

## Лабораторна робота №8

**Тема роботи: Вплив форми і розмірів поперечного перерізу шпинделя на його втомну довговічність**

**Мета роботи:** встановити залежність між діаметром вала шпинделя і його втомної довговічністю.

### Теоретичні положення

При розрахунку валів на міцність розрізняють короткочасні навантаження, повторність дії яких невелика і складає менше циклів  $10^3$ , і довготривалі навантаження, повторність дії яких достатня для утворення втомних тріщин. При числі циклів більш  $10^3$  вал обов'язково розраховують на дію змінних напруг, тобто з урахуванням можливого руйнування від втоми.

Розрахунок втомної довговічності проілюстрований на прикладі вала шпинделя лабораторного прокатного стану (рис. 1).

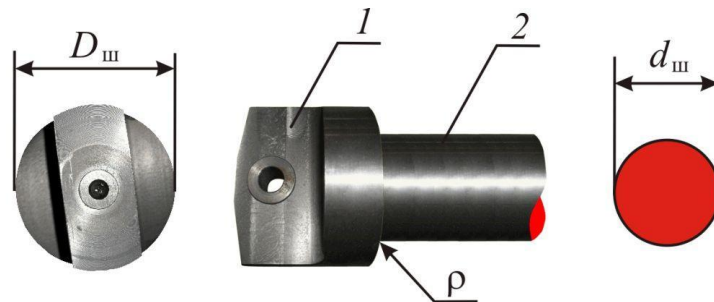


Рисунок 1 - Шпиндель: 1 - головка з лопаттю ; 2 – вал

Найчастіше втомні тріщини виникають у поверхні вала, але іноді і в товщі матеріалу. У міру розвитку втомної тріщини зменшується робоча площа поперечного перерізу вала аж до його раптового руйнування. На поверхні втомного зламу вала шпинделя спостерігатимуться дві яскраво виражені зони: гладка - результат поступового розвитку тріщини, і грубозерниста - слід раптового руйнування.

На осцилограмах, отриманих під час прокатки заготовок на лабораторному стані, видно, що в перерізі вала шпинделя виникають асиметричні напруги. Кожна заготівка, що прокочується, викликає тільки один пульсаційний цикл навантаження з амплітудою  $\tau_a$  (рис. 2).

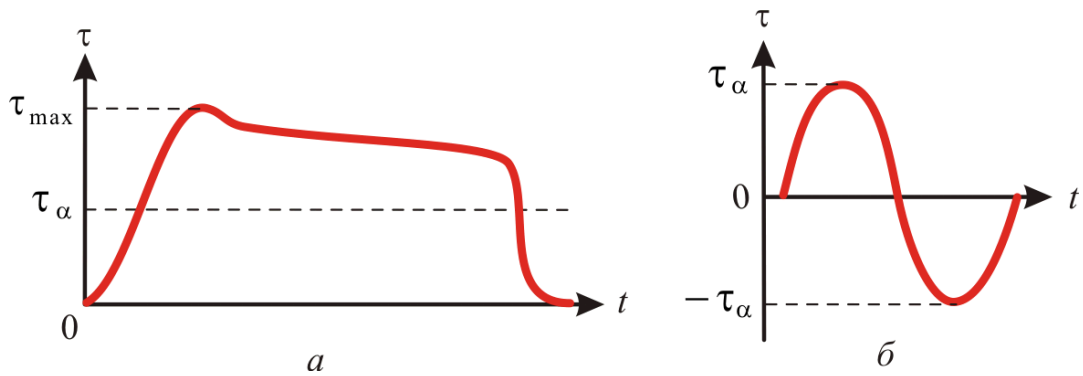


Рисунок 2 - Пульсаційний (а) і симетричний (б) цикли навантаження

Приведене до симетричного циклу амплітудне напруження

$$\tau_{\alpha.пр} = \tau_{\alpha}(1 + \psi), \quad (1)$$

де  $\psi$  - параметр чутливості металу до асиметрії циклу.

Крива руйнування деталі (крива Веллера), представлена в подвійних логарифмічних координатах, має два прямолінійні ділянки – ліву похилу і праву горизонтальну (рис. 3)

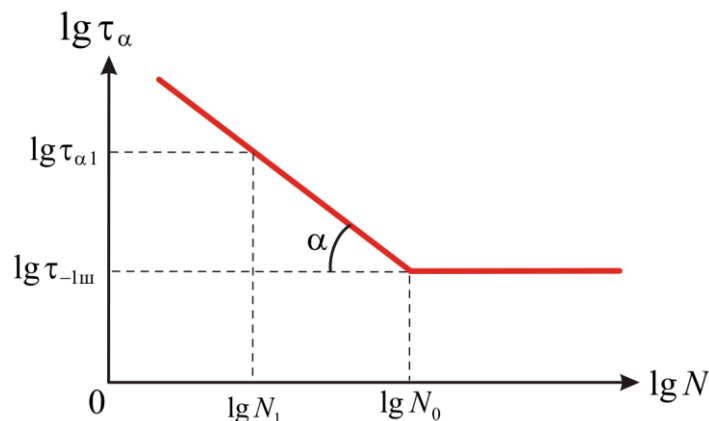


Рисунок 3 - Крива Веллера

Параметр кута нахилу лівої ділянки кривої Веллера

$$m = \text{ctg} \alpha = \frac{\lg N_0 - \lg N_1}{\lg \tau_{\alpha 1} - \lg \tau_{-1ш}}, \quad (2)$$

