

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Основы проектирования машин»

# КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ИЗДЕЛИЙ

*Методические рекомендации к самостоятельной работе  
для студентов специальности 1-36 07 02 «Производство изделий  
на основе трехмерных технологий»  
заочной формы обучения*



Могилев 2024

УДК 621.81  
ББК 34.44  
К65

Рекомендовано к изданию  
учебно-методическим отделом  
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Основы проектирования машин» «24» января 2024 г.,  
протокол № 6

Составитель канд. техн. наук, доц. А. П. Прудников

Рецензент канд. техн. наук, доц. Е. В. Ильюшина

Изложены краткие теоретические сведения, приведены примеры решения задач и задания для аудиторной контрольной работы, выполняемой студентами специальности 1-36 07 02 «Производство изделий на основе трехмерных технологий» заочной формы обучения.

Учебное издание

## КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ИЗДЕЛИЙ

Ответственный за выпуск	А. П. Прудников
Корректор	А. Т. Червинская
Компьютерная верстка	Н. П. Полевничая

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.  
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 26 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования  
«Белорусско-Российский университет».  
Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/156 от 07.03.2019.  
Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский  
университет, 2024

## Содержание

Введение.....	4
1 Расчет сварных соединений.....	5
2 Расчет резьбовых соединений.....	17
Список литературы.....	24

## Введение

Методические рекомендации составлены в соответствии с учебной программой по дисциплине «Конструирование и расчет изделий» для студентов специальности 1-36 07 02 «Производство изделий на основе трехмерных технологий» заочной формы обучения.

Целью изучения дисциплины «Конструирование и расчет изделий» является ознакомление с основами проектирования изделий и выбором оптимальной конструкции изделия, изучение расчетов конструкции на прочность, жесткость и надежность, оценка эффективности принимаемых решений.

Конструирование и расчет является одним из основных этапов проектирования изделия, цель которого – установление необходимых размеров узлов и деталей, соответствующих заданным нагрузкам и условиям работы.

В краткой форме изложены теоретические сведения по расчету соединений, приведены примеры решения задач и задания для аудиторной контрольной работы [1, 2].

Решение задач по аудиторной контрольной работе выполняется на выдаваемом бланке. Рисунки и таблицы выполняют карандашом, а текст – ручкой.

Целью методических рекомендаций является помощь студентам для самостоятельной подготовки к аудиторной контрольной работе по дисциплине «Конструирование и расчет изделий».

## 1 Расчет сварных соединений

**Цель занятия:** получение практических навыков в расчете различных видов сварных соединений.

Сварные соединения – это соединения, образованные за счет расплавления материала деталей в зоне их стыка. В машиностроении используются следующие виды сварки: электродуговая, кузнечная, газовая, контактная, сварка трением. Независимо от вида сварки различают три вида сварных соединений: стыковое (детали прилегают друг к другу узкими гранями), нахлесточное (детали прилегают друг к другу широкими гранями), тавровое (одна деталь узкой гранью пристыковывается к широкой грани другой детали).

### Стыковые сварные соединения.

Стыковые соединения могут разрушаться по шву, месту сплавления металла шва с металлом детали в зоне термического влияния. Зоной термического влияния называют прилегающий к шву участок детали, в котором в результате нагревания при сварке изменяются механические свойства металла. Практикой установлено, что при качественном выполнении сварки разрушение соединения стальных деталей происходит преимущественно в зоне термического влияния (рядом со швом). Поэтому расчет прочности стыкового соединения принято выполнять по размерам сечения детали в этой зоне.

**Пример 1** – Полосы из стали Ст3 (предел текучести  $\sigma_T = 220$  МПа) соединены стыковым швом и нагружены моментом  $M$  (рисунок 1.1). Определить допустимое значение момента  $M$ . Сварка ручная электродуговая электродом Э34.

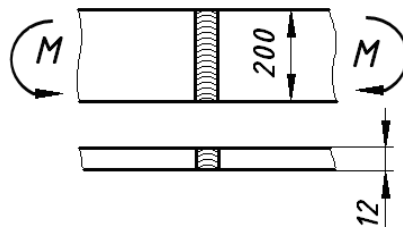


Рисунок 1.1 – Сварное соединение двух полос

Записываем условие прочности соединения на изгиб:

$$\sigma = \frac{M}{W} \leq [\sigma'] \quad (1.1)$$

Задаемся допускаемыми напряжениями для сварного шва. Так как при изгибе в зоне термического влияния присутствуют напряжения растяжения и сжатия, то допускаемые напряжения будут определяться по выражениям:

– для растянутого участка зоны термического влияния сварного шва

$$[\sigma'] = 0,9 \cdot [\sigma_P]; \quad (1.2)$$

– для сжатого участка зоны термического влияния сварного шва

$$[\sigma'] = [\sigma_P], \quad (1.3)$$

где  $[\sigma_P]$  – допускаемые напряжения на растяжение для материала деталей.

Определение допускаемого момента производится по наименьшим напряжениям (растяжения). Тогда

$$[\sigma'] = 0,9[\sigma_P] = 0,9 \frac{\sigma_T}{s} = 0,9 \cdot \frac{220}{1,5} = 132 \text{ МПа.}$$

Поперечное сечение сварного соединения представляет собой прямоугольник со сторонами  $b = 200$  мм и  $\delta = 12$  мм. Осевой момент сопротивления поперечного сечения сварного шва определяется по выражению

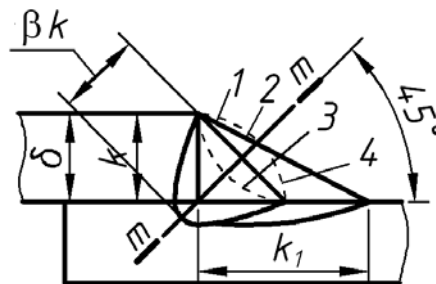
$$W = \frac{b^2 \cdot \delta}{6}. \quad (1.4)$$

Тогда, подставляя (1.4) в (1.1) и выражая момент  $M$ , получаем

$$M = [\sigma'] \cdot W = \frac{[\sigma'] \cdot b^2 \cdot \delta}{6} = \frac{132 \cdot 10^6 \cdot 0,2^2 \cdot 0,012}{6} = 10560 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

### Нахлесточные сварные соединения.

Нахлесточные сварные соединения выполняются с помощью угловых швов (рисунок 1.2). К основным геометрическим характеристикам поперечного сечения углового шва относятся катет  $k$  и расчетная высота шва  $\beta \cdot k$ . Коэффициент  $\beta$  зависит от технологического процесса сварки и составляет при ручной и многопроходной автоматической или механизированной сварке 0,7.



1 – нормальный ( $k = k_1$ ); 2 – улучшенный ( $k / k_1 = 1:1,5; 1:2$ ); 3 – вогнутый; 4 – выпуклый

Рисунок 1.2 – Угловые сварные швы

В большинстве случаев  $k = \delta_{\min}$ , где  $\delta_{\min}$  – меньшая из толщин свариваемых деталей. Разрушение углового шва происходит по сечению  $m-m$ . Площадь опасного сечения шва равна  $\beta \cdot k \cdot l$ , где  $l$  – длина шва.

