

# ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 11

## РОЗРАХУНОК КЛЕПАНИХ З'ЄДНАНЬ

### 1.1. Методичні вказівки до вирішення задач

#### 1.1.1. Послідовність розрахунку клепаких з'єднань

##### I. Розрахунок міцних клепаких швів (задачі № 1–4):

1) Визначають діаметр заклепки  $d_0$  і параметри шва: крок багаторядних швів  $p$  і відстань від осі заклепок до кромки  $e$ .

2) Допустимі напруги. На практиці при розрахунку міцних клепаких швів силу тертя не враховують, використовуючи більш простий розрахунок за умовними напруженням зрізу  $[\tau_{зр}]$ .

Для заклепок з сталей Ст 0, Ст 2, Ст 3 приймають  $[\tau_{зр}] = 140$  МПа,  $[\tau_{зм}] = 280 \dots 320$  при просвердлених отворах в листах, що з'єднуються; при виготовленні отворів продавлюванням і при холодній клепці допустимі напруження знижують на 20...30%.

3) Максимальне навантаження на одну заклепку визначають з умови зрізу.

3) Кількість заклепок в шві визначають виходячи з прикладеного навантаження. Для виключення можливості повороту деталей, що з'єднуються число заклепок приймають  $z \geq 2$ .

4) Розробляють конструкцію заклепувального шва (при цьому уточнюють параметри шва  $p, e$ ).

5) Спроекований заклепувальний шов перевіряють на розтяг деталей (листів) і на зріз деталі.

II. Розрахунок міцно щільних клепаких швів (задача № 5) проводять у наступній послідовності:

1) Обчислюють товщину стінки циліндричної посудини (котла, автоклава тощо) за формулою:

$$\delta = \frac{PD}{2[\varphi][\sigma_p]} + \nu,$$

де  $P$  – тиск на поверхню стінки посудини;  $D$  – внутрішній діаметр посудини;  $[\varphi]$  – допустимий коефіцієнт міцності поздовжнього шва (розрахунок стінки посудини виконують по подовжньому шву), таблиця 1.1;  $[\sigma_p]$  – допустиме напруження розтягу для стінки посудини;  $\nu = 1 \dots 3$  – величина, що враховує на корозію металу.

2) Допустимі напруги. При розрахунку міцно щільних клепаких швів їх перевіряють на щільність, тобто на відсутність відносного ковзання листів. Цьому ковзанню перешкоджають виникаючі між листами сили тертя. Значення цієї сили тертя визначають експериментально і умовно відносять до поперечного перерізу заклепки. Тому перевірка заклепок по допустимому умовному напруженню зрізу  $\tau_{узр} \leq [\tau_{узр}]$  одночасно є перевіркою шва і на щільність. Значення  $[\tau_{узр}]$

подано в таблиці 1.1, де наведено рекомендовані значення основних параметрів міцно щільних клепаних швів в залежності від значення  $0,5PD$ .

Допустимі напруження розтягу для стінки посудини визначають залежно від температури нагріву стінки при температурі  $t < 250$  °C:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_B}{[s_T]}$$

де  $\sigma_B$  – межа міцності на розтяг матеріалу листів, з яких виготовлено стінку посудини;  $[s_T] \approx 4,5$  – коефіцієнт запасу міцності.

Таблиця 1.1

Тип шва	Дворядний стиковий з двосторонніми накладками	Трирядний стиковий з двосторонніми накладками
$0,5PD$	0,45 ... 1,35	0,45 ... 2,30
Діаметр заклепок $d_0$ , мм	$\delta + (5 \dots 6)$	$\delta + 5$
Крок $p$ , мм	$3,5d + 15$	$6d + 20$
Допустимий коефіцієнт міцності поздовжнього шва $[\varphi]$	0,75	0,85
Допустиме умовне напруження зрізу $[r_{узр}]$	47 ... 57	45 ... 55

3) Максимальне навантаження на одну заклепку в поздовжньому та поперечному швах

$$F = 0,5PD \frac{p}{z}$$

де  $z$  – число заклепок, якими скріплюють листи на ділянці шва шириною  $p$ .

4) Проводять перевірочний розрахунок заклепок по допустимому умовному напруженні зрізу:

$$r_{узр} = \frac{F}{kA} = \frac{4F}{k\pi d_0^2} \leq [r_{узр}],$$

де  $r_{узр}$  – умовне розрахункове напруження зрізу в заклепках;  $k$  – число площин зрізу заклепки.

5) Після визначення  $d_0$ ,  $p$  і перевірки шва на щільність обчислюють інші розміри шва.

