

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до проведення практичних занять та самостійної роботи
з дисципліни «Технічна механіка» (Розділ „Деталі машин”)
для студентів денної форми навчання

Методичні вказівки до проведення практичних занять та самостійної роботи з дисципліни „Технічна механіка” (Розділ „Деталі машин”) для студентів денної форми навчання /Укл.: Фурсіна А.Д., Шевченко В.Г., Кружнова С.Ю. Запоріжжя: НУЗП, 2024. - 17 с.

Укладачі: А.Д. Фурсіна, доцент, к.т.н.,
В.Г. Шевченко, доцент, к.т.н.
С.Ю. Кружнова, ст. викл.

Рецензент: В.І.Пожуєв, д.т.н.,професор

Відповідальний В. Г. Шевченко, доцент, к.т.н.,
за випуск зав. кафедри механіки

Затверджено
на засіданні кафедри «Теоретична
та прикладна механіка»
Протокол № 7
від “ 11 ” березня 2024 року

Рекомендовано до видання
НМК Транспортного факультету
Протокол №
від “ ” 2024 року

ЗМІСТ

Вступ	4
1 З'ЄДНАННЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН	5
1.1 Заклепкові з'єднання	5
1.2 Зварювальні з'єднання	6
1.3 Шпонкові з'єднання	12
1.4 Штифтові з'єднання	13
Додаток А	15
Література	17

ВСТУП

Будь-яка машина складається з багатьох деталей та окремих складальних одиниць Ці деталі та складальні одиниці пов'язані між собою тим чи іншим способом. Зв'язки елементів машини поділяють на рухомі (шарніри, підшипники) та нерухомі (різьбові, зварні і інші).

Використання рухомих зв'язків елементів обумовлене кінематикою машини. Нерухомі зв'язки застосовують для забезпечення можливості розбирання машини на деталі та складальні одиниці. Потреба розбирання спричинена спрощенням виготовлення, складання, ремонту та транспортування.

Нерухомі зв'язки деталей у машинобудуванні називають з'єднаннями. Всі види з'єднань поділяють на роз'ємні та нероз'ємні

Роз'ємні з'єднання (різьбові, шпонкові, зубчасті (шліцеві), клемові та інші) допускають розбирання з'єднаних деталей без пошкодження елементів з'єднання.

Нероз'ємні з'єднання (зварні, паяні, клепані) не дають змоги виконувати розбирання з'єднаних деталей без пошкодження елементів з'єднання. Використання нероз'ємних з'єднань обумовлене в основному технологічними та економічними вимогами.

З'єднання деталей машин є дуже важливими елементами конструкцій, бо багато аварій або порушень нормальних режимів роботи машини обумовлені незадовільною міцністю та надійністю з'єднань.

1 З'ЄДНАННЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

1.1 Заклепкові з'єднання

Вважається, що напруження в перерізах розподілені рівномірно.

Руйнування з'єднань може відбутись в результаті таких причин:

- а) зрізування заклепок під дією дотичних напружень;
- б) зминання отворів з'єднуваних деталей та заклепок під дією напружень зминання;
- в) розрив деталі, що з'єднується, по перерізу, ослабленому отворами під заклепки.

Отже, при розрахунках, заклепкових з'єднань в загальному випадку використовують такі умови міцності:

- 1) міцність заклепок на зріз

$$\tau_{зр} = \frac{F}{Z \cdot A_{зр}} \leq [\tau]_{зр}, \quad (1.1)$$

де n - кількість площин зрізу;

Z - кількість заклепок шва;

$$A_{зр} = \frac{n \cdot \pi d^2}{4} - \text{площа зрізу};$$

- 2) міцність заклепок на зминання

$$\sigma_{зм} = \frac{F}{Z \cdot A_{зм}} \leq [\sigma]_{зм}, \quad (1.2)$$

де $A_{зм} = d \cdot \delta_{\min}$ - площа зминання;

$\delta_{\min}$ - менша з товщин з'єднуваних деталей;

d - діаметр заклепки;

- 3) міцність з'єднуваних деталей на розтягування

$$\sigma_p = \frac{F}{Z \cdot A_p} \leq [\sigma]_p; \quad (1.3)$$

$$A_p = \delta \cdot (S - Z \cdot d),$$

де δ - товщина листа;

S - ширина листа;

Z - кількість заклепок в одному ряді.

