

ТЕМА 15. УСЛОВНЫЕ РАСЧЕТЫ НА ПРОЧНОСТЬ

Алгоритм решения задач

1. Расчетная схема соединения:

- изобразить эскиз соединения, указать размеры;
- показать внешние нагрузки, выразив их через параметр нагрузки.

2. Виды разрушения соединения:

- выявить все возможные способы разрушения соединения: разрыв, срез деталей, смятие;

3. Расчет на прочность:

- записать условие прочности на разрыв, срез, смятие;

4. Определение искомой величины:

- выразить из условий прочности и вычислить искомую величину.

З а м е ч а н и я

1. Решение должно быть выполнено в общем виде. Числовые значения исходных данных необходимо подставлять только в конечную расчетную формулу для вычисления искомой величины. Подстановку выполнять с учетом размерностей всех величин. Ответ приводить с точностью до трех значащих цифр (например, 8,51 кН; 5,67 мм).

2. В проектировочных расчетах размеры требуется округлить в **большую** сторону в соответствии с ГОСТом 6636–69 на нормальные линейные размеры, часть которого приведена в табл. 1.

Нормальные линейные размеры. ГОСТ 6636–69. Ряд Ra40.

1.00	1.05	1.10	1.15	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.8	1.9
2.0	2.1	2.2	2.4	2.5	2.6	2.8				
3.0	3.2	3.4	3.6	3.8						
4.0	4.2	4.5	4.8							
5.0	5.6									
6.0	6.3	6.7								
7.1	7.5									
8.0	8.5									
9.0	9.5									
10										

Числа <1 и >10 получают соответственно делением или умножением приведенных выше величин на 10, 100, 1000 и т. д.

Примеры решения задач

Задача 1

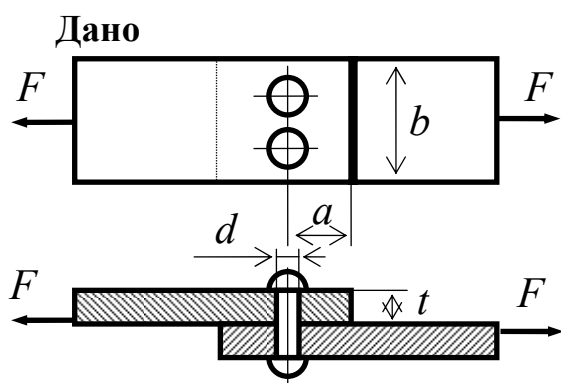


Рис. 1

Заклепочное соединение (см. рис. 1) двух одинаковых пластин внахлест нагружено силами $F = 1000$ Н, действующими вдоль продольной оси соединения. Материал — сталь Ст.3 с $\sigma_m = 230$ МПа; $[n_m] = 2$.

Определить

размеры деталей заклепочного соединения: ширину b и толщину t пластин; диаметр заклепки d , расстояние от центра отверстия до края пластины a .

Решение

1. Расчетная схема заклепочного соединения показана на рис. 21.

2. Виды разрушения соединения. Потеря работоспособности соединения произойдет в любом из следующих случаев:

2.1. Разрыв одной из пластин по сечению, ослабленному отверстиями под за-

клепки.

- 2.2. Одинарный срез заклепок в сечении, соответствующем плоскости контакта пластин.
- 2.3. Двойной срез одной из пластин по параллельным плоскостям от края отверстий под заклепки к краю пластины.
- 2.4. Смятие одной из пластин — пластическое течение материала в окрестности отверстия приводит к тому, что его форма становится эллиптической.

3. Расчет на прочность.

3.1. Расчет пластин на растяжение (разрыв). Запишем условие прочности при растяжении:

$$\sigma_p \leq [\sigma].$$

Допускаемые напряжения $[\sigma] = \frac{\sigma_T}{[n_T]} = 115 \text{ МПа}$.

