

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ**

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ МЕЖІ  
ВИТРИВАЛОСТІ**

**З ДИСЦИПЛІН**

**«ТЕХНІЧНА МЕХАНІКА» і  
«ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА»**

*(для студентів 2, 3 курсів усіх форм навчання за напрямками  
підготовки 6.170202 «Охорона праці»,  
6.050702 «Електромеханіка»)*

**ХАРКІВ – ХНУМГ - 2013**

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи «Експериментальне визначення межі витривалості» з дисциплін «Технічна механіка» і «Прикладна механіка» (для студентів 2, 3 курсів усіх форм навчання за напрямками підготовки 6.170202 «Охорона праці», 6.050702 «Електромеханіка») / Харк. нац. ун-т. міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад.: О. М. Кузнецов, В. П. Шпачук. – Х.: ХНУМГ ім. О. М. Бекетові, – 2013. – 16 с.

Укладачі: О. М. Кузнецов, В. П. Шпачук

Рецензент: М. А. Засядько

Рекомендовано кафедрою теоретичної і будівельної механіки,  
протокол № 1 від 31.08.2010 р.

## ЗМІСТ

	Стор.
1. Загальні положення .....	4
2. Мета роботи. Основні теоретичні положення .....	4
3. Діаграма витривалості (крива Веллера).....	9
4. Прискорений метод визначення межі витривалості і побудови Веллера.....	11
5. Програма роботи.....	11
6. Опис експериментальної установки.....	12
7. Послідовність виконання роботи.....	13
8. Обробка експериментальних даних. Розрахунок межі витривалості та побудова кривої Веллера.....	13
9. Контрольні запитання.....	14
Список джерел.....	15

## 1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Перед виконанням лабораторної роботи студенти повинні:

- 1) повторити теоретичний матеріал із цієї теми;
- 2) ознайомитися з програмою роботи й підготувати таблиці для відповідних досліджень. Студенти, які прийшли на заняття непідготовленими або не склали звіт про попередню роботу, до виконання наступної роботи не допускаються. Після закінчення роботи викладач перевіряє результати експериментів і робить відмітку в своєму журналі про виконання роботи.

ЗВІТ про виконану роботу має містити наступні складники:

- 1) найменування та мета роботи;
- 2) механічні схеми дослідів, накреслені на комп'ютері чи олівцем або наведені у формі ксерокопії;
- 3) таблиці з результатами експериментів і розрахунків;
- 4) графіки розміром не менше 100×150 мм;
- 5) аналіз результатів лабораторної роботи та висновки.

## 2. МЕТА РОБОТИ. ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

Метою роботи є експериментальне визначення межі витривалості (втомленості) матеріалу при згинанні.

Опір матеріалів дії навантажень, що змінюються в часі за величиною або за величиною і знаком, суттєво відрізняється від опору дії статичного навантаження. При цьому під дією змінних навантажень елементи конструкцій і машин руйнуються за значно менших напружень, ніж під дією статичних навантажень.

Досвідом експлуатації конструкцій і машин встановлено, якщо їхні елементи піддаються змінному навантаженню певного рівня, то після деякої кількості змін напружень у них з'явиться тріщина, яка поступово буде розвиватися. Врешті-решт деталь зруйнується, не давши при цьому помітних залишкових деформацій навіть тоді, коли її матеріал достатньо пластичний.

Кількість циклів до появи першої тріщини і до повного руйнування буде тим більшою, чим менше напруження. Характерно, що руйнування матеріалу під дією повторно-змінних навантажень може відбуватися при напруженнях, нижчих за межу текучості.

Руйнування матеріалу під дією повторно-змінних напружень називається *руйнуванням від утомленості*.

Взагалі ж утомленістю матеріалів (зокрема, металів) називають явище руйнування внаслідок поступового нагромадження в них пошкоджень, що призводять до виникнення тріщини при багаторазовому повторенні навантажень. Здатність металів чинити опір руйнуванню при дії повторно-змінних напружень називається опором втомленості матеріалу.

Вивчення питань втомленості в опорі матеріалів має дуже велике значення. Такі відповідальні деталі, як вісі трамвайних вагонів, моторні балки і пружини трамвайних візків, колінчасті вали, шатуни й поршневі пальці двигунів внутрішнього згорання, гребні й повітряні гвинти та багато інших деталей, виходять з ладу здебільшого внаслідок руйнувань від утомленості.

Руйнування від втомленості відбувається, якщо має місце одна з двох наступних особливостей прикладання навантаження.

1. Багаторазове прикладання навантаження одного знака, наприклад, періодично змінюваного від нуля до максимуму (рис.1, а).

2. Багаторазове повторення навантаження, що періодично змінюється не тільки за величиною, а й за знаком (знакозмінні навантаження), коли на опір втомленості матеріалу одночасно впливають як повторність, так і змінність навантаження. При цьому розрізняють зміну навантаження за симетричним циклом (рис.1, б) і несиметричним (рис.1, в, г).