4) зминання стінок отвору може призвести до прорізання заклепками з'єднаних деталей. Для запобігання цього прорізання повинна виконуватись умова міцності за допустимими напруженнями зрізу для матеріалу деталі (лістів)

$$\tau = \frac{F}{2\delta \cdot (L - 0,5d) \cdot Z} \leq [\tau_{зр,дет}], \quad (1.4)$$

де $(L - 0,5d)$ - довжина небезпечного перерізу.

При розв'язуванні задач під номером 1 спочатку треба визначити допустиму силу із умови міцності лістів на розтягання (формула 1.3). Далі використовуючи формули (1.1) та (1.2) визначити робоче напруження при зрізанні та зминанні.

1.2 Зварювальні з'єднання

За взаємним розташуванням з'єднаних деталей зварювальні з'єднання поділяють на стикові, напусткові, таврові та кутові. При якісно виконаному зварюванні зона стикового шва повинна мати таку ж міцність, що і основний метал деталі.

Стикові зварні з'єднання розраховують на міцність за номінальним перерізом (без урахування потовщення швів) в залежності від діючих навантажень за тими ж формулами, що і цілі деталі.

При дії поздовжньої (розтягуючої) сили умова міцності зварного шва має вид



Рисунок 1.1 - Стикові зварні з'єднання

$$\sigma' = \frac{F}{\delta \cdot \ell} \leq [\sigma'_p], \quad (1.5)$$

де δ та ℓ - товщина і довжина зварного шва;

$\sigma', [\sigma'_p]$ - напруження в шві та допустиме напруження при розтягуванні для матеріалу шва.

При дії згинаючого моменту

$$\sigma = \frac{M}{W} \leq [\sigma'_p], \quad (1.6)$$

де W - момент опору перерізу зварного шва.

Напусткові з'єднання виконують за допомогою кутових (валикових) швів. В залежності від розташування швів відносно лінії дії сили F розрізняють шви лобові, флангові, косі, комбіновані та кільцеві. Зварні шви напусткових з'єднань незалежно від їх виду розраховують на зріз за найменшим (небезпечним) перерізом шва, що проходить через бісектрису прямого кута.

Умова міцності напусткового зварного з'єднання, навантаженого силою F .

$$\tau = \frac{F}{0,7k \cdot \ell} \leq [\tau'], \quad (1.7)$$

де k - катет шва.

В більшості випадків k приймають рівним товщині з'єднуваних деталей;

$[\tau']$ - допустиме дотичне напруження для матеріалу шва.

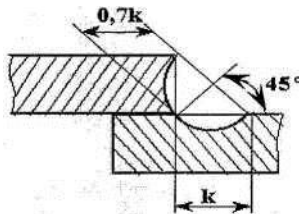


Рисунок 1.2 - Зварні з'єднання

При конструюванні з'єднання зварні шви розташовують так, щоб вони були навантажені рівномірно. Якщо флангові шви розташовані на різній відстані від лінії дії сили, то визначену із умови міцності повну довжину шва l розподіляють на флангові шви $l_{\phi 1}$, $l_{\phi 2}$ обернено пропорційно відстані e_1 та e_2 :

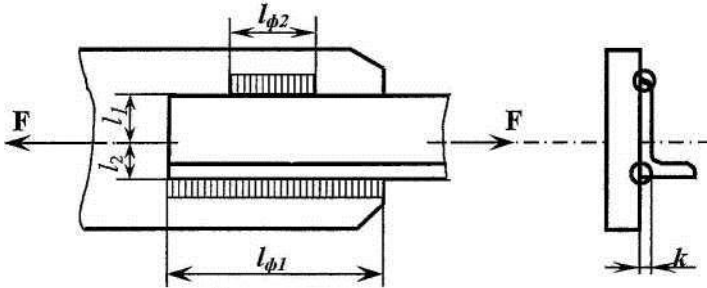


Рисунок 1.3 - Напусткове зварне з'єднання

$$l_{\phi 1} = \frac{l \cdot e_1}{e_1 + e_2}; \quad l_{\phi 2} = \frac{l \cdot e_2}{(e_1 + e_2)} \quad (1.8)$$

Наближений розрахунок напусткових зварних з'єднань навантажених моментом, виконують, вважаючи, що шви навантажуються незалежно, а дотичні напруження в флангових швах направлені вздовж швів та розподілені за їх довжиною рівномірно.