Действующие нормальные напряжения вычисляются как отношение нормальной силы N в опасном сечении к площади сечения S :

$$N = F; \quad S = (b - 2d) \cdot t; \quad \sigma_p = \frac{N}{S} = \frac{F}{(b - 2d) \cdot t}.$$

В результате условие прочности приобретает вид

$$\frac{F}{(b - 2d) \cdot t} \leq [\sigma].$$

3.2. Расчет заклепок на срез. Запишем условие прочности:

$$\tau_{cp} \leq [\tau_{cp}].$$

Допускаемые напряжения среза примем равными

$$[\tau_{cp}] = 0,3 \sigma_T = 69 \text{ МПа}.$$

Действующие касательные напряжения среза вычисляются как отношение поперечной силы Q в сечении среза к площади сечения среза S_{cp} :

$$Q = \frac{F}{2}; \quad S_{cp} = \frac{\pi}{4} d^2; \quad \tau_{cp} = \frac{Q}{S_{cp}} = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{F}{d^2}.$$

В результате условие прочности заклепок на срез приобретает вид

$$\frac{2}{\pi} \cdot \frac{F}{d^2} \leq [\tau_{cp}].$$

3.3. Расчет пластин на срез. Действующие касательные напряжения среза вычисляются как отношение поперечной силы Q в сечении среза к площади сечения среза S_{cp} :

$$Q = \frac{F}{2}; \quad S_{cp} = t \cdot a; \quad \tau_{cp} = \frac{Q}{S_{cp}} = \frac{F}{2ta}.$$

В результате условие прочности пластин на срез приобретает вид

$$\frac{F}{2 t a} \leq [\tau_{\text{ср}}] .$$

3.3. Расчет заклепочного соединения на смятие. Условие прочности на смятие имеет вид:

$$\sigma_{\text{см}} \leq [\sigma_{\text{см}}] .$$

Допускаемые напряжения смятия примем равными

$$[\sigma_{\text{см}}] = 0,9 \sigma_{\text{T}} = 207 \text{ МПа} .$$

Действующие напряжения смятия вычисляются как отношение сминающей силы $F_{\text{см}}$ в сечении смятия к площади смятия $S_{\text{см}}$:

$$F_{\text{см}} = \frac{F}{2}; \quad S_{\text{см}} = d \cdot t; \quad \sigma_{\text{см}} = \frac{F_{\text{см}}}{S_{\text{см}}} = \frac{F}{2 d t} .$$

В результате условие прочности на смятие приобретает вид

$$\frac{F}{2 d t} \leq [\sigma_{\text{см}}] .$$

4. Размеры соединения.

4.1. Определим диаметр заклепок из условия прочности заклепок на срез:

$$\begin{aligned} d &\geq \sqrt{\frac{2}{\pi} \frac{F}{[\tau_{\text{ср}}]}} = 0,798 \cdot \sqrt{\frac{F}{[\tau_{\text{ср}}]}} = 0,798 \cdot (1000 \text{ Н} / 69 \cdot 10^6 \text{ Па})^{1/2} = \\ &= 0,798 \cdot 0,00381 \text{ м} = 0,00304 \text{ м} = 3,04 \text{ мм} . \end{aligned}$$

4.2. Определим толщину пластин из условия прочности на смятие:

$$\begin{aligned} t &\geq \frac{F}{2 d [\sigma_{\text{см}}]} = 1000 \text{ Н} / (2 \cdot 0,00304 \text{ м} \cdot 207 \cdot 10^6 \text{ Па}) = \\ &= 0,000795 \text{ м} = 0,795 \text{ мм} . \end{aligned}$$

4.3. Определим ширину пластин из условия прочности на растяжение:

$$\begin{aligned} b &\geq 2 d + \frac{F}{t [\sigma]} = 2 \cdot 0,00304 \text{ м} + 1000 \text{ Н} / (0,000795 \text{ м} \cdot 115 \cdot 10^6 \text{ Па}) = \\ &= 0,0170 \text{ м} = 17,0 \text{ мм} . \end{aligned}$$

4.4. Определим расстояние от центра отверстия до края пластины из условия прочности пластины на срез:

$$\begin{aligned} a &\geq \frac{F}{2 t [\tau_{\text{ср}}]} = 1000 \text{ Н} / (2 \cdot 0,000795 \text{ м} \cdot 69 \cdot 10^6 \text{ Па}) = \\ &= 0,00911 \text{ м} = 9,11 \text{ мм} . \end{aligned}$$

4.5. Округлим размеры в большую сторону по ГОСТ 6636–69: $d = 3,2$ мм; $b = 18$ мм; $t = 0,8$ мм; $a = 9,5$ мм.