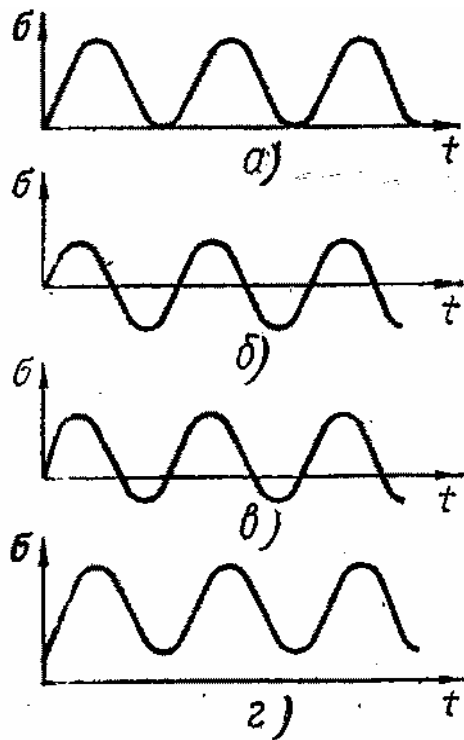


Рис. 1- Види навантажень

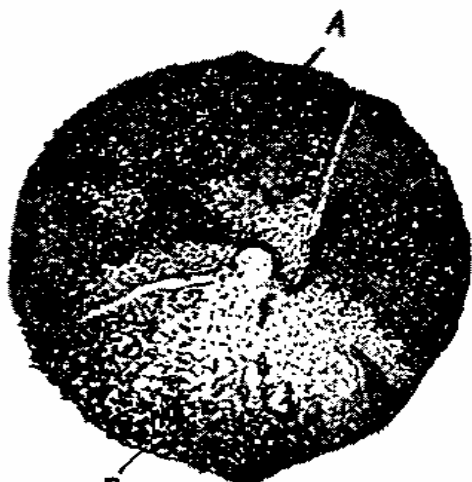


Рис.2- Вид злому деталі від втомленості

Для руйнування від утомленості недостатньо тільки змінності напружень. Потрібно також, щоб напруження мали певне значення. Максимальне напруження за будь-якої довільно великої кількості повторень змінних напружень називається *межею витривалості*.

Злам деталі від втомленості має характерний вигляд (рис.2). На ньому майже завжди є дві зони. Одна з них (А) гладенька, притерта, утворена внаслідок поступового розвитку тріщини; друга (В) - крупнозерниста, що утворилася при остаточному зламі перерізу деталі, послабленого під час розвитку тріщини. Зона В у крихких деталей має крупнокристалічну будову, а у в'язких – волокнисту.

Механізм явища втомленості наступний. Усі метали, що застосовуються в техніці, є полікристалічними речовинами, що складаються з окремих зерен і не становлять однорідного моноліту, яким вважають матеріал згідно з основними гіпотезами опору матеріалів. Зерна технічних металів є сукупністю кристалів, що мають неправильну огранку. Їх зазвичай називають кристалітами. Полікристалічність матеріалу й немінуча його неоднорідність призводять до того, що під дією тих чи інших навантажень в окремих зернах виникають перенапруження і створюються умови для появи мікро-тріщин. При цьому в разі напружень,

спричинених статичним (стаціонарним) навантаженням, подібні мікро-тріщини небезпечні в сенсі їхнього розвитку в часі. Якщо ж напруження змінні в часі

(нестационарні), то має місце тенденція розвитку мікро-тріщин, що призводить урешті - решт до зламу деталі. Крім зазначеної гіпотези, існує й дещо інший підхід до пояснення фізичної природи явища втомленості. Зокрема, виникнення тріщин від втомленості пояснюють також вичерпанням здатності кристалічних зерен чинити опір зсуву. Зерна більшості металів складаються з низки елементарних кубиків з розмірами сторін  $(3...6)10^{-8}$  см. Кубики, у свою чергу, складаються з системи атомів, що взаємодіють між собою, розташованих у цілком певному для цього матеріалу порядку, утворюючи так звану просторову атомну решітку. Форма й розміри елементів останньої залежать від сил взаємодії атомів і визначають характерні властивості цієї речовини.

Деформація матеріалу зазвичай пов'язана зі спотворенням кристалічної решітки і зміною міжатомних відстаней. При цьому в разі невеликих напружень взаємодія між атомами не порушується, і при подальших розвантаженнях зазначені викривлення решіток зникають. Якщо ж напруження великі, то у кристалічних зернах пластичних матеріалів за деякими площинами, що називаються площинами ковзання кристаліту, відбуваються незворотні зсуви. Зсунуті відносно одна одної групи атомів уже не утворюють єдиної атомної решітки. Нове утворення, що при цьому виникло, виявляється більш міцним унаслідок посилення площини ковзання всередині окремих зерен. Тепер для його руйнування потрібне більше зусилля.

Однак, зміцнення при зсувах супроводжується зниженням міцності (розпушенням). Тому процес зсуву обов'язково супроводжується появою зон, де атомні зв'язки порушуються, а нові не утворюються. Це виявляється в тому, що утворюються дуже дрібні мікро-тріщини, кожна з яких у певних умовах (наприклад, при сусідстві кількох зерен, послаблених тріщиною) може стати осередком розвитку тріщини від втомленості, яка внаслідок призводить до руйнування від утомленості.