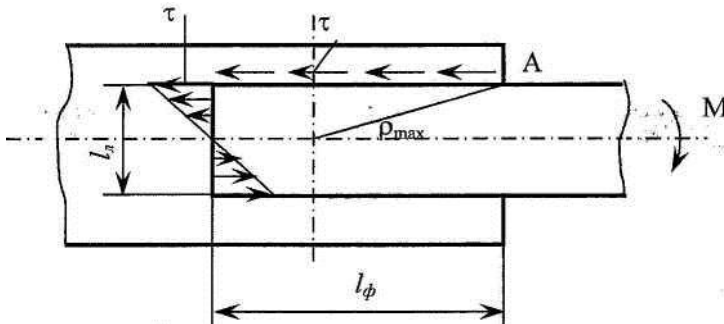


Рисунок 1.4 - Розподілення дотичних напружень в з'єднанні

При такому допущенні умову міцності з'єднання можна записати

$$\tau = \frac{M}{0,7kl_{\phi}l_{\Delta} + 0,7kl_{\Delta}^2} \leq [\tau'], \quad (1.8)$$

де l_{Δ} - довжина лобового шва.

При уточненому розрахунку таких з'єднань вважають, що приварена деталь намагається повернутись навколо центра ваги площі перерізу швів. При цьому найбільше лінійне переміщення, а отже, і максимальні напруження, виникнуть в точці А зварного шва, найбільш віддаленої від осі повороту:

$$\tau_{\max} = \frac{M\rho_{\max}}{I_p} \leq [\tau'], \quad (1.9)$$

де I_p - полярний момент інерції перерізів швів.

З'єднання з кільцевим кутовим швом при навантаженні силою F розраховуються за формулою

$$\tau = \frac{F}{0,7 k \ell} \leq [\tau']. \quad (1.10)$$

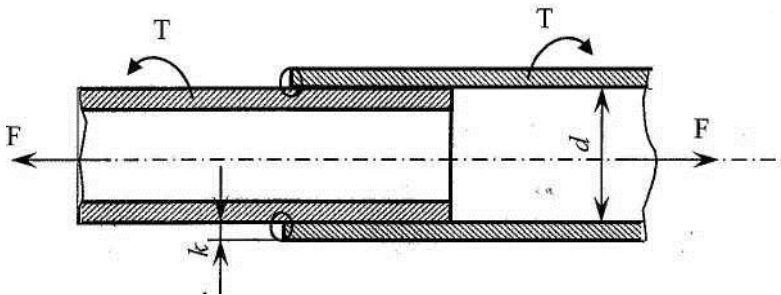


Рисунок 1.5 - З'єднання з кільцевим кутовим швом

При дії на з'єднання момента M розрахунок виконується за залежністю

$$\tau = \frac{2M}{0,7k\pi \cdot d^2} \leq [\tau']. \quad (1.11)$$

Розрахунок на міцність таврових з'єднань виконують за формулами для напусткових з'єднань

$$\tau' = \frac{F}{0,7 k \ell} \leq [\tau'] \quad (1.12)$$

або стикових з'єднань

$$\sigma' = \frac{F}{\delta \ell} \leq [\sigma'_p]. \quad (1.13)$$

Кутові зварні з'єднання використовують в основному в малонавантажених конструкціях і на міцність не розраховують.

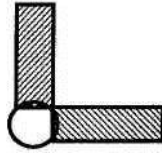


Рисунок 1.6 - Кутове зварне з'єднання

Точкові зварні з'єднання розраховують на зріз, приймаючи рівномірне розподілене навантаження між точками:

$$\tau = \frac{4F}{\pi d^2 Z} \leq [\tau'], \quad (1.14)$$

де Z - кількість зварних точок.

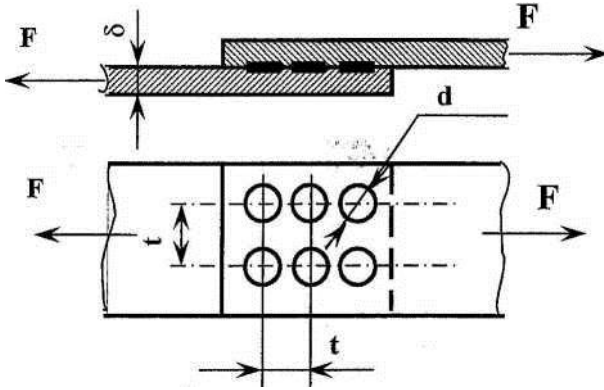


Рисунок 1.7 - Точкове зварне з'єднання

Допустимі напруження для зварних швів приймають в залежності від допустимих напружень на розтягування для основного металу з урахуванням характеру діючого навантаження та технології зварювання. Орієнтовно для сталених конструкцій при статичному навантаженні