В зависимости от расположения различают швы лобовые и фланговые.

Лобовой шов расположен перпендикулярно, а фланговый – параллельно линии действия нагружающей силы. Обычно применяют комбинированное соединение фланговыми и лобовыми швами.

**Пример 2** – Проверить на прочность сварное нахлесточное соединение полосы 1 размером  $8 \times 40$  с косынкой 2 из стали Ст3, испытывающих воздействие момента  $T = 400$  Н·м (рисунок 1.3). Сварка автоматическая под флюсом электродом Э50.

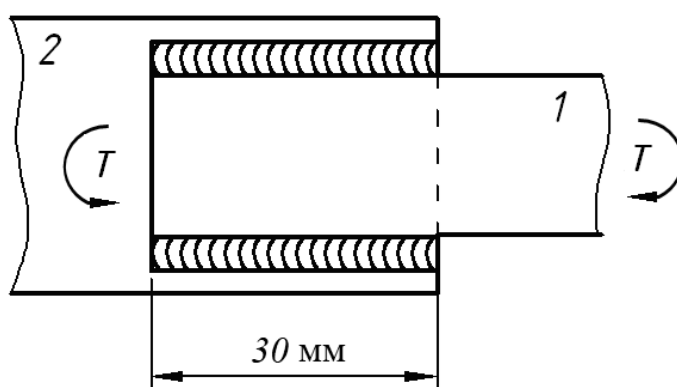


Рисунок 1.3 – Сварное соединение полосы с косынкой

Данное нахлесточное соединение фланговое. Записываем условие прочности соединения:

$$\tau = \frac{T}{\beta \cdot k \cdot l \cdot b} \leq [\tau'], \quad (1.5)$$

где  $l$  – длина сварных швов;

$b$  – расстояние между сварными швами.

Определяем допускаемые напряжения для сварного шва. Так как угловые сварные швы рассчитываются по напряжениям среза, то для сварки автоматической под флюсом электродом Э50 для стали Ст3 ( $\sigma_T = 220$  МПа) допускаемые напряжения будут определяться по выражению

$$[\tau'] = 0,65 \cdot [\sigma_p] = 0,65 \cdot \frac{\sigma_T}{s} = 0,65 \cdot \frac{220}{1,5} = 95,33 \text{ МПа}. \quad (1.6)$$

Определяем напряжения в сварных швах по выражению (1.5). При этом за катет шва  $k$  принимаем толщину полосы, равную 8 мм; длину шва  $l$  принимаем равной 30 мм, а расстояние между швами  $b$  равным толщине полосы 40 мм.

$$\tau = \frac{400}{0,7 \cdot 8 \cdot 10^{-3} \cdot 30 \cdot 10^{-3} \cdot 40 \cdot 10^{-3}} = 59,52 \cdot 10^6 \text{ Па} = 59,52 \text{ МПа.}$$

Сравниваем полученные напряжения с допускаемыми, делаем вывод, что прочность соединения обеспечена. Сварной шов обладает запасом прочности.

### Тавровые сварные соединения.

В тавровых сварных соединениях детали в зоне сварных швов перпендикулярны (наиболее частый случай) или наклонны друг к другу. Это соединение выполняют стыковым швом с разделкой кромок или угловыми швами без разделки кромок. При соединении стыковым швом прочность соединения оценивают по поперечному сечению зоны термического влияния сварного шва, а при соединении угловым швом – по опасному сечению сварного шва  $m-m$  (см. рисунок 1.2). Рассмотрим пример расчета таврового сварного соединения.

**Пример 3** – Проверить тавровое сварное соединение трубы квадратного сечения и пластины (рисунок 1.4) на прочность для двух случаев: сварной шов стыковой; сварной шов угловой. Труба нагружена силой  $F = 280 \text{ кН}$ ; материал трубы – сталь Ст3. Сварка ручная, дуговая, выполнена электродом Э42.

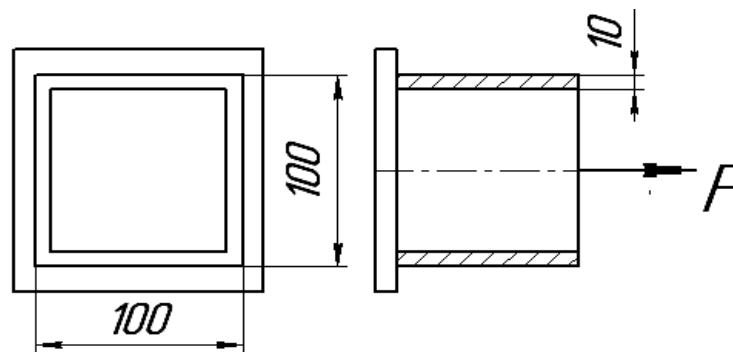


Рисунок 1.4 – Сварное соединение, выполненное тавровыми сварными швами

Определяем допускаемые напряжения для сварного соединения. При стыковом сварном шве под действием нагрузки в шве возникают напряжения растяжения, а при угловом сварном шве – напряжения среза. При ручной дуговой сварке электродом Э42 при растяжении сварного шва допускаемые напряжения составляют  $[\sigma'] = 0,9[\sigma_p]$ , а при срезе –  $[\tau'] = 0,6[\sigma_p]$ . Тогда, принимая предел текучести для стали Ст3  $\sigma_T = 220 \text{ МПа}$ , получим

$$[\sigma'] = 0,9[\sigma_p] = 0,9 \frac{\sigma_T}{s} = 0,9 \cdot \frac{220}{1,5} = 132 \text{ МПа;}$$

$$[\tau'] = 0,6[\sigma_p] = 0,6 \frac{\sigma_T}{s} = 0,6 \cdot \frac{220}{1,5} = 88 \text{ МПа.}$$



При стыковом сварном шве площадь поперечного сечения сварного шва совпадает с площадью поперечного сечения трубы и определяется по формуле

$$A_{cm} = a^2 - (a - 2 \cdot \delta)^2, \quad (1.7)$$

где  $a$  – сторона трубы,  $a = 100$  мм;

$\delta$  – толщина стенки трубы,  $\delta = 10$  мм.

При угловом сварном шве площадь поперечного сечения сварного шва рассчитывается по выражению

$$A_{yz} = 4 \cdot \beta \cdot k \cdot a, \quad (1.8)$$

где  $k$  – катет сварного шва (принимается равным толщине стенки трубы),  $k = 10$  мм.