Отже, механізм утворення тріщин при повторно-змінних навантаженнях дуже складний і не може вважатися повністю вивченим. Із безумовних положень теорії втомленості можна зазначити наступні:

1) процеси, що відбуваються в металі при повторно-змінних навантаженнях, мають різко виражений місцевий характер;

2) із двох видів напружень – нормальних і дотичних – вирішальний вплив на процеси втомленості до утворення першої тріщини включно мають дотичні напруження, які спричиняють пластичні зсуви й руйнування.

Розвиток тріщини від втомленості, безумовно, може прискорюватися, якщо є розтягувальні напруження як у пластичних, так і, особливо, в малопластичних і крихких матеріалів типу чавуну, у яких поява тріщини відриву значно підвищує чутливість до розтягувальних напружень.

Тріщини найчастіше утворюються в зернах, які лежать ближче до поверхні деталі. Пояснюється це тим, що поверхневі шари матеріалу певною мірою мають сліди пошкоджень різними технологічними операціями при обробці деталі (внутрішні напруження, сліди механічної обробки), не кажучи вже про випадки, коли зовнішні шари при

повторно-змінних навантаженнях зазнають найбільших напружень (при згинанні й крученні).

Межу витривалості визначають експериментально. Вона залежить від цілої низки факторів, зокрема від форми й розмірів деталі, способу її обробки, стану поверхні деталі, виду напруженого стану (розтягування, стискання, кручення, згинання тощо), закону зміни навантаження в часі при випробуваннях. При розгляданні опору матеріалів дії змінних напружень здебільшого в інженерній практиці припускається, що ці напруження є періодичними функціями часу  $p = f(t)$  з періодом  $T$  (рис.3, а).

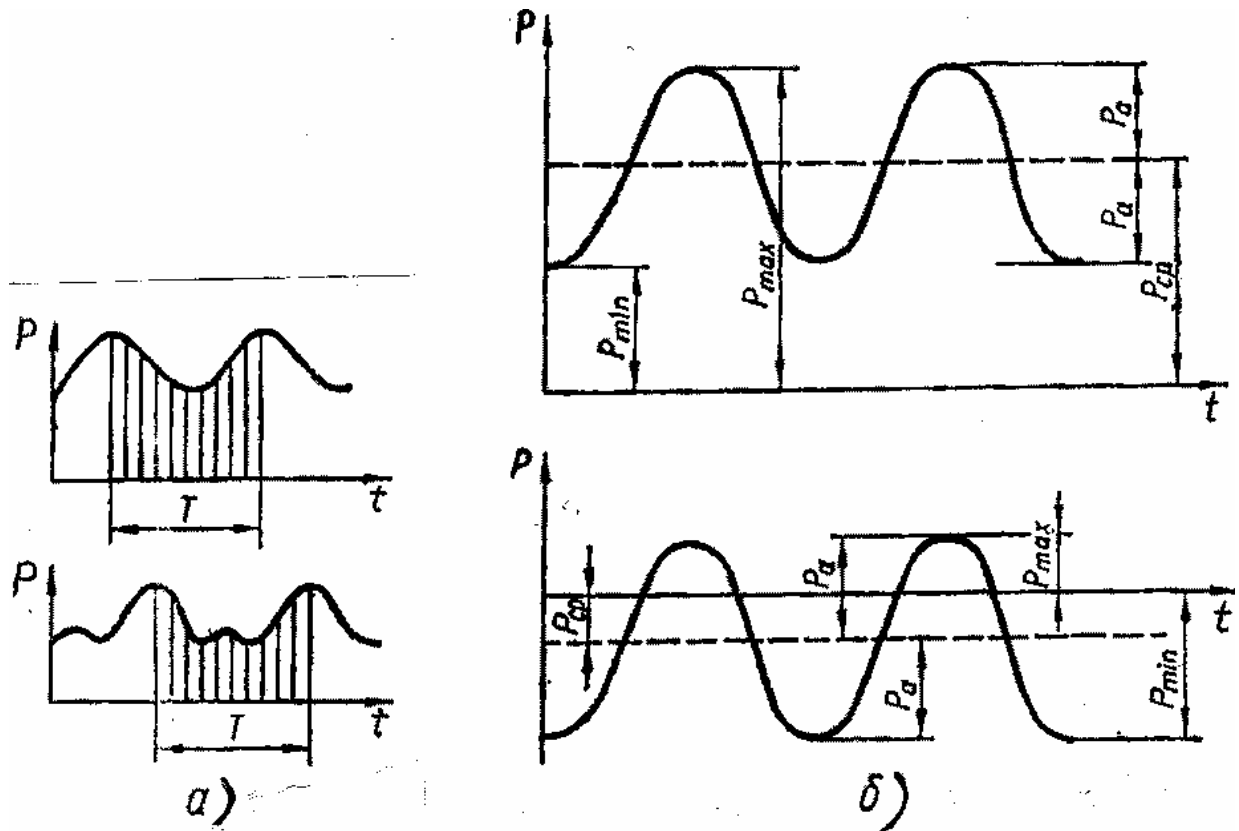


Рис. 3- Параметри циклу напружень

Сукупність усіх значень напружень за час одного періоду називають циклом напружень. На опір втомленості здебільшого впливають максимальні  $p_{max}$  і мінімальні  $p_{min}$  напруження циклу (рис. 3, б).