$$[\tau'] = (0,6 \dots 0,65) [\sigma_p]; \quad (1.15)$$

$$[\sigma'_e] = [\sigma_p]; \quad (1.16)$$

$$[\sigma'_p] = (0,9 \dots 1) [\sigma_p]. \quad (1.17)$$

1.3 Шпонкове з'єднання

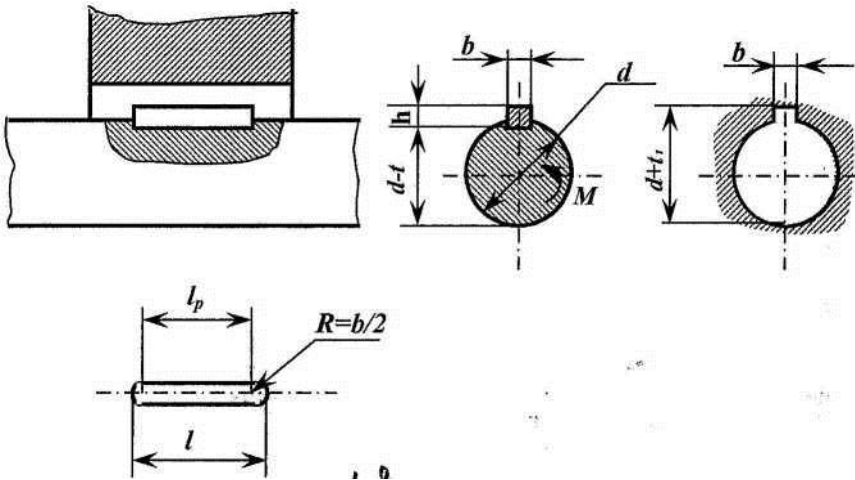


Рисунок 1.8 - Шпонкове з'єднання

$$\ell_p = \ell - b. \quad (1.18)$$

Момент передається з вала на маточину (або навпаки) боковими гранями шпонки, на яких виникають напруження зминання, а в поздовжньому перерізі шпонки виникають напруження зрізання. У стандартних шпонок розміри поперечного перерізу b та h підібрані так, що навантаження з'єднання обмежують не напруження зрізання, а напруження зминання. Переріз шпонки підбирають за відомим діаметром вала із відповідного стандарту, а довжину приймають на 5...10 мм меншою довжини маточини. Далі перевіряють міцність з'єднання на зминання за формулою:

$$\sigma_{зм} = \frac{F_t}{A_{зм}} = \frac{2 \cdot M_k \cdot 10^3}{d \cdot (h - t_1) \cdot \ell_p} \leq [\sigma_{зм}], \quad (1.19)$$

де F - колова сила, Н;

$A_{зм}$ - площа зминання, мм²;

M_k - крутний момент, Н м;

d - діаметр вала, мм;
 h - висота шпонки, мм.;
 t_i - глибина паза на валу, мм;
 l_p - розрахункова довжина шпонки, мм;
 $[\sigma_{зм}]$ - допустимі напруження зминання, МПа.

Зрізання шпонки малоімовірне, але якщо перевірка на зрізання є необхідною (наприклад, у відповідальних з'єднаннях), то її виконують за формулою

$$\tau_{зр} = \frac{2M_K \cdot 10^3}{d \cdot b \cdot \ell_p} \leq [\tau_{зр}], \quad (1.20)$$

де b - ширина шпонки, мм;
 $[\tau_{зм}]$ - допустиме напруження на зрізання, МПа.

Міцність з'єднання сегментною шпонкою перевіряють в основному за напруженнями зминання, рідше — зрізання за вищенаведеними формулами.

З'єднання клиновими шпонками перевіряють на зминання по верхонь контакту шпонки та маточини за формулою;

$$\sigma_{зм} = \frac{12 \cdot M_K \cdot 10^3}{b \ell (b + 6 f d)} \leq [\sigma_{зм}], \quad (1.21)$$

де M_K - момент, що передається шпонковим з'єднанням, Н м;
 b - ширина шпонки, мм;
 ℓ - довжина робочої частини шпонки, мм;
 d - діаметр вала, мм;
 f - коефіцієнт тертя, $f = 0,1 \dots 0,15$;
 $[\sigma_{зм}]$ - допустиме напруження зминання, МПа.