де  $\alpha$  - кут нахилу лівої ділянки кривої;

$\tau_{\alpha 1}$  - амплітуда,

звідки

$$\lg \frac{N_0}{N_1} = \left( \lg \frac{\tau_{\alpha 1}}{\tau_{-1ш}} \right) \cdot m ; \quad (3)$$

$$\frac{N_0}{N_1} = \frac{\tau_{\alpha 1}^m}{\tau_{-1ш}^m}. \quad (4)$$

Крива Веллера описується рівняннями

$$N = \begin{cases} \frac{\tau_{-1ш}^m N_0}{\tau_\alpha^m} & , \text{ при } \tau_\alpha > \tau_{-1ш} \\ \infty & , \text{ при } \tau_\alpha \leq \tau_{-1ш} \end{cases} \quad (5)$$

Лінійна гіпотеза додавання пошкоджень заснована на тому, що пошкодження деталі від чергового циклу напружень підсумовується з ушкодженнями, викликаними попередніми циклами. Відповідно до цієї гіпотези, ресурс деталі, виражений кількістю прокатаних заготовок до появи першої макроскопічної тріщини, визначається за формулою

$$N_{\text{цик}} = \frac{a_{\text{кор}} \cdot \tau_{-1ш}^m \cdot N_0}{\sum_{i=1}^n \tau_{\alpha i}^m}, \quad (6)$$

де  $a_{\text{кор}}$  - коригуючий коефіцієнт;

$\tau_{-1ш}$  - границя витривалості деталі;

$m, N_0$  - параметри кривої втоми для матеріалу деталі;

$\tau_\alpha$  - амплітуда, що ушкоджує цикл напружень;

$n$  - число ушкоджуючих циклів ( $\tau_{\alpha i} \geq \tau_{-1ш}$ ).

Параметрами кривої втоми для матеріалу, зображеної в подвійних логарифмічних координатах, є: границя витривалості гладкого лабораторного зразка при знакомінному крученні  $\tau_{-1ш}$ ; число циклів  $N_0$ , відповідне точці перегину кривої; коефіцієнт  $m$ , що характеризує нахил лівої ділянки кривої. Традиційно під час переходу до кривої втоми для деталі основна увага приділяється впливу різних чинників тільки на границю витривалості. Розрахунки границь витривалості в небезпечних перетинах запобіжного, карданного, універсального шпинделів і робочого валка виконуються на ЕОМ в середовищі MathCAD.

Ефективний коефіцієнт концентрації напружень  $K_\tau$  і масштабний коефіцієнт  $\varepsilon_\tau$  можуть бути знайдені незалежно один від одного або по статистичній теорії подібності втомного руйнування. Ця теорія описує спільний вплив концентрації напружень і масштабного фактора на опір втоми для деталі.

При виконанні розрахунків по статистичній теорії подібності зроблені деякі припущення. Перше припущення полягає в нехтуванні впливом другого і третього компонента головних напружень, що діють в зоні концентрації. Друге припущення полягає в нехтуванні впливом довжини деталі і мотивується тим, що перехід від одного перетину деталі до іншого не призводить до нової комбінації в розподілі дефектів по перерізу при волокнистій структурі з

волокнами уздовж деталі. Третє припущення (обмеження), пов'язане з тим, що рівняння теорії подібності втомного руйнування застосовні для радіусів заокруглення в зоні концентрації напружень  $\rho \geq 0,1 \dots 0,3$  мм, дозволяє використовувати ці рівняння для деталей металургійних машин. Четверте допущення полягає в тому, що взятий параметр  $\varepsilon_\infty = 0,5$ , що прийнятно для пластичних конструкційних матеріалів.

Згідно статистичної теорії подібності, коефіцієнт, що враховує спільний вплив концентрації напружень і масштабного фактора, визначається за формулою

$$K = \frac{\kappa_\tau}{\varepsilon_\tau} = \frac{\alpha_\tau}{\varepsilon_\infty + (1 - \varepsilon_\infty) + \left( \frac{1}{88,3} \cdot \frac{L}{G_\tau} \right)^{-v_\tau}} = \frac{2\alpha_\tau}{1 + \left( \frac{1}{88,3} \cdot \frac{L}{G_\tau} \right)^{-v_\tau}} \quad (7)$$

Теоретичний коефіцієнт концентрації  $\alpha_\tau$  визначається з номограми (рис.