Крім них, в опорі матеріалів наявні поняття постійного, або середнього, напруження циклу:

$$p_{cp} = (p_{max} + p_{min})/2 \quad (2.1)$$

й амплітуди  $p_a$  циклу, що характеризує змінність напружень:

$$p_a = (p_{max} - p_{min})/2. \quad (2.2)$$

Середнє напруження може бути як додатним, так і від'ємним, амплітуда ж циклу – це абсолютна величина (знак не враховується). Відповідно до виразів (2.1) і (2.2) :

$$p_{max} = p_{cp} + p_a ; \quad p_{min} = p_{cp} - p_a .$$

Подвоєне значення амплітуди коливань напружень називається розмахом циклу. Відношення мінімального напруження циклу до максимального з урахуванням знаків цих напружень називається характеристикою циклу або коефіцієнтом асиметрії циклу і позначається літерою  $r$ , тобто

$$r = p_{\min} / p_{\max} . \quad (2.3)$$

Найнебезпечнішим є так званий симетричний цикл, коли  $p_{\max} = - p_{\min}$  та  $p_{\text{ср}} = 0$ , за якого

$$r = p_{\min} / p_{\max} = -1.$$

Границя витривалості при симетричному циклі є мінімальною для цього типу деформації й позначається через  $p_{-1}$ . У випадку напруження, що змінюється від нуля до максимуму, тобто при віднульовому (пульсуючому) циклі, коли  $p_{\min} = 0$ ,

$$r = 0/p_{\max} = 0,$$

а границя витривалості, що відповідає цьому циклу, позначається через  $p_0$ .

При  $p_0 = \text{const}$ , тобто коли діє постійне статичне навантаження,  $p_{\max} = p_{\min} = p$ , характеристика циклу

$$r = p_{\min} / p_{\max} = 1.$$

В узагальненому випадку границю витривалості, здобуту при характеристиці циклу  $r$ , позначають  $p_r$ ; границю витривалості, визначену за якогось певного значення  $r$ , наприклад, при  $r = -0,5$ , позначають відповідно  $p_{-0,5}$ .

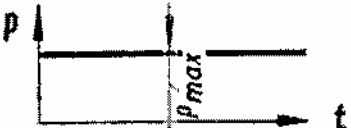


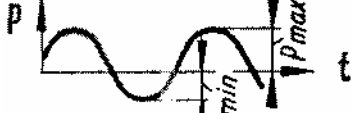

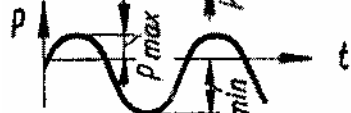



Цикли, що мають однакові характеристики  $r$ , називаються подібними. Характеристика циклу, або коефіцієнт асиметрії, може змінюватися від  $-\infty$  до  $+\infty$ .

Значення коефіцієнтів асиметрії циклу для різних видів циклів наведено в таблиці 1. Очевидно, для повного висновку про характер дії циклічного навантаження, крім характеристики циклу  $r$ , додатково має бути відомим максимальне або мінімальне напруження циклу.

Слід зазначити, що в окремих випадках, коли мова йде про нормальні або дотичні напруження (у першому випадку при циклічному розтягуванні – стисканні або при згинанні, у другому – при циклічному крученні), літера  $p$  у прийнятих вище позначеннях має бути замінена відповідно на  $\sigma$  або  $\tau$  при збереженні відповідних індексів. Так, при циклічному розтягуванні – стисканні або згинанні замість  $p_{\max}$ ,  $p_{\min}$ ,  $p_{\text{ср}}$ ,  $p_a$  мають відповідно фігурувати  $\sigma_{\max}$ ,  $\sigma_{\min}$ ,  $\sigma_{\text{ср}}$ ,  $\sigma_a$ , тоді межа витривалості за характеристики циклу  $r$  буде позначатися  $\sigma_r$ , а ,наприклад, при симетричному циклі, тобто при  $r = -1$ , буде  $\sigma_{-1}$ . У разі кручення з циклічною зміною напружень характерні напруження циклу будуть відповідно позначатися через  $\tau_{\max}$ ,  $\tau_{\min}$ ,  $\tau_{\text{ср}}$ ,  $\tau_a$ , а межа витривалості – через  $\tau_{-1}$ .