1.4 Штифтові з'єднання

Штифти застосовують в основному для точної установки деталей, що з'єднуються, а також для фіксування положення кришки редуктора відносно його корпусу. Іноді штифти застосовують для скріплення деталей машин, що передають невеликі навантаження.

Діаметр штифта визначають із умови міцності на зрізання. При

дії на штифт сили F , перпендикулярної до його осі, умова міцності на зрізання при Z площинах зрізу записується :

$$\tau_{зр} = \frac{F}{Z \frac{\pi d^2}{4}} \leq [\tau_{зр}] \quad (1.22)$$

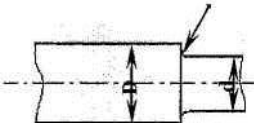
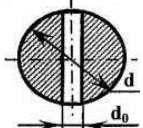
звідки діаметр штифта

$$d = 1,13 \sqrt{\frac{F}{Z [\tau_{зр}]}} \quad (1.23)$$

Допустимі напруження на зрізання для штифта, виготовленого із сталі Ст4, Ст5, Ст35, Ст40 і Ст45 $[\tau_{зр}] = 35 \dots 75$ МПа. Менші значення беруть при навантаженнях з поштовхами та ударами.

ДОДАТОК А

Таблиця А.1 Значення коефіцієнтів концентрації напружень від форми при згинанні та крученні

Фактор концентрації напружень		K_σ		K_τ	
		при σ_b , МПа			
		≤ 700	≥ 1000	≤ 700	≥ 1000
Галтель при $r/d = 0,02$ $(D/d = 1,25 \dots 2)$ 0,06 0,10		2,5 1,85 1,6	3,5 2,0 1,64	1,8 1,4 1,25	2,1 1,43 1,35
Виточка при $r/d = 0,02$ $(t = r)$ 0,06 ОДО		1,9 1,8 1,7	2,35 2,0 1,85	1,4 1,35 1,25	1,7 1,65 1,5
Поперечний отвір $d_0/d = 0,05 \dots 0,25$		1,9	2,0	1,75	2,0
Шпоночний паз		1,7	2,0	1,4	1,7

Таблиця А.2. Значення коефіцієнтів концентрації напружень в залежності від стану поверхні

Стан поверхні	K_σ, K_τ	K_σ, K_τ	K_σ, K_τ
	при σ_b , МПа		
	400	800	1200
Шліфування $R_Z = 1,6 \dots 0,4$	1	1	1
Обточка $R_Z = 10 \dots 1,6$	1,05	1,10	1,25
Обточка $R_Z = 80 \dots 10$	1,20	1,25	1,5
Необроблена поверхня	1,35	1,5	2,2

Таблиця А.3 Значення коефіцієнта впливу абсолютних розмірів деталі K_d

Діаметр вала d , мм	15	20	30	40	50	70	100	200
При згинанні для вуглецевої сталі	0,95	0,92	0,88	0,85	0,81	0,76	0,70	0,61
При згинанні для високоміцної легированої сталі та при крученні для всіх	0,87	0,83	0,77	0,73	0,70	0,65	0,59	0,52

Таблиця А.4. Значення коефіцієнта поверхневого зміцнення K_σ

Вид поверхонь обробки	Границя міцності серцевини σ_B , МПа	Гладкі вали	Вали з малою концентрацією напружень $K_\sigma = 1,5$	Вали з великою концентрацією напружень $K_\sigma = 1,8...2$
Загартування з нагрівом СВЧ	600...800	1,5...1,7	1,6...1,7	2,4...2,8
	800...1000	1,3... 1,5	"	
Азотування	900... 1200	1,1...1,25	1,5...1,7	1,7...2,1
Цементация	400...600	1,8...2,0	3	-
	700...800	1,4...1,5	-	-
	1000...1200	1,2... 1,3	2	-

Таблиця А.5. Значення коефіцієнтів чутливості до асиметрії циклу напружень ψ_σ, ψ_τ

Коефіцієнт	Границя міцності σ_B , МПа			
	350...550	520...750	700...1000	1000...1200
ψ_σ (згинання)	0	0,05	0,10	0,20
ψ_τ (кручення)	0	0	0,05	0,10

ЛІТЕРАТУРА

1. Павлище В.П. Основи конструювання та розрахунок деталей машин. К.: Вища школа, 1993, 555 с.
2. Писаренко Г.С., Квітка О.Л., Уманський Е.С. Опір матеріалів. К.: Вища школа, 1993. - 655 с.