Тогда условия прочности для данного соединения запишутся в виде:

– для стыкового шва

$$\sigma = \frac{F}{A_{cm}} = \frac{F}{a^2 - (a - 2 \cdot \delta)^2}; \quad (1.9)$$

$$\sigma = \frac{280 \cdot 10^3}{0,1^2 - (0,1 - 2 \cdot 0,01)^2} = 77,78 \cdot 10^6 \text{ Па} = 77,78 \text{ МПа};$$

– для углового шва

$$\sigma = \frac{F}{A_{yz}} = \frac{F}{4 \cdot \beta \cdot k \cdot a} = \frac{280 \cdot 10^3}{4 \cdot 0,7 \cdot 0,01 \cdot 0,1} = 100 \cdot 10^6 = 100 \text{ МПа}. \quad (1.10)$$

Сравнивая рассчитанные напряжения с допускаемыми, делаем вывод, что соединение трубы при его выполнении стыковым швом выдержит заданную нагрузку, а соединение, выполненное угловым швом, не выдержит.

### ***Задачи для аудиторной контрольной работы***

1 Определить максимальную постоянную нагрузку  $F$  для сварного соединения, показанного на рисунке 1.5. Ручная дуговая сварка электродами Э42. Допускаемое напряжение при растяжении материала свариваемых деталей  $[\sigma_p] = 160$  МПа. Исходные данные указаны в таблице 1.1.

2 Определить прочность сварного соединения при постоянной нагрузке (см. рисунок 1.5) для данных, указанных в таблице 1.2. Ручная дуговая сварка электродами Э42. Допускаемое напряжение при растяжении материала свариваемых деталей  $[\sigma_p] = 160$  МПа.

Таблица 1.1 – Исходные данные

Исходные данные	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$a$ , мм	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18
$b$ , мм	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20
$h$ , мм	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
$l$ , мм	30	35	40	45	50	55	60	65	70	80

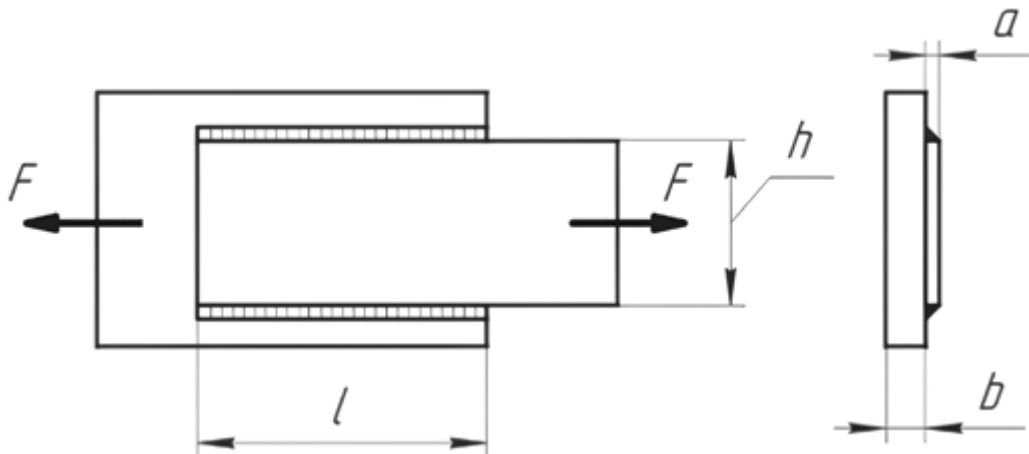


Рисунок 1.5 – Сварное соединение

Таблица 1.2 – Исходные данные

Исходные данные	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$F$ , кН	6	20	28	70	50	120	100	80	65	112
$a$ , мм	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18
$b$ , мм	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20
$h$ , мм	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
$l$ , мм	30	35	40	45	50	55	60	65	70	80

3 Определить максимальную постоянную нагрузку  $F$  для сварного соединения, показанного на рисунке 1.6. Исходные данные указаны в таблице 1.3. Ручная дуговая сварка электродами Э42. Допускаемое напряжение при растяжении материала свариваемых деталей  $[\sigma_p] = 160$  МПа.

4 Определить прочность сварного соединения при постоянной нагрузке (см. рисунок 1.6) для данных, указанных в таблице 1.4. Ручная дуговая сварка электродами Э42. Допускаемое напряжение при растяжении материала свариваемых деталей  $[\sigma_p] = 160$  МПа.

5 Определить максимальную постоянную нагрузку  $F$  для сварного соединения, показанного на рисунке 1.7. Исходные данные указаны в таблице 1.5.

Ручная дуговая сварка электродами Э42. Допускаемое напряжение при растяжении материала свариваемых деталей  $[\sigma_p] = 160$  МПа.

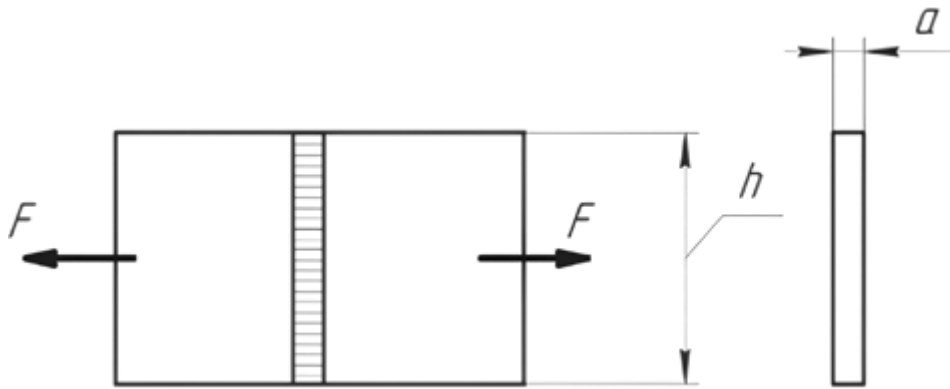


Рисунок 1.6 – Сварное соединение

Таблица 1.3 – Исходные данные

Исходные данные	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$a$ , мм	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18
$h$ , мм	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65

Таблица 1.4 – Исходные данные

Исходные данные	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$F$ , кН	4	10	16	25	44	60	70	80	95	110
$a$ , мм	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18
$h$ , мм	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65

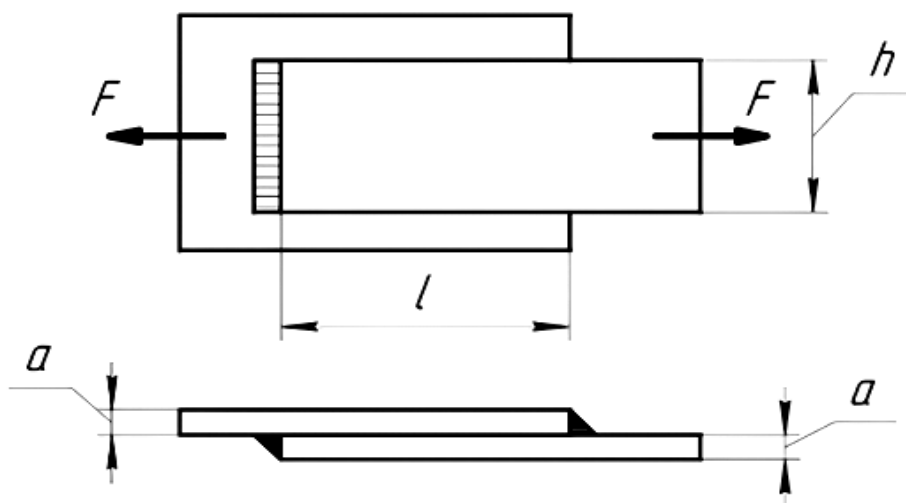


Рисунок 1.7 – Сварное соединение

Таблица 1.5 – Исходные данные

Исходные данные	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$a$ , мм	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$h$ , мм	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
$l$ , мм	10	15	18	25	30	35	40	45	50	60

6 Определить прочность сварного соединения при постоянной нагрузке (см. рисунок 1.7) для данных, указанных в таблице 1.6. Ручная дуговая сварка электродами Э42. Допускаемое напряжение при растяжении материала свариваемых деталей  $[\sigma_p] = 160$  МПа.