Для міцно щільних швів відстань заклепки до краю листа:

$$e = 1,65d_0.$$

Відстань між рядами заклепок:

$$e_1 = 0,5P.$$

Товщина накладок:

$$\delta_1 = 0,85\delta.$$

## 1.2. Приклади розв'язування задач

### Приклад № 1.

Розрахувати і сконструювати заклепкове з'єднання внахлест двох листів з розмірами в перетині  $b \times \delta = 150 \times 6$  (рис. 1.1), сила  $F$ , що діє на

з'єднання, прикладена по осі симетрії листів і дорівнює 80 кН. Матеріал листів сталь Ст 3, заклепок – сталь Ст 2.

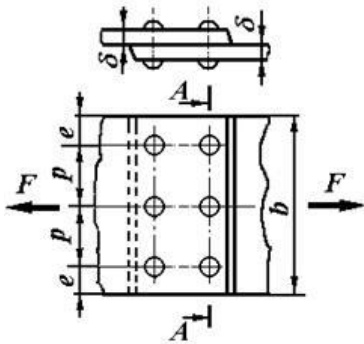


Рисунок 1.1.

### Розв'язок:

1. Розрахунок ведемо для міцного заклепувального з'єднання.

Визначимо діаметр заклепок:

$$d_0 = (1,8..2)\delta = (1,8..2)6 = 10,8..12 \text{ мм.}$$

Приймаємо  $d_0 = 12 \text{ мм.}$

2. Визначимо максимальне навантаження на одну заклепку з умови зрізу:

$$F'_1 = Ak[r_{зр}] = 113 \cdot 1 \cdot 140 = 15820 \text{ Н,}$$

де:  $A = \frac{\pi d_0^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 12^2}{4} = 113 \text{ мм}^2.$

3. Необхідна кількість заклепок

$$z = \frac{F}{F'_1} = \frac{80000}{15820} = 5,05$$

Приймаємо число заклепок  $z = 6.$

Щоб зменшити вплив вигину на міцність з'єднання, розташуємо заклепки в 2 ряди по 3 в кожному (див. рис. 1.1).

4. Визначимо відстань від осі заклепки до краю листа –  $e$  і крок  $p$  між заклепками в ряду:

$$p = 3d_0 = 3 \cdot 12 = 36 \text{ мм, приймаємо } p = 50 \text{ мм}$$

$$e = 2d_0 = 2 \cdot 12 = 24 \text{ мм, приймаємо } e = 25 \text{ мм.}$$

5. Проведемо перевірку по напруженням зминання:

$$\sigma_{зм} = \frac{F_1}{\delta d_0} = \frac{13300}{6 \cdot 12} = 185 \text{ МПа} \leq [\sigma_{зм}] = 280 \text{ МПа}$$

уточнивши при цьому навантаження, що припадає на одну заклепку:

$$F_1 = \frac{F}{z} = \frac{80000}{6} = 13300 \text{ Н}$$

6. Перевіримо міцність листів по ослабленим заклепкам в перетині А – А:

$$\sigma_p = \frac{F}{\delta(b - z_1 d_0)} = \frac{80000}{6(150 - 3 \cdot 12)} = 117 \text{ МПа} \leq [\sigma_p] = 160 \text{ МПа}$$

Умова міцності виконується.

## Приклад № 2.

Стрижень ферми, що складається з двох швелерів №20, з'єднаний з фасонним листом (косинкою) вузла ферми заклепками розрахунковим діаметром  $d = 16$  мм (рис. 1.2). Визначити необхідне число заклепок при допустимих напруженнях:  $[r_{зр}] = 140$  МПа;  $[\sigma_{зм}] = 320$  МПа;  $[\sigma_p] = 160$  МПа. Перевірити міцність стрижня.

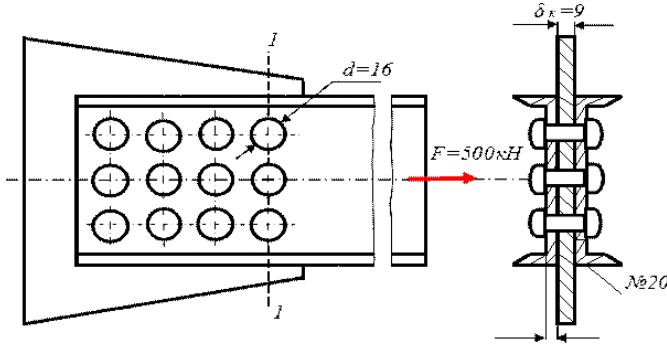


Рисунок 1.2.

### Розв'язок:

Визначаємо розміри поперечного перерізу швелера № 20 по ГОСТ 8240-89:  $A = 23,4$  см<sup>2</sup>, товщина стінки швелера  $\delta = 5,2$  мм.