Ответ

Размеры заклепочного соединения:

$d = 3,2$ мм; $b = 18$ мм; $t = 0,8$ мм; $a = 9,5$ мм.

Задача 2

Дано

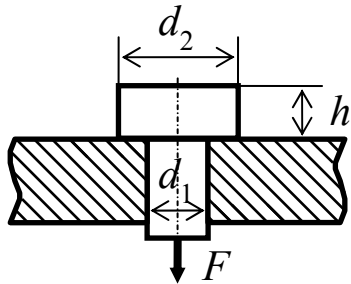


Рис. 2

Болтовое соединение (см. рис. 2) нагружено силой $F = 3000$ Н, действующей вдоль продольной оси соединения.

Материал — сталь Ст.5 с $\sigma_m = 280$ МПа; $[n_m] = 2$.

Определить

размеры деталей соединения: диаметр болта d_1 , диаметр головки болта d_2 , высоту головки болта h .

Решение

1. Расчетная схема болтового соединения показана на рис. 2.

2. Виды разрушения соединения:

2.1. Разрыв болта.

2.2. Срез головки болта: поверхностью среза является цилиндрическая поверхность диаметром d_1 и высотой h .

2.3. Смятие в контакте плиты и головки болта: поверхностью смятия является плоское кольцо с внешним диаметром d_2 и внутренним диаметром d_1 .

3. Расчет на прочность.

3.1. Расчет болта на растяжение (разрыв). Условие прочности при растяжении: $\sigma_p \leq [\sigma]$. Допускаемые напряжения $[\sigma] = \frac{\sigma_T}{[n_T]} = 140$ МПа.

Действующие нормальные напряжения вычисляются как отношение нормальной силы N к площади сечения болта S :

$$N = F; \quad S = \frac{\pi}{4} d_1^2; \quad \sigma_p = \frac{N}{S} = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{F}{d_1^2}.$$

В результате условие прочности болта на растяжение приобретает вид:

$$\frac{4}{\pi} \cdot \frac{F}{d_1^2} \leq [\sigma].$$

3.2. Расчет головки болта на срез. Запишем условие прочности: $\tau_{cp} \leq [\tau_{cp}]$.

Допускаемые напряжения среза примем равными $[\tau_{cp}] = 0,6 [\sigma] = 84$ МПа.

Действующие касательные напряжения среза вычисляются как отношение поперечной силы Q в сечении среза к площади сечения среза $S_{\text{ср}}$:

$$Q = F; \quad S_{\text{ср}} = \pi d_1 h; \quad \tau_{\text{ср}} = \frac{Q}{S_{\text{ср}}} = \frac{F}{\pi d_1 h}.$$

В результате условие прочности головки болта на срез приобретает вид:

$$\frac{F}{\pi d_1 h} \leq [\tau_{\text{ср}}].$$

3.3. Расчет на смятие в контакте плиты и головки болта. Условие прочности на смятие имеет вид: $\sigma_{\text{см}} \leq [\sigma_{\text{см}}]$. Допускаемые напряжения смятия примем равными $[\sigma_{\text{см}}] = 2,0 [\sigma] = 280 \text{ МПа}$. Действующие напряжения смятия вычисляются как отношение сминающей силы $F_{\text{см}}$ в сечении смятия к площади смятия $S_{\text{см}}$:

$$F_{\text{см}} = F; \quad S_{\text{см}} = \frac{\pi}{4} (d_2^2 - d_1^2); \quad \sigma_{\text{см}} = \frac{F_{\text{см}}}{S_{\text{см}}} = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{F}{d_2^2 - d_1^2}.$$

В результате условие прочности на смятие приобретает вид:

$$\frac{4}{\pi} \cdot \frac{F}{d_2^2 - d_1^2} \leq [\sigma_{\text{см}}].$$

4. Размеры соединения

4.1. Определим диаметр болта из условия прочности на растяжение:

$$d_1 \geq \sqrt{\frac{4}{\pi} \frac{F}{[\sigma]}} = 1,128 \cdot \sqrt{\frac{F}{[\sigma]}} = 1,128 \cdot (3000 \text{ Н} / 140 \cdot 10^6 \text{ Па})^{1/2} =$$