Таблица 1.6 – Исходные данные

Исходные данные	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$F$ , кН	1	2	3	4	5	8	10	12	15	20
$a$ , мм	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$h$ , мм	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
$l$ , мм	10	15	18	25	30	35	40	45	50	60

7 Определить прочность сварного соединения при постоянной нагрузке (рисунок 1.8) для данных, указанных в таблице 1.7. Ручная дуговая сварка электродами Э42. Допускаемое напряжение при растяжении материала свариваемых деталей  $[\sigma_p] = 160$  МПа.

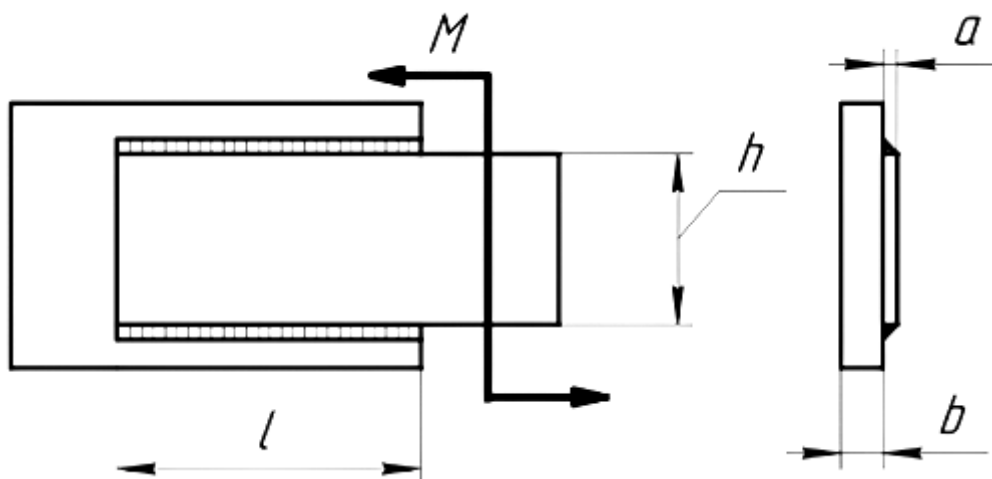


Рисунок 1.8 – Сварное соединение

Таблица 1.7 – Исходные данные

Исходные данные	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$T, \text{Н}\cdot\text{м}$	6	20	28	70	50	120	100	80	65	110
$a, \text{мм}$	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18
$b, \text{мм}$	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20
$h, \text{мм}$	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
$l, \text{мм}$	15	25	30	40	50	55	60	65	70	80

8 Определить прочность сварного соединения при постоянной нагрузке (рисунок 1.9) для данных, указанных в таблице 1.8. Ручная дуговая сварка электродами Э42. Допускаемое напряжение при растяжении материала свариваемых деталей  $[\sigma_p] = 160 \text{ МПа}$ .

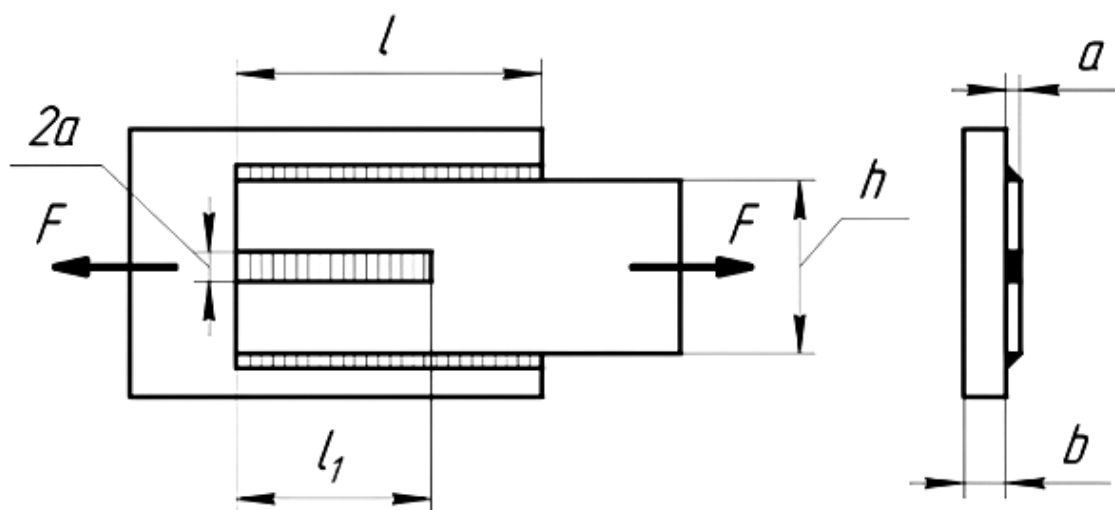


Рисунок 1.9 – Сварное соединение

Таблица 1.8 – Исходные данные

Исходные данные	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$F, \text{кН}$	100	80	50	70	150	120	60	130	160	40
$a, \text{мм}$	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18
$b, \text{мм}$	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20
$h, \text{мм}$	120	85	130	150	140	145	90	200	160	65
$l, \text{мм}$	130	100	140	150	200	250	160	125	170	180
$l_1, \text{мм}$	30	35	40	45	50	55	60	65	70	80

9 Определить прочность сварного соединения при постоянной нагрузке (рисунок 1.10) для данных, указанных в таблице 1.9. Ручная дуговая сварка электродами Э42. Допускаемое напряжение при растяжении материала свариваемых деталей  $[\sigma_p] = 160 \text{ МПа}$ .

ваемых деталей  $[\sigma_p] = 160$  МПа.