Умова міцності на зріз:

$$r_{зр} = \frac{Q_{зр}}{A_{зр}} = [r_{зр}]$$

де  $Q_{зр}$  – поперечна сила: при кількох однакових з'єднаних деталях  $Q_{зр} = \frac{F}{i}$  ( $F$  – загальне навантаження з'єднання;  $i$  – число заклепок);  $A_{зр}$  – площа зрізу однієї заклепки;  $[r_{зр}]$  – допустиме напруження на зріз, що залежить від матеріалу з'єднаних елементів і умов роботи конструкцій.

Позначимо  $z$  – число площин зрізу з'єднання, площа зрізу однієї заклепки  $A_{зр} = \frac{\pi d^2}{4}$ , тоді з умови міцності випливає, що допустима сила на одну заклепку:

$$[Q_{зр}] = [r_{зр}] \cdot z \cdot \frac{\pi d^2}{4} = \frac{140 \cdot 23,4 \cdot 16^2}{4} = 56269 \text{ Н}$$

Тут прийнято  $z = 2$ , оскільки заклепки мають дві площини зрізу.

Умова міцності на зминання:

$$\sigma_{зм} = \frac{Q_{зм}}{A_{зм}} = [\sigma_{зм}]$$

де  $A_{зм} = d\delta_k$ ;  $\delta_k$  – товщина фасонного листа (косинки),  $d$  – діаметр заклепки.

Визначимо допустиму силу на одну заклепку:

$$[Q_{зм}] = [\sigma_{зм}] d \delta_k = 320 \cdot 16 \cdot 9 = 46080 \text{ Н}$$

Товщина косинки 9 мм менше подвсної товщини швелера 10,4 мм, тому її приймаємо в якості розрахункової.

Необхідну кількість заклепок визначаємо з умови міцності на зминання, оскільки  $[Q_{зм}] < [Q_{зр}]$ .

Позначимо  $n$  – число заклепок, тоді  $n = \frac{F}{[Q_{зм}]} = \frac{550000}{46080} = 11,9$ ,  
приймаємо  $n = 12$ .

Перевіряємо міцність стрижня на розтяг. Небезпечним перетином буде перетин 1 – 1, так як в цьому перерізі діє найбільша сила  $F$ , а площі у всіх ослаблених перетинах однакові, тобто  $A_p = 2A - 6d\delta$ , де  $A = 23,4 \text{ см}^2$  площа поперечного перерізу одного швелера № 20 (ГОСТ 8240-89).

Напруження розтягу:

$$\sigma_p = \frac{F}{A_p} = \frac{F}{2A - 6d\delta} = \frac{550000}{2 \cdot 23,4 - 6 \cdot 16 \cdot 5,2} = 131,5 \text{ МПа} \leq [\sigma_p] = 160 \text{ МПа}$$

Отже, міцність швелерів забезпечена.

### 1.3. Завдання для самостійної роботи

#### Задача № 1

Визначити діаметр і кількість заклепок в з'єднанні встик з двома накладками (рис. 1.3), а також перевірити міцність смуг на розтяг по ослабленому перерізу, якщо навантаження  $F$  (таблиця 1.2) прикладена статично. Смуги і накладки виготовлені зі сталі Ст 3, заклепки – зі сталі Ст 2, отвори просвердлені.

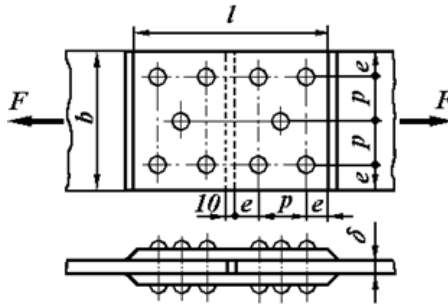


Рисунок 1.3. Заклепувальні з'єднання встик з двома накладками

Таблиця 1.2.

#### Вихідні дані для задачі № 1

	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$F$ , кН	25	40	50	60	30	50	80	50	90	90
$b$ , мм	150	200	160	200	120	140	200	220	200	320
$l$ , мм	150	180	200	250	200	400	300	250	240	300
$\delta$ , мм	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6

### Задача № 2

Розрахувати заклепки, виготовлені зі сталі Ст 2, що кріплять скоби А до косинки В і косинку з швелером С. Всі деталі з'єднань виконані зі сталі Ст 3. Сила, що діє на блок,  $2F$  (рис. 1.4). Товщина листів скоби і косинки  $\delta$  (таблиця 1.3).