Таблиця 1 Коефіцієнти асиметрії циклу

Вид циклу	$\rho_{\max}, \rho_{\min}$	$\rho_{\text{cp}} = \frac{\rho_{\max} + \rho_{\min}}{2}$ $\rho_a = \frac{\rho_{\max} - \rho_{\min}}{2}$	$r = \frac{\rho_{\min}}{\rho_{\max}}$
	$\rho_{\max} = \rho_{\min} > 0$	$\rho_{\text{cp}} = \rho_{\max} = \rho_{\min} > 0$ $\rho_a = 0$	$r = +1$
	$\rho_{\max} > 0$ $\rho_{\min} > 0$	$\rho_{\text{cp}} > 0$ $\rho_a \neq 0$	$0 < r < +1$
	$\rho_{\max} > 0$ $\rho_{\min} = 0$	$\rho_{\text{cp}} = 1/2 \rho_{\max}$ $\rho_a = 1/2 \rho_{\max}$	$r = 0$
	$\rho_{\max} > 0$ $\rho_{\min} < 0$	$\rho_{\text{cp}} > 0$ $\rho_a \neq 0$	$-1 < r < 0$
	$\rho_{\max} = -\rho_{\min} > 0$ $\rho_{\min} < 0$	$\rho_{\text{cp}} = 0$ $\rho_a = \rho_{\max}$	$r = -1$
	$\rho_{\max} < 0$ $\rho_{\min} < 0$ $\rho_{\max} <  \rho_{\min} $	$\rho_{\text{cp}} < 0$ $\rho_a \neq 0$	$-\infty < r < -1$
	$\rho_{\max} = 0$ $\rho_{\min} < 0$	$\rho_{\text{cp}} = 1/2 \rho_{\min}$ $\rho_a = 1/2  \rho_{\min} $	$r = \pm \infty$
	$\rho_{\max} < 0$ $\rho_{\min} < 0$	$\rho_{\text{cp}} < 0$ $\rho_a \neq 0$	$+1 < r < +\infty$
	$\rho_{\max} = \rho_{\min} < 0$	$\rho_{\text{cp}} = \rho_{\max} = \rho_{\min} < 0$ $\rho_a = 0$	$r = +1$

### 3. ДІАГРАМА ВТОМЛЕНОСТІ (КРИВА ВЕЛЛЕРА)

Для визначення межі витривалості того чи іншого матеріалу потрібно на відповідній випробувальній машині дослідити партію зразків із цього матеріалу в кількості 6...8 шт. Для цього найчастіше беруть гладенькі циліндричні зразки діаметром 7...10 мм.

Межі витривалості матеріалу при вибраній характеристиці циклу  $r$  будуть різними залежно від виду деформації, при якій випробують зразки, тобто залежно від того, при змінних напруженнях розтягування-стискання, змінному крученні, згинанні або в умовах складного напруженого стану їх випробують. Тому при визначенні межі витривалості слід наперед зазначити, за якого виду

деформації й характеру зміни напружень за цикл потрібно її визначити. Відповідно до поставлених вимог вибирають потрібну випробувальну машину.

Обробка здобутих експериментальних даних супроводжується побудовою діаграми втомленості, яка називається кривою Веллера (рис.4).

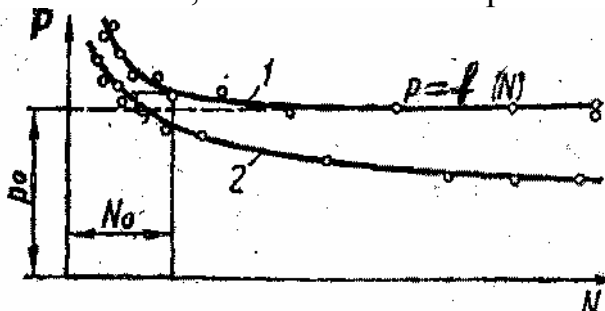


Рис.4- Крива втомленості (Веллера)

Криву втомленості будують за точками у координатах кількості циклів до руйнування  $N$  і напруження  $p$ . Кожному зразку, що зруйнувався, на діаграмі відповідає одна точка з координатами  $(N, p)$ , тобто крива втомленості є функцією  $p=f(N)$ .

Порядок прикладання навантажень на випробувані зразки здебільшого вибирають спадним, тобто на перший зразок дають навантаження, що значно перевищують межу витривалості, а навантаження на наступні зразки поступово знижують. Зрозуміло, що кожний з менш навантажених зразків буде витримувати дедалі більшу кількість циклів. Будуючи криву втомленості за точками зруйнованих зразків, легко переконалися, що, наприклад, при випробуванні сталі (рис.4, крива 1) при високому рівні напруження крива стрімко падає, а в міру зниження її крутість зменшується, і крива асимптотично наближається до деякої горизонтальної прямої, що відсікає на вісі ординат відрізок, величиною якого й визначається межа витривалості. Ордината точки на кривій, де остання практично починає збігатись із зазначеною асимптотою, відповідає такому напруженню, за якого зразок не зруйнується, пройшовши кількість циклів, що відповідає наперед заданій величині, так званій базі випробувань  $N_0$ .

Легко зрозуміти, що за базу випробувань  $N_0$  і обирають таку кількість циклів, за якої правий кінець кривої втомленості практично проходить паралельно вісі абсцис. Виходячи з цього, базою випробувань на опір втомленості називається найбільша кількість повторно-змінних навантажень, перевищення якої не має призводити до руйнування від втомленості випробуваного зразка при цьому напруженні. Для чорних металів (сталі, чавуну й т.д.) за базу випробувань зазвичай приймають  $10^6$  циклів, а для кольорових (міді, алюмінію, тощо) – кількість в 5...10 разів більшу. Із розгляду характеру кривої втомленості для кольорових металів (рис.4, крива 2) видно, що на більшій ділянці вона спадає дуже поступово тобто крива прямує до асимптоти повільно, тому й доводиться в цьому разі за базу випробувань брати більшу кількість циклів. Узагалі для таких металів можна говорити тільки про певну умовну межу витривалості.