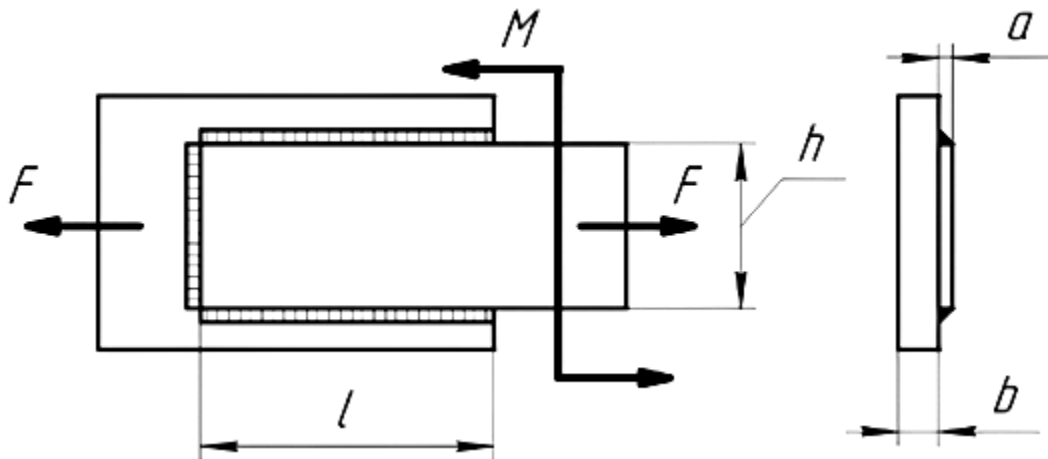


Рисунок 1.10 – Сварное соединение

Таблица 1.9 – Исходные данные

Исходные данные	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$F$ , кН	10	8	15	30	25	40	60	30	45	35
$T$ , Н·м	25	40	50	65	80	90	110	58	73	100
$a$ , мм	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18
$b$ , мм	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20
$h$ , мм	120	85	130	150	140	145	90	200	160	65
$l$ , мм	130	100	140	150	200	250	160	125	170	180

10 Определить прочность сварного соединения при постоянной нагрузке (рисунок 1.11) для данных, указанных в таблице 1.10. Ручная дуговая сварка электродами Э42. Допускаемое напряжение при растяжении материала свариваемых деталей  $[\sigma_p] = 160$  МПа.

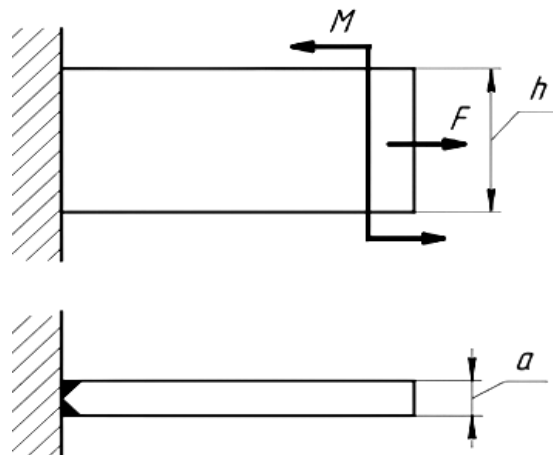


Рисунок 1.11 – Сварное соединение

Таблица 1.10 – Исходные данные

Исходные данные	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$F$ , кН	10	8	15	30	25	40	60	30	45	35
$T$ , Н·м	25	40	50	65	80	90	110	58	73	100
$a$ , мм	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18
$h$ , мм	40	85	50	100	65	45	90	120	110	55

11 Определить максимальную постоянную нагрузку (рисунок 1.12) для данных, указанных в таблице 1.11. Ручная дуговая сварка электродами Э42. Допускаемое напряжение при растяжении материала свариваемых деталей  $[\sigma_p] = 160$  МПа.

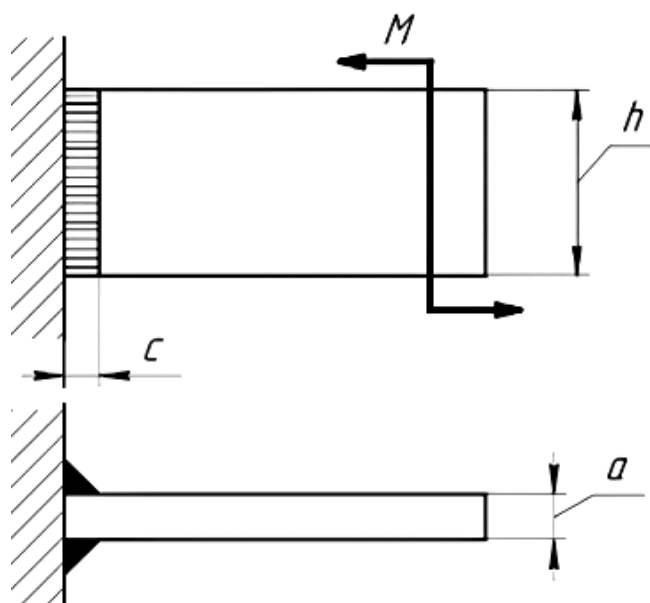


Рисунок 1.12 – Сварное соединение

Таблица 1.11 – Исходные данные

Исходные данные	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$a$ , мм	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18
$h$ , мм	40	85	50	100	65	45	90	120	110	55

12 Необходимо рассчитать сварные швы, соединяющие зубчатый венец колеса с его диском и диск со ступицей (рисунок 1.13), если известны (таблица 1.12): передаваемая зубчатым колесом мощность  $P$ , его угловая скорость  $\omega$  и диаметры  $D$  и  $d$ . Допускаемое напряжение при растяжении материала свариваемых деталей  $[\sigma_p] = 160$  МПа. Ручная дуговая сварка электродами Э42.

Таблица 1.12 – Исходные данные

Исходные данные	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$P$ , кВт	10	8	15	20	25	12	18	23	30	35
$\omega$ , с <sup>-1</sup>	15	11	18	20	8	10	16	12	13	17
$D$ , мм	300	400	350	260	380	440	240	420	310	280
$d$ , мм	40	85	50	100	65	45	90	120	110	55