4) за співвідношеннями  $D_{ш}/d_{ш}$  і  $\rho/D_{ш}$ ,

де  $D_{ш}$  - діаметр головки шпинделя,

$d_{ш}$  - діаметр вала шпинделя,

$\rho$  - радіус кривизни (жолобник шпинделя).

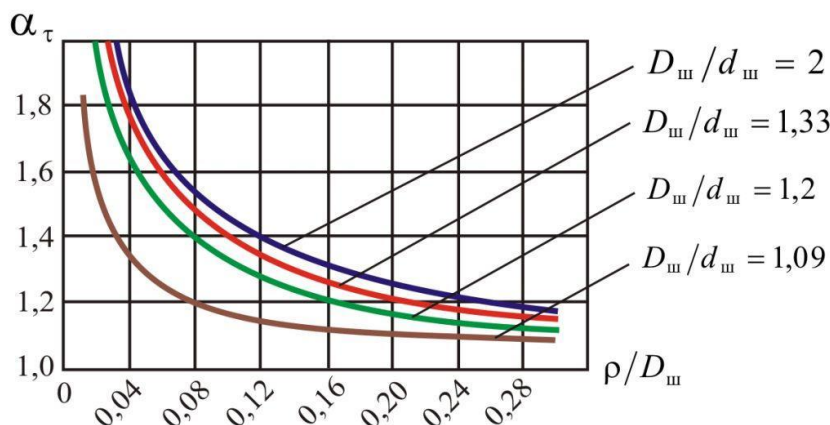


Рисунок 4 - Номограми для визначення  $\alpha_\tau$

Параметр  $L$  характеризує протяжність зони концентрації напружень і дорівнює периметру робочого перетину, якщо максимальні напруження однакові по всьому периметру (периметр робочого перетину круглих валів  $L = \pi d$ ), або частини периметра, прилеглої до зони підвищеної напруженості для інших випадків.

Відносний градієнт першого головного напруження визначається за формулою

$$\bar{G}_\tau = \frac{\alpha}{\rho} + \frac{2}{d}, \quad (8)$$

де  $a = 1$  - для запобіжного шпинделя і  $a = 1,15$  - для карданного шпинделя, робочого валка і універсального шпинделя.

Гradient напружень характеризує швидкість зменшення напружень в міру віддалення від місця концентрації напружень. Чим вище цей gradient, тим в меншому обсязі концентруються високі напруження, тим менше зерен металу доводиться на цей обсяг і тим менше ймовірність утворення тут втомної тріщини.

Параметр рівняння подібності втомного руйнування  $\kappa_\tau$ , що характеризує чутливість до концентрації напружень і масштабного фактору, визначається з таблиці. Чим більше величина  $\nu_\tau$ , тим менше чутливість до концентрації напружень і більш різко проявляється масштабний фактор.

Сумарний коефіцієнт  $K_\Sigma$  враховує вплив чотирьох факторів на границю витривалості:

$$K_\Sigma = \left( \frac{\kappa_\tau}{\varepsilon_\tau} + \frac{1}{\beta} - 1 \right) \frac{1}{\beta_{np}}, \quad (9)$$

де  $\beta$  - коефіцієнт якості обробки поверхні деталі;

$\beta_{np}$  - коефіцієнт зміцнення поверхні.

### Лабораторне обладнання

Лабораторний стан.

### Порядок виконання роботи

- 1 Включити ЕОМ і налаштувати електронний осцилограф на реєстрацію крутних моментів (напружень) на верхньому і нижньому шпинделі лабораторного стану.
- 2 Прокатати заготовку на лабораторному стані при включеній реєструючій апаратурі.
- 3 Зобразити в журналі отриману осцилограму напруження в небезпечному перерізі найбільш навантаженого шпинделя.
- 4 Обробити осцилограму вручну, результати записати в журнал (табл. 1).

Таблиця 1 - Параметри знакозмінного навантаження шпинделя

Заготовка	Напруження, МПа				
свинець					
алюміній					
сталь					

### Зміст звіту

- 1 Найменування і мета роботи.
- 2 Короткі теоретичні відомості.
- 3 Осцилограма напруження в небезпечному перерізі найбільш навантаженого шпинделя.
- 4 Результати обробити осцилограми.

### Контрольні питання

- 1 Які конструкції шпинделів ви знаєте?
- 2 В яких місцях валу найчастіше виникають втомні тріщини?
- 3 Що таке крива Веллера?
- 4 На чому заснована лінійна гіпотеза додавання пошкоджень?
- 5 Що таке ефективний коефіцієнт концентрації напружень і як він визначається?
- 6 Що таке масштабний коефіцієнт і як він визначається?
- 7 Яка теорія описує спільний вплив концентрації напружень і масштабного фактора на опір втоми для деталі?
- 8 Що описує статистична теорія подібності втомного руйнування?
- 9 Що характеризує градієнт напружень?