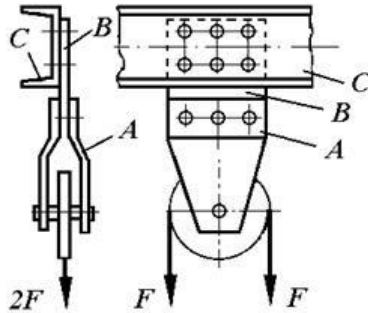


Рисунок 1.4. Заклепувальні з'єднання косинки зі швелером

Таблиця 1.3.

### Вихідні дані для задачі № 2

	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$F$ , кН	25	20	25	30	15	30	35	25	20	45
№ швелера	5	6,5	8	10	12	14	16	18	20	22
$\delta$ , мм	4	4	5	5	6	6	7	7	8	8

### Задача № 3

Розрахувати заклепкове з'єднання: визначити число і діаметр заклепок, що з'єднують косинку 1 з швелерної балкою 2; висоту косинки  $a$  (рис. 1.5). Матеріал косинки, швелера і заклепок – сталь Ст 3. Дані для розрахунку наведені в таблиці 1.4.

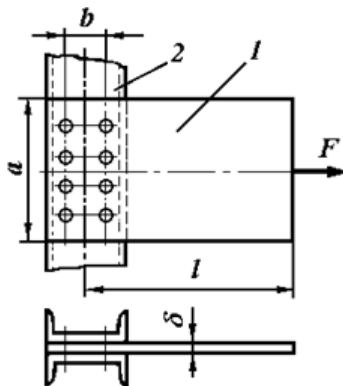


Рисунок 1.5. Заклепувальні з'єднання косинки зі швелером

## Вихідні дані для задачі № 3

	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$F$ , кН	35	30	25	20	15	25	30	35	20	40
№ швелера	10	12	14	16	18	20	22	24	27	30
$l$ , мм	500	450	400	600	650	500	550	700	650	600
$b$ , мм	34	44	56	60	70	80	90	110	130	160
$\delta$ , мм	4,0	4,0	5,0	5,0	6,0	6,0	7,0	7,0	8,0	8,0

## Задача № 4

Визначити діаметр і число заклепок, що кріплять рівнобічний кутник № (ГОСТ 8509-93) до косинки товщиною  $\delta$ , а також вказати розміщення заклепок, якщо кутник сприймає зусилля  $F$ , що діє по осі симетрії з'єднання (рис. 1.6, таблиця 1.5). Матеріал кутника, косинки і заклепок – сталь Ст 3, отвори просвердлені. Перевірити також напругу в кутнику по ослабленому перерізу.

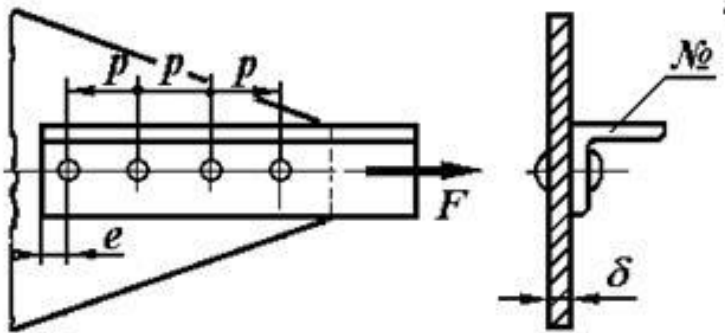


Рисунок 1.6. Заклепувальні з'єднання косинки з кутником

## Вихідні дані для задачі № 4

	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$F$ , кН	25	20	35	50	15	30	40	25	20	45
№ кутника	4,5	5	5,6	6,3	7,5	8	9	10	11	12,5
$\delta$ , мм	4	4	6	6	8	8	10	10	12	12

## Задача № 5

Визначити товщину листів, накладок та розміри поздовжнього і поперечного клепанних швів циліндричного автоклава, призначеного для випробувань деталей під тиском (рис. 1.7). Діаметр автоклава  $D$  і тиск рідини в автоклаві  $P_0$  задані в таблиці 1.6.

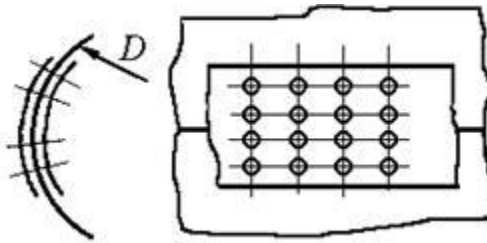


Рисунок 1.7. Заклепувальні шви циліндричного автоклава

Таблиця 1.6.

**Вихідні дані для задачі № 5**

	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$D$ , мм	500	600	750	850	950	800	900	700	550	650
$P_0$ , МПа	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	1,6	1,3	1,7	1,1	1,2