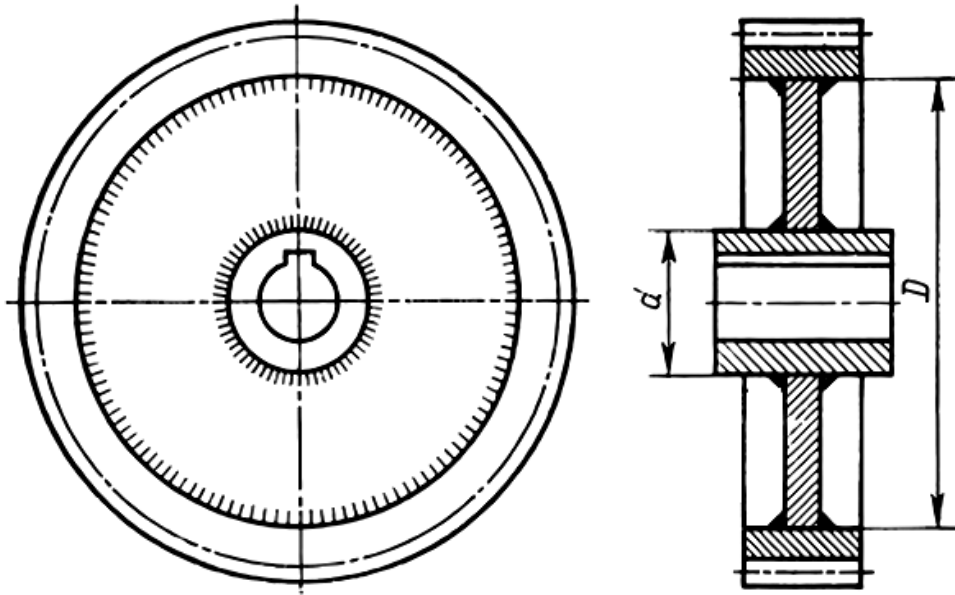


Рисунок 1.13 – Сварное соединение

### ***Контрольные вопросы***

- 1 Какие виды сварки используются в машиностроении?
- 2 Что такое стыковое сварное соединение?
- 3 Какое сечение используют для проверки на прочность углового шва?
- 4 Чем отличаются лобовые и фланговые сварные соединения?
- 5 Что такое катет сварного шва?



## 2 Расчет резьбовых соединений

**Цель занятия:** получение практических навыков в расчете различных видов резьбовых соединений.

Резьбовые соединения являются одними из наиболее распространенных видов разъемных соединений. К ним относятся соединения с помощью болтов, винтов, шпилек, винтовых стяжек и т. д. Резьбовые соединения проектируют таким образом, чтобы стержень болта, винта или шпильки находился под действием только растягивающей нагрузки, действующей по его оси (за исключением случая, когда на соединение действуют силы, сдвигающие детали в стыке, при установке болта без зазора). Различают затянутые и незатянутые резьбовые соединения. Затяжка – это упругая деформация растяжения стержня, возникающая при завинчивании резьбового соединения моментом, приложенным к головке болта (винта) или к гайке при ограничении их осевого перемещения поверхностью соединяемых деталей.

**Пример** – Определить силу  $F$ , если диаметр фундаментных болтов с метрической резьбой, крепящих стойку к основанию (рисунок 2.1),  $d = 16$  мм. Коэффициент трения основания стойки о бетон  $f = 0,4$ ; угол  $\alpha = 45^\circ$ ; размеры:  $a = 650$  мм,  $b = 550$  мм. Недостающие величины выбрать самостоятельно. Обеспечить минимальные габаритные размеры основания стойки.

Принимаем для изготовления болтов сталь 35, для которой предел текучести  $\sigma_T = 300$  МПа. Заданная резьба находится в интервале, для которого коэффициент запаса прочности  $S_T = 4 \dots 2,5$ . Принимая  $S_T = 3$ , определим допускаемые напряжения для болтов:

$$[\sigma_p] = \frac{\sigma_T}{S_T} = \frac{300}{3} = 100 \text{ МПа.}$$

Болты соединения обеспечивают нераскрытие стыка кронштейна с основанием. Внутренний диаметр резьбы М16  $d_1 = 13,835$  мм. Из условия прочности на растяжение определяем расчетную силу, воспринимаемую одним болтом без разрушения:

$$F_p = \frac{\pi \cdot d_1^2 \cdot [\sigma_p]}{4} = \frac{\pi \cdot 13,835^2 \cdot 100}{4} = 15033 \text{ Н.}$$

Разложим силу  $F$  на горизонтальную  $F_x$ , Н, сдвигающую детали в стыке, и вертикальную  $F_y$ , Н, раскрывающую стык, составляющие и перенесем в центр тяжести стыка, при этом возникнет момент  $M$ , Н·мм, от горизонтальной составляющей, раскрывающий стык:

$$F_x = F \cdot \cos\alpha = F \cdot \cos 45^\circ \approx 0,707 F;$$

$$F_y = F \cdot \sin\alpha = F \cdot \sin 45^\circ \approx 0,707 F;$$

$$M = F_x \cdot b = F_x \cdot 0,55 \approx 0,389 \cdot F = 389 \cdot F.$$

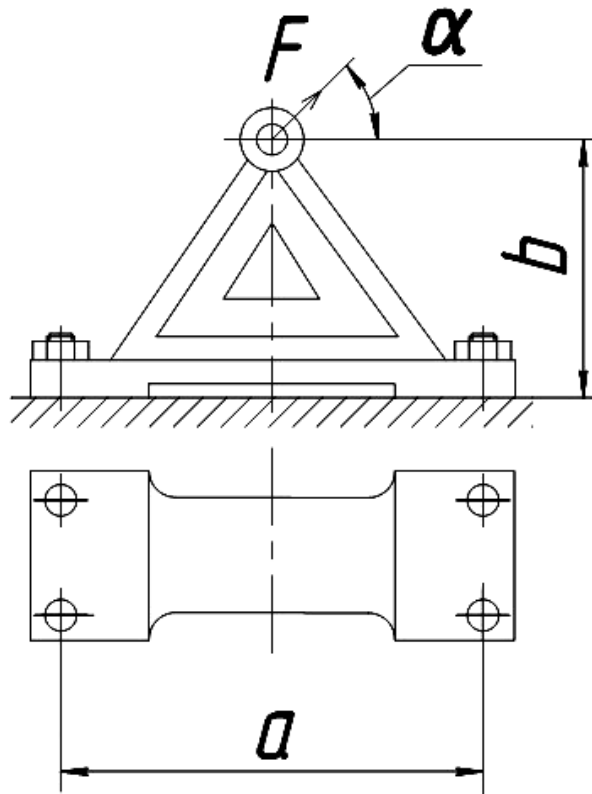


Рисунок 2.1 – Соединение группой болтов

Задаемся размерами стыка, стремясь обеспечить минимальные размеры опорной поверхности кронштейна. В соответствии с нормами (места под гаечные ключи) расстояние между осями болтов в вертикальном ряду  $c = 48$  мм. Зададимся расстоянием от края основания до оси отверстия под болт, приняв его равным 20 мм. Тогда длина основания  $A = 690$  мм, ширина  $E = 88$  мм, ширина выемки  $C = 610$  мм.

Определяем силу затяжки по условию нераскрытия стыка.

Напряжения в стыке  $\sigma_{F_y}$ , МПа, от силы  $F_y$  определим по формуле

$$\sigma_{F_y} = \frac{F_y}{A_{cm}} = \frac{0,707 \cdot F}{7040} = 0,0001 \cdot F,$$

где  $A_{cm}$  – площадь стыка, мм<sup>2</sup>;

$$A_{cm} = E \cdot (A - C) = 88 \cdot (690 - 610) = 7040 \text{ мм}^2.$$

Напряжения в стыке от действия изгибающего момента  $\sigma_M$ , МПа, определим по формуле

$$\sigma_M = \frac{M}{W_{cm}} = \frac{389 \cdot F}{2210,6} = 0,176 \cdot F,$$

где  $W_{cm}$  – момент сопротивления стыка,  $\text{мм}^3$ .

$$W_{cm} = \frac{E \cdot (A^3 - C^3)}{6 \cdot A} = \frac{88 \cdot (690^3 - 610^3)}{6 \cdot 690} = 2210,6 \text{ мм}^3.$$

Определяем напряжение в стыке от затяжки  $\sigma_{зам}$ , МПа:

$$\sigma_{зам} = K \cdot (\sigma_{F_y} + \sigma_M) = 1,5 \cdot (0,0001 \cdot F + 0,176 \cdot F) = 0,264 \cdot F,$$

где  $K$  – коэффициент запаса по условию нераскрытия стыка,  $K = 1,5$ .