Умовною межею витривалості називається максимальне напруження, за якого при здійсненні певної наперед заданої кількості циклів, що відповідає тій чи іншій базі випробувань, зразок не руйнується.

Слід зазначити, що згідно з численними експериментальними даними, для деяких матеріалів можна помітити певні співвідношення між межами витривалості при різних видах деформації, зокрема між межами витривалості при згинанні  $\sigma_{-1зг}$ , крученні  $\tau_{-1}$  та розтяганні – стисканні  $\sigma_{-1р}$  при симетричних циклах. Для гладеньких зразків співвідношення приблизно наступне: для сталі  $\sigma_{-1р} = 0,7\sigma_{-1зг}$ ; для чавуну  $\sigma_{-1р} = 0,65\sigma_{-1зг}$ ; для сталей і легких сплавів  $\tau_{-1} = 0,55\sigma_{-1зг}$ ; для чавуну  $\tau_{-1} = 0,8\sigma_{-1зг}$ . Знаючи тимчасовий опір  $\sigma_B$ , межу витривалості при симетричному циклі можна наближено знайти за такими емпіричними співвідношеннями відповідно для розтягання – стискування, згинання і кручення [1]:

$$\sigma_{-1р} = 0,28\sigma_B; \quad \sigma_{-1зг} = 0,40\sigma_B; \quad \tau_{-1} = 0,22\sigma_B.$$

Для кольорових металів співвідношення між межею витривалості та межею міцності менш стійке. Згідно з експериментальними даними приймають  $\sigma_{-1зг} = (0,24 \dots 0,50) \sigma_B$ .

#### 4. ПРИСКОРЕНИЙ МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ МЕЖИ ВИТРИВАЛОСТІ

Частота обертання найбільш поширених машин для визначення опору втомленості зазвичай дорівнює 3000 обертів/хв (50 Гц) [10]. Тому випробування на опір втомленості з метою визначення межі витривалості потребує багато часу, що становить декілька діб безперервної роботи машини.

Із метою економії часу й матеріальних витрат у практиці лабораторних випробувань застосовують, звичайно, прискорені методи визначення межі витривалості й побудови кривої Веллера [2 – 8].

Відповідно до методики роботи [2] межа витривалості визначається за формулою:

$$\sigma_{-1} = ((N_1^2 \sigma_1^2 - N_2^2 \sigma_2^2) / (N_1^2 - N_2^2))^{1/2}. \quad (4.1)$$

Вираз (4.1) пов'язує три точки кривої втомленості:  $(\sigma_1, N_1)$  – перший зразок;  $(\sigma_2, N_2)$  – другий зразок;  $(\sigma_{-1}, N \rightarrow \infty)$  – точка, що належить асимптоті з рівнянням  $\sigma = \sigma_{-1}$ .

Використання зазначеного прискореного метода проведення випробувань на витривалість для визначення межі витривалості  $\sigma_{-1}$  згідно з формулою (4.1) потребує проведення випробування тільки двох зразків і отримання двох експериментальних точок  $(\sigma_1, N_1)$  і  $(\sigma_2, N_2)$ .

#### 5. ПРОГРАМА РОБОТИ

При виконанні лабораторної роботи студент повинен виконати наступну програму.

1. Ознайомитися з основними теоретичними положеннями про витривалість матеріалів.

2. Вивчити принципову схему установки для випробувань матеріалів на стомленість при чистому згинанні.

3. Провести лабораторні випробування зразків.

4. Розрахувати за формулою (4.1) межу витривалості й за отриманими результатами побудувати криву втомленості Веллера за трьома точками, координатами яких є значення напружень, що відкладаються за віссю ординат, і кількість змін напружень до руйнування зразка (за віссю абсцис).

5. Оцінити похибку отриманого значення межі витривалості  $\sigma_{-1}$ , порівнявши його з довідковими значеннями. Розрахувати відносну похибку  $\delta(\%)$  межі витривалості, отриманої під час виконання лабораторної роботи. Відносна похибка має знаходитися в межах (0 - 5%). В іншому випадку лабораторні випробування повторюються.

6. Захистити роботу. При захисті роботи студент отримує максимальну оцінку за цей елемент контролю (2,5 %), якщо лабораторна робота захищена у відведений строк (2 тижні з моменту проведення останньої), акуратно оформлена, містить аналіз отриманих результатів. У випадку затримки захисту роботи на 1 тиждень студент отримує 90 % від максимальної оцінки (2,25 %). У випадку затримки захисту роботи на 2 тижні студент отримує 80 % від максимальної оцінки (2 %) ). При захисті лабораторної роботи з затримкою більше ніж на 3 тижні студент отримує 60 % від максимальної оцінки (1,5 %).

## 6. ОПИС ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

Випробування матеріалів на витривалість проводять на спеціальних машинах, які дозволяють навантажувати зразки змінними навантаженнями з частотою циклу 2000 - 3000 коливань за хвилину. У лабораторних умовах симетричний цикл здійснити найбільш просто.

Схема установки [10] для визначення границі витривалості при ротаційному згинанні в разі симетричного циклу показана на рисунку 5.