$$= 1,128 \cdot 0,00463 \text{ м} = 0,00522 \text{ м} = 5,22 \text{ мм}.$$

4.2. Определим высоту головки болта из условия прочности на срез:

$$h \geq \frac{F}{\pi d_1 [\tau_{\text{ср}}]} = 3000 \text{ Н} / (\pi \cdot 0,00522 \text{ м} \cdot 84 \cdot 10^6 \text{ Па}) =$$

$$= 0,00218 \text{ м} = 2,18 \text{ мм}.$$

4.3. Определим диаметр головки болта из условия прочности на смятие:

$$d_2 \geq \sqrt{d_1^2 + \frac{4}{\pi} \cdot \frac{F}{[\sigma_{\text{см}}]}} =$$

$$= [(0,00522 \text{ м})^2 + 4 \cdot 3000 \text{ Н} / (\pi \cdot 280 \cdot 10^6 \text{ Па})]^{1/2} = 0,00639 \text{ м} = 6,39 \text{ мм}.$$

4.4. Округлим размеры в большую сторону по ГОСТ 6636–69: $d_1 = 5,6 \text{ мм}$; $d_2 = 6,7 \text{ мм}$; $h = 2,2 \text{ мм}$.

Ответ

Размеры болтового соединения:

$$d_1 = 5,6 \text{ мм}; \quad d_2 = 6,7 \text{ мм}; \quad h = 2,2 \text{ мм}.$$

Практическое задание

Задача 17

Дано

Заклепочное соединение (см. рис. 3) нагружено сосредоточенными силами F , действующими вдоль продольной оси соединения. Исходные данные приводятся в табл. 2. Механические характеристики материалов взять из табл. 3.

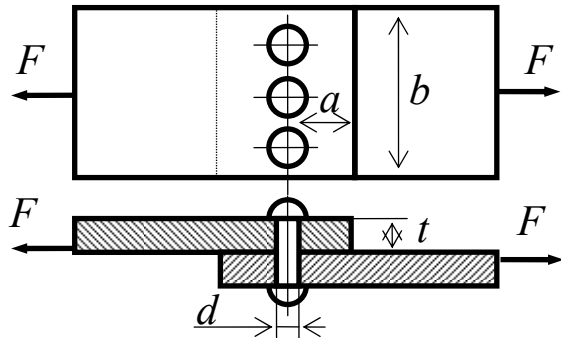


Схема 3.1

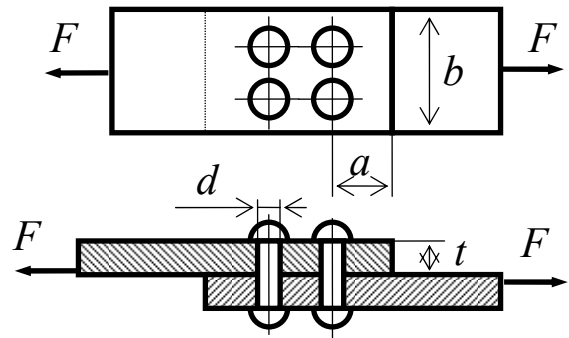


Схема 3.2

Рис. 3

Таблица 2

Цифра вари- анта	Порядковый номер цифры в варианте			
	1	2	3	4
	$[n_m]$	F , кН	материал	схема
0	1,8	1	40X	17.1
1	1,9	2	40XH	17.2
2	2,0	5	Ст. 3	17.1
3	2,1	10	Ст. 4	17.2
4	2,2	20	Ст. 5	17.1
5	2,3	50	20	17.2
6	2,4	100	35	17.1
7	2,5	200	45	17.2
8	2,6	500	20XH	17.1
9	2,8	1000	40H	17.2

Определить

Размеры соединения из условных расчетов на растяжение-сжатие, срез, смятие.

Таблица 3

Механические свойства сталей

Материал	Марка	σ_m , МПа	σ_{ϵ} , МПа	τ_m , МПа	E , ГПа
Сталь углеродистая	Ст. 3	230	380...470	160	200
	Ст. 4	240	430...550	170	
	Ст. 5	280	520...650	190	
	20	220	400...500	160	
	35	270	550	190	
	45	320	600	220	
Сталь легированная	20ХН	600	800	350	210
	40Н	400	700	260	
	40Х	800	1000	440	
	40ХН	750	900	390	