Определяем силу затяжки по условию отсутствия сдвига  $F_{зам}$ , Н, по формуле

$$F_{зам} = \frac{K' \cdot F_x + (1 - \chi) \cdot F_y \cdot f}{z \cdot f} = \frac{1,5 \cdot 0,707 \cdot F + (1 - 0,25) \cdot 0,707 \cdot F \cdot 0,1}{4 \cdot 0,1} =$$

$$= \frac{(1,0605 + 0,053) \cdot F}{0,4} = 1,114 \cdot F,$$

где  $\chi$  – коэффициент внешней нагрузки,  $\chi = 0,25$ ;

$f$  – коэффициент трения в стыке,  $f = 0,1$ ;

$z$  – количество болтов в соединении,  $z = 4$ .

В дальнейших расчетах будет участвовать, как наибольшая, сила затяжки болтов по условию отсутствия сдвига деталей.

Определим внешнюю нагрузку  $F_е$ , Н, действующую на один болт:

$$F_е = F_{F_y} + F_M = \frac{F_y}{z} + \frac{M}{i \cdot a} = \frac{0,707 \cdot F}{4} + \frac{389 \cdot F}{2 \cdot 650} = 0,476 \cdot F,$$

где  $i$  – число болтов в поперечном ряду,  $i = 2$ .

Определяем расчетную нагрузку болта  $F_p$ , Н:

$$F_p = 1,3 \cdot F_{зам} + 0,25 \cdot F_е = 1,3 \cdot 1,114 \cdot F + 0,25 \cdot 0,476 \cdot F = 1,5672 \cdot F.$$

Из условия прочности болта

$$\sigma = \frac{4 \cdot F_p}{\pi \cdot d_1^2} = \frac{4 \cdot 1,5672 \cdot F}{\pi \cdot d_1^2} \leq [\sigma_p],$$

где  $d_1$  – внутренний диаметр резьбы М16,  $d_1 = 13,835$  мм.

Найдем величину искомой силы:

$$F = \frac{\pi \cdot d_1^2 \cdot [\sigma_p]}{4 \cdot 1,5672} = \frac{\pi \cdot 13,835^2 \cdot 100}{4 \cdot 1,5672} = 9592,32 \text{ Н.}$$

### Задачи для аудиторной контрольной работы

1 По окружности (диаметр  $D_1$ ) располагаются болты. Лебедка развивает тяговое усилие  $F_t$  (таблица 2.1). Нагрузка постоянная. Болты установлены в отверстия с зазором и без зазора. Количество болтов –  $z$ . Определить диаметр болтов, соединяющих барабан грузовой лебедки диаметром  $D$  с зубчатым колесом (рисунок 2.2). Допускаемое напряжение при растяжении материала резьбового соединения  $[\sigma_p] = 100$  МПа.

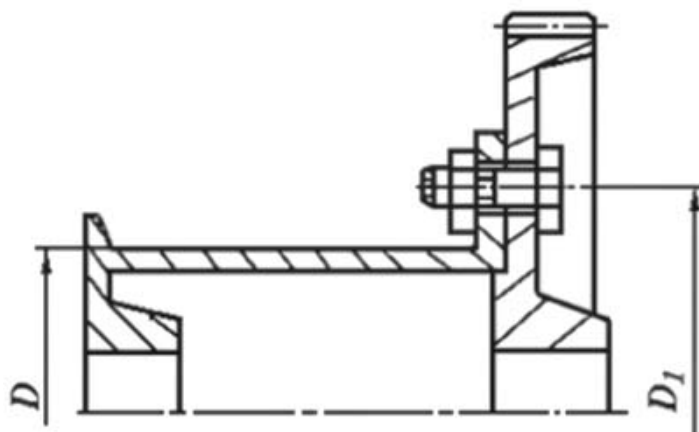


Рисунок 2.2 – Резьбовое соединение

Таблица 2.1 – Исходные данные

Исходные данные	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$F_t$ , Н	10	8	15	20	25	12	18	23	30	35
$D$ , мм	300	400	350	260	380	440	240	420	310	280
$D_1$ , мм	360	485	550	400	465	550	300	520	410	350
$z$	4			6			8			

2 Вал передает мощность  $P$  и вращается с угловой скоростью (таблица 2.2). Нагрузка постоянная. Провести расчет для болтов, установленных в отверстие с зазором или без зазора (по указанию преподавателя). Для поперечно-свертной муфты (рисунок 2.3) определить диаметр болтов, расположенных по окружности (диаметр  $D$ ). Количество болтов –  $z$ . Допускаемое напряжение при растяжении материала резьбового соединения  $[\sigma_p] = 100$  МПа.

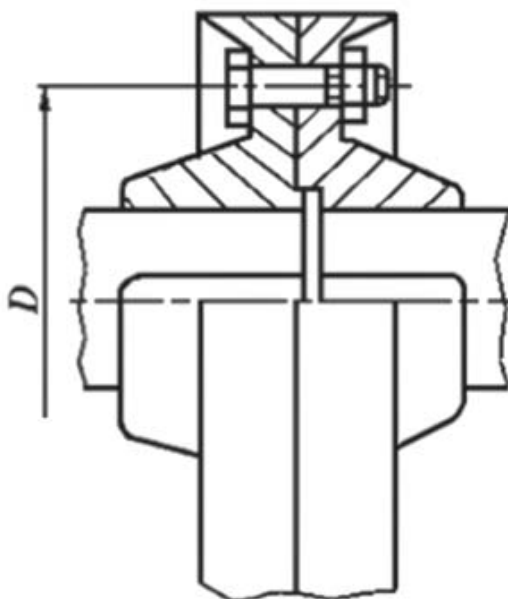


Рисунок 2.3 – Резьбовое соединение

Таблица 2.2 – Исходные данные

Исходные данные	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$P$ , кВт	10	8	15	20	25	12	18	23	30	35
$\omega$ , с <sup>-1</sup>	15	11	18	20	8	10	16	12	13	17
$D$ , мм	100	140	150	200	180	160	120	220	210	115
$z$	4					6				

3 На конце резьбовой части вала между двумя шайбами, посредством сил трения, возникающих при затяжке гайки, зажата дисковая пила (рисунок 2.4). Сопротивление резанию –  $F$ , диаметр пилы –  $D$ , средний диаметр шайб –  $D_1$  (таблица 2.3). Определить диаметр резьбовой части вала, на конце которого зажимается дисковая пила. Допускаемое напряжение при растяжении материала резьбового соединения  $[\sigma_p] = 100$  МПа.