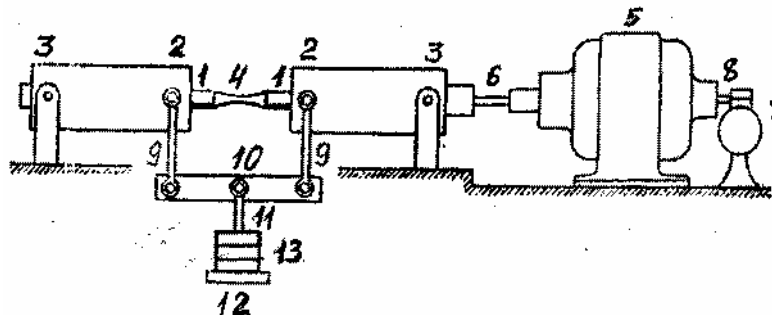


Рис. 5- Схема установки:

1- пустотілі вали; 2,3- підшипники кочення; 4- випробувальний зразок;

5-електродвигун; 6- гнучкий вал; 7- лічильник обертів; 8- вал; 9-тяги;

10-поперечини; 11- тяга; 12- диск-піддон; 13- гирі.

Установка працює наступним чином. Головки зразка 4 затискаються в пустотілих валах 1, що покоються в шарикових підшипниках 2,3. Таким чином, обидва пустотілі вали і зразок складають одне ціле. Ця жорстко з'єднана система (два вали і зразок) приводиться в обертання за допомогою електродвигуна 5 через гнучкий вал 6. Лічильник кількості обертів 7 з'єднаний валом 8 із мотором і валом машини за допомогою вала 6. До підшипників 2, що насаджені на вали 1, за

допомогою тяг 9 закріплена поперечина 10, до середини якої за допомоги тяги 11 закріплено диск-піддон 12, на який укладаються гирі 13.

## 7. ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

У машину для випробовувань (рис. 5) встановлюють перший зразок, виготовлений зі сталі ст. 3. Геометричні параметри зразка встановлює ДСТУ 1497-84 в міліметрах на рисунку 6.

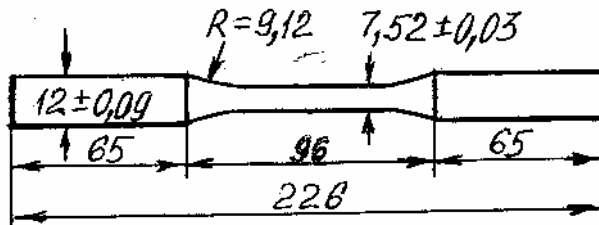


Рис. 6 - Циліндричний зразок

На піддоні 12 встановлюють перший вантаж 13 (вагові та кількісні характеристики гир, що складають вантаж 13, надає викладач). Вмикають машину, яка працює до руйнування зразка. Кількість циклів  $N_1$ , які витримав зразок до руйнування, фіксується лічильником циклів 7 (див. рис. 5).

Далі випробування повторюють на другому зразку. На піддоні 12 встановлюють другий вантаж 13 (вагові та кількісні характеристики гир, що складають другий вантаж, надає викладач). Кількість циклів  $N_2$  фіксується лічильником 7. Далі розраховують межу витривалості  $\sigma_{-1}$  за формулою (4.1).

Величини напружень  $\sigma_1$  і  $\sigma_2$ , відповідно до форми, матеріалу зразків і величин навантажень, використаних у випробуваннях, надає викладач.

Використовуючи результати лабораторних випробувань на втомленість двох зразків  $(\sigma_1, N_1)$ ,  $(\sigma_2, N_2)$ , і значення межі витривалості  $\sigma_{-1}$ , отримане за формулою (4.1), будують криву втомленості Веллера в координатах  $\sigma - N$ .

## 8. ОБРОБКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ. РОЗРАХУНОК МЕЖІ ВИТРИВАЛОСТІ І ПОБУДОВА КРИВОЇ ВТОМЛЕНОСТІ ВЕЛЛЕРА

За результатами проведених лабораторних випробувань зразків на витривалість отримують координати двох точок  $(\sigma_1, N_1)$  і  $(\sigma_2, N_2)$ . Будують криву Веллера. Координатами точок кривої витривалості є значення напружень  $\sigma$ , що відкладаються за віссю ординат, і кількість змін напружень  $N$  (за віссю абсцис), які витримали зразки від початку випробувань до їхнього руйнування, відповідно точки 1 і 2 (рис. 7).

Межу витривалості  $\sigma_{-1}$  розраховують [2] за формулою

$$\sigma_{-1} = ((N_1^2 \sigma_1^2 - N_2^2 \sigma_2^2) / (N_1^2 - N_2^2))^{1/2}.$$

Будують асимптоту  $\sigma = \sigma_{-1}$ . Крива Веллера (рис. 7) буде асимптотично наближатися до асимптоти  $\sigma = \sigma_{-1}$ . Будують криву Веллера.

