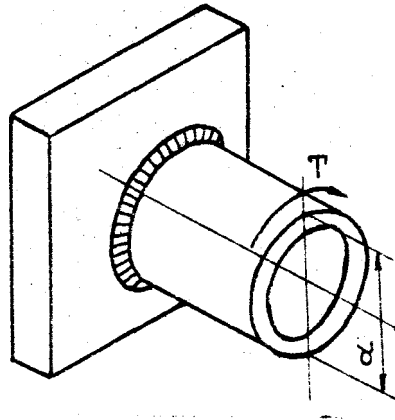


Рис.7. Отрезок трубы приварен к пластине валиковым швом.

Определяем напряжение среза:

$$\tau_c = \frac{F}{A_c} \leq [\tau'_c], \quad (19)$$

где  $F = \frac{2 \cdot T}{d}$  - окружное усилие, Н;

$A_c = 0,7 \cdot k \cdot \pi \cdot d$  - площадь среза, мм<sup>2</sup>;

T – скручивающий момент;

d - диаметр трубы.

$[\tau'_c]$  - допускаемое напряжение на срез

(принять  $[\tau'_c] = 96 \text{ Н/мм}^2$  для стали Ст3).

Окончательная формула для определения действующего напряжения среза примет вид:

$$\tau_c = \frac{2 \cdot T}{0,7 \cdot k \cdot \pi \cdot d^2} \leq [\tau'_c]. \quad (20)$$

Тогда допускаемый скручивающий момент:

$$T = [\tau'_c] \cdot 0,7 \cdot k \cdot \pi \cdot d^2 / 2. \quad (21)$$

## 2.2.4. Тавровое соединение

Соединение одновременно нагружено изгибающим моментом  $M$  и осевой силой  $F$  (рис. 8).

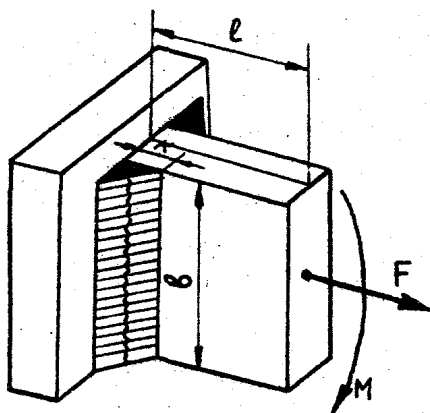


Рис.8. Тавровое соединение

Поскольку соединение выполнено угловыми швами, то суммарное напряжение среза равно:

$$\tau = \frac{M}{2 \cdot W_c} + \frac{F}{A_c} \leq [\tau'_c], \quad (22)$$

где  $A_c$  – площадь швов в бессекторном сечении,  $\text{мм}^2$ ;

$$A_c = 2 \cdot 0,7 \cdot k \cdot b$$

$W_c$  – момент сопротивления швов в бессекторном сечении,  $\text{мм}^3$ ;

$$W_c = \frac{0,7 \cdot k \cdot b^2}{6}$$

$M$  – срезающий момент для имеющейся модели соединения  
принять  $M = 5000 \text{ Н}\cdot\text{м}$ ;

$F$  – осевая сила (принять  $F = 10000 \text{ Н}$ ).

## 2.3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Определить и записать в отчете название сварного соединения, выданного преподавателем.
2. Выполнить его эскиз в двух проекциях и проставить на эскизе размеры сварных швов: длину и их катеты (считая, что швы в сечении представляют собой равносторонний прямоугольный треугольник).
3. Определить, какие виды деформации испытывает сварное соединение. Указать соответствующие критерии прочности.

4. Для стыкового соединения определить разрушающую силу  $F$  по формуле (15).
5. Для нахлесточного соединения определить разрушающую силу  $F$  по формуле (18).
6. Для отрезка трубы определить разрушающий скручивающий момент из формулы (21).
7. Для таврового соединения выполнить проверочный расчет на прочность по зависимости (22).

## 2.4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. К какой группе соединений относится сварное соединение?
2. Какие недостатки имеет сварное соединение?
3. Какие достоинства имеют сварные соединения по сравнению с другими видами соединений?
4. Как классифицируются сварные соединения в зависимости от расположения соединяемых деталей?
5. Как угловые швы по форме сечения применяются в сварных соединениях?
6. Что значит проверить сварное соединение на прочность?
7. Как рассчитывается напряжение растяжения в стыковом соединении?
8. Как рассчитывается на прочность нахлесточное соединение, нагруженное растягивающей силой?
9. По какой плоскости происходит разрушение сварного шва в нахлесточном соединении?
10. Как определяется допускаемое напряжение при расчете сварных швов?

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. Т.1 /Под ред. И.Н. Жестоковой. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение – 1, 2006. – 927 с.
2. Чернавский С.А. и др. Курсовое проектирование деталей машин. – М.: Машиностроение, 2005. – 415 с.
3. Скойбеда А.Т. Детали машин и основы конструирования. – Минск: Вышэйшая шк., 2000. – 584 с.
4. Тимофеев СИ. Детали машин. – Ростов н/Д.: Феникс, 2005. – 408 с.

Тютрина Лариса Николаевна

Курасов Дмитрий Алексеевич

## **НЕРАЗЪЕМНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ**

### **Методические указания**

к выполнению лабораторной работы по курсам  
«Детали машин и основы конструирования», «Прикладная механика»  
для студентов направлений (специальностей)  
151000 (151001), 150200 (150202), 190200 (190201),  
190200 (190202), 190600 (190601), 190600 (190603),  
200500 (200503), 260600 (260601), 050000 (050502), 080000 (080502)

Редактор Е.А. Устюгова

---

Подписано к печати	Формат 60 x 84 1/16	Бумага тип № 1
Печать трафаретная	Усл.п.л. 1, 0	Уч.изд.л. 1,0
Заказ	Тираж 200	Цена свободная

---

РИЦ Курганского государственного университета.

640669, г.Курган, ул.Гоголя, 25.

Курганский государственный университет.