Таблица 2.3 – Исходные данные

Исходные данные	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$F$ , Н	500	580	450	600	650	320	400	360	300	550
$D$ , мм	400	520	600	460	500	620	380	580	550	440
$D_1$ , мм	360	485	550	400	465	550	300	520	410	350

4 Болты расположены по окружности (диаметр  $D$ ). Передаваемый крутящий момент –  $T$ . Число болтов –  $z$  (таблица 2.4). Болты установлены в отверстия с зазором или без зазора (по указанию преподавателя). Нагрузка постоян-

ная. Определить диаметр болтов, соединяющих венец и ступицу зубчатого колеса (рисунок 2.5). Допускаемое напряжение при растяжении материала резьбового соединения  $[\sigma_p] = 100 \text{ МПа}$ .

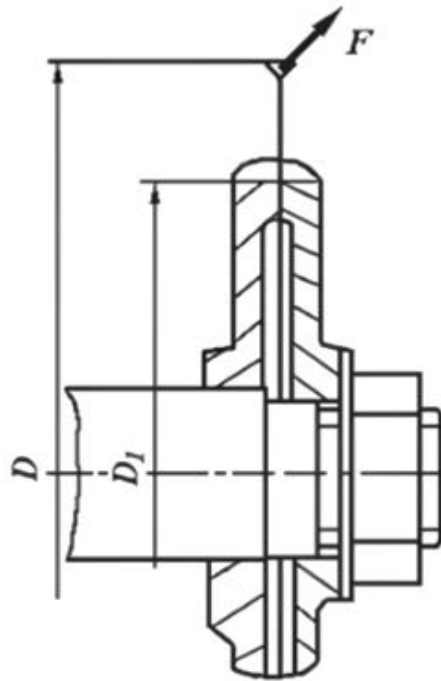


Рисунок 2.4 – Резьбовое соединение

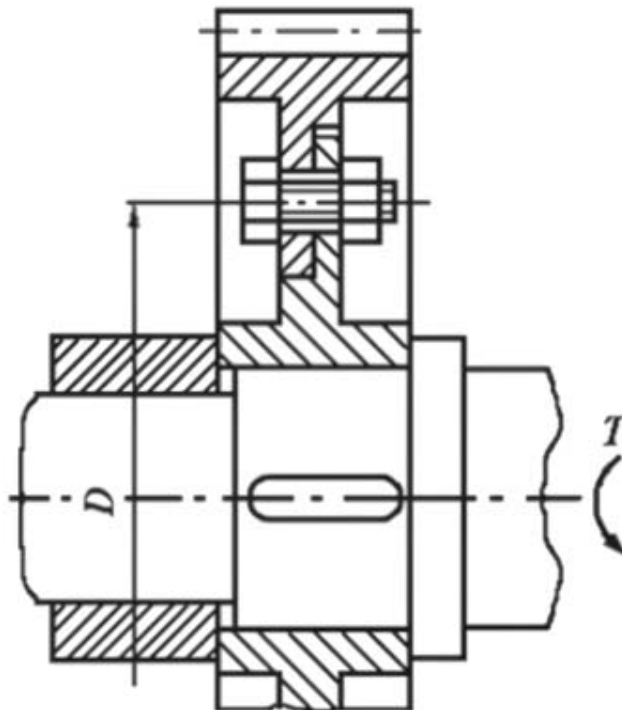


Рисунок 2.5 – Резьбовое соединение

Таблица 2.4 – Исходные данные

Исходные данные	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$T, Н$	450	800	350	200	550	600	680	850	700	500
$D, мм$	300	400	350	260	380	440	240	420	310	280
$z$	4			6			8			

5 Фланцевое соединение верхней части автоклава с его корпусом соединено болтами (рисунок 2.6). Давление жидкости внутри автоклава по манометру –  $P$ , внутренний диаметр верхней части автоклава  $D$  и количество болтов  $z$  заданы в таблице 2.5. Недостающие данные принять самостоятельно. Определить диаметр болтов фланцевого соединения. Допускаемое напряжение при растяжении материала резьбового соединения  $[\sigma_p] = 100$  МПа.

Таблица 2.5 – Исходные данные

Исходные данные	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$P, МПа$	1,5	2	3	1,8	1,2	2,2	1,6	2,5	2,7	1,9
$D, мм$	300	400	350	260	380	440	240	420	310	280
$z$	4			6			8			

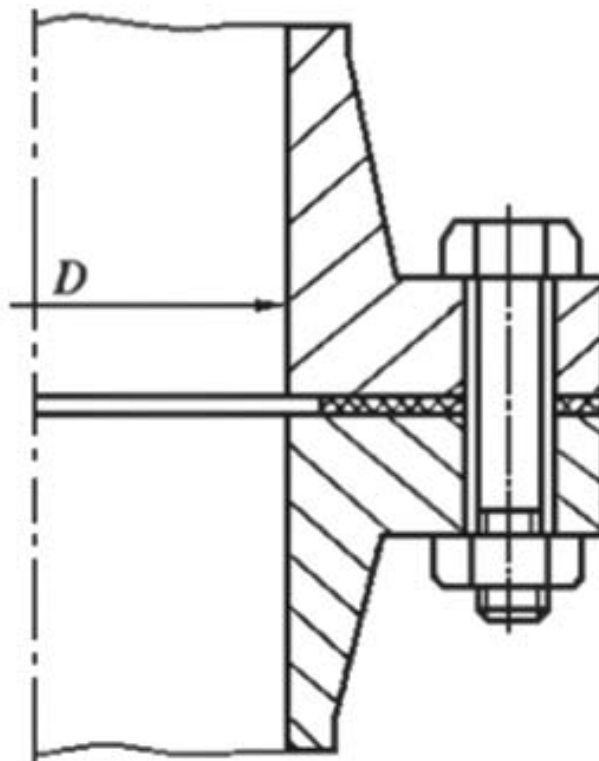


Рисунок 2.6 – Резьбовое соединение

### ***Контрольные вопросы***

- 1 Какое сечение резьбы используется для расчета на прочность резьбовых соединений при растяжении стержня болта?
- 2 Что такое затяжка?
- 3 Какие условия необходимо учитывать при расчете соединений, выполненных группой болтов, в которых нагрузка раскрывает стык деталей?

### **Список литературы**

- 1 **Иванов, М. Н.** Детали машин: учебник / М. Н. Иванов, В. А. Финогенов. – 16-е изд., испр. и доп. – Москва: Юрайт, 2018. – 409 с.: ил.
- 2 **Лустенков, М. Е.** Детали машин: учебное пособие / М. Е. Лустенков. – 2-е изд., перераб. и доп. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2020. – 258 с.: ил.