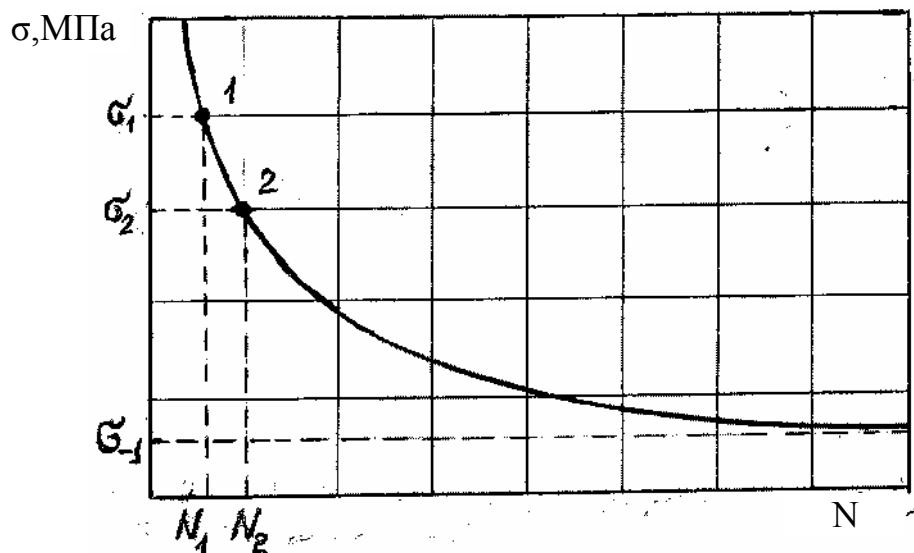


Рис.7- Крива Веллера

Відносну похибку  $\delta$  (%) отриманого під час виконання лабораторної роботи значення межі витривалості  $\sigma_{-1}$  оцінюють порівнянням його з довідковим  $\sigma_{-1}^d$  за формулою:

$$\delta = (|\sigma_{-1} - \sigma_{-1}^d| / \sigma_{-1}^d) \times 100 \%$$

Значення  $\sigma_{-1}^d$  надається викладачем.

Результати вимірювань і розрахунків зводять до таблиці 2.

Таблиця 2- Результати вимірів і розрахунків

№№ п/п зразка	Матеріал зразка	$\sigma_{-1}^d$ , МПа	$\sigma$ , МПа	N, цикли	$\delta$ , %	$\sigma_{-1}$ , МПа
1.						
2.						

### КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Пояснити мету лабораторної роботи.
2. Описати влаштування машини для випробувань на витривалість.
3. Який зразок використовують для випробувань і його особливості?
4. Що називається межею витривалості матеріалу?
5. Як визначаються напруження в зразку залежно від прикладеного навантаження?
6. У якій послідовності виконують випробування?
7. Пояснити сутність кривої Веллера?
8. У чому полягають переваги прискореного методу випробувань на витривалість?

## СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Писаренко Г.С., Квітка О.Л., Уманський Є.С. Опір матеріалів. – К.: Вища школа, 1993.
2. Божко А.Е., Гноевой А.В., Шпачук В.П. Пространственное вибровозбуждение.- К.: Наук. думка, 1987.- 192 с.
3. Усталость металлов /Под ред. И.А. Одинг.- М.: Изд-во АН СССР, 1960.- 166 с.
4. Циклическая прочность металлов /Под ред. И.А. Одинг.- М.: Изд-во АН СССР, 1962.- 339с.
- 5.Школьник Л.М. Методика усталостных испытаний: Справочник.- М.: Металлургия, 1978.- 304с.
6. Методика ускоренного определения пределов выносливости металлов на основе деформационных и энергетических критериев /В.Т. Трощенко, Л.А. Хамаза, Г.В. Цыбаков,- К.: Наук. думка, 1979.- 175с.
7. Муратов Л.В. Энергия разрушения при циклических и статических нагрузках //Прочность металлов при переменных нагрузках.- М.: Изд-во АН СССР, 1963.- 300с.
8. Трощенко В.Т. Усталость и неупругость металлов.- К.: Наук. думка, 1971.- 268с.
9. Серенсен С.В., Когаев В.П., Шнейдерович Р.М. Несущая способность и расчеты деталей машин на прочность: Руководство и справ. Пособие.- М.: Машиностроение, 1975.- 448с.
10. Шутенко Л.М., Пустовойтов В.П., Засядько М.А. Опір матеріалів: Навчально-методичний посібник до лабораторних робіт (для студентів спеціальностей 8.092.101, 8.092.202, 8.092.601, 8092.103).- Х.: ХНАМГ, 2004.-79с.

*Навчальне видання*

Методичні вказівки  
до виконання лабораторної роботи  
**«Експериментальне визначення межі витривалості»**  
з дисциплін  
**«Технічна механіка» і «Прикладна механіка»**  
(для студентів 2, 3 курсів всіх форм навчання за напрямками  
підготовки 6.170202 «Охорона праці», 6.050702 «Електромеханіка»)

Укладачі: **КУЗНЕЦОВ** Олександр Миколайович,  
**ШПАЧУК** Володимир Петрович

Відповідальний за випуск *В. П. Шпачук*

Редактор *К.В. Дюкар*

Комп'ютерне верстання *К. А. Алексанян*

План 2011, поз. 195М

Підп. до друку 19.01.2011

Друк на різнографі.

Зам. № \_\_\_\_\_

Формат 60×84/16

Ум. друк. арк. 0,94

Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова  
вул. Революції, 12, Харків, 61002

Електронна адреса: [rectorat@ksame.kharkov.ua](mailto:rectorat@ksame.kharkov.ua)

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 4064 від 12.05.2011р.