

Міністерство освіти і науки України  
Харківська національна академія міського  
господарства

## МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторної роботи  
« Експериментальне визначення межі витривалості»  
з дисципліни

«ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА»

(для студентів 2 курсу всіх форм навчання бакалаврів за  
напрямом 6.050702 - «Електромеханіка»)

Харків – ХНАМГ - 2009

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи «Експериментальне визначення межі витривалості» з дисципліни «Прикладна механіка» (для студентів 2 курсу всіх форм навчання бакалаврів за напрямом 6.050702 – “Електромеханіка”). Укладачі: Кузнецов О.М., Шпачук В.П.– Х.: ХНАМГ – 2009. – 25 стор.

Укладачі: О.М. Кузнецов, В.П. Шпачук

Рецензент: М.А. Засядько

Рекомендовано кафедрою теоретичної і будівельної механіки,  
протокол № 7 від 17.12.08 р.

## 1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Перед виконанням лабораторної роботи студенти повинні:

1. Повторити теоретичний матеріал з даної теми.
2. Ознайомитись 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 повинен мати наступні складові:

- 1) найменування і 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 згині.

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 при значно менших напруженнях, ніж під дією статичних навантажень.

Досвідом експлуатації конструкцій і машин встановлено, що якщо їх 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 більша, 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 втомленості*.

Взагалі ж втомленістю 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 осі трамвайних вагонів, моторні балки і пружини трамвайних візків, колінчасті вали, шатуни і поршневі пальці двигунів внутрішнього згоряння, гребні й повітряні гвинти та багато інших деталей, виходять з ладу здебільшого внаслідок руйнувань від втомленості.

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 за несиметричним (рис.1, в,г).

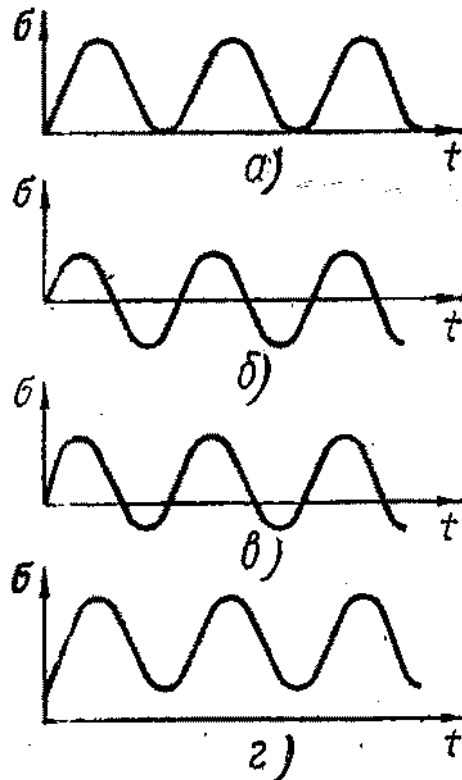


Рис. 1-Види навантажень

Для руйнування від втомленості недостатньо тільки змінності напружень. Потрібно також, щоб напруження мали певне значення. Максимальне напруження при будь-якій довільно великій кількості повторень змінних напружень називається *межею витривалості*.

Злом деталі від втомленості має характерний вигляд (рис.2). Наньому



Рис.2- Вид злomu деталі від втомленості

майже завжди є дві зони. Одна з них (А) гладенька, притерта, утворена внаслідок поступового розвитку тріщини; друга (В)- крупнозерниста, що утворилася при остаточному зломі перерізу деталі, ослабленого 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 однорідний моноліт, яким вважають матеріал згідно з основними гіпотезами опору матеріалів. Зерна технічних металів є сукупністю кристалів, що мають неправильну огранку. Їх, як правило, 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 мікротріщин. При цьому в разі напружень, спричинених статичним (стаціонарним) навантаженням, подібні мікротріщини небезпечні в сенсі їх розвитку в часі. Якщо ж напруження змінні в часі (нестаціонарні), то має місце тенденція розвитку мікротріщин, що призводить врешті - решт до злому 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, в свою чергу, складаються з системи атомів, що взаємодіють між собою, розташованих у цілком певному для даного матеріалу порядку, утворюючи так звану просторову атомну решітку. Форма й розміри елементів останньої залежать від сил взаємодії атомів і визначають характерні властивості даної речовини.

Деформація матеріалу звичайно пов'язана із 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 в кристалічних зернах пластичних матеріалів по деяких площинах, що називаються площинами ковзання кристаліту, відбуваються незворотні зсуви. Зсунуті відносно один одного групи атомів уже не утворюють єдиної атомної решітки. Нове утворення, що при цьому виникло, виявляється більш міцним внаслідок 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

проявляється в тому, що утворюються дуже дрібні мікротріщини, кожна з яких у певних умовах (наприклад, при сусідстві кількох зерен, послаблених тріщиною) може стати осередком розвитку тріщини від втомленості, яка в результаті призводить до руйнування від втомленості.

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

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 прискорюватись, якщо є розтягувальні напруження як у пластичних, так і, особливо, в малопластичних та крихких матеріалів типу чавуну, в 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 (розтягання, стискання, кручення, згинання тощо), закону зміни навантаження в часі при випробуваннях. При розгляданні опору матеріалів дії змінних



напружень у більшості випадків інженерної практики припускається, що ці напруження є періодичними функціями часу  $p = f(t)$  з періодом  $T$  (рис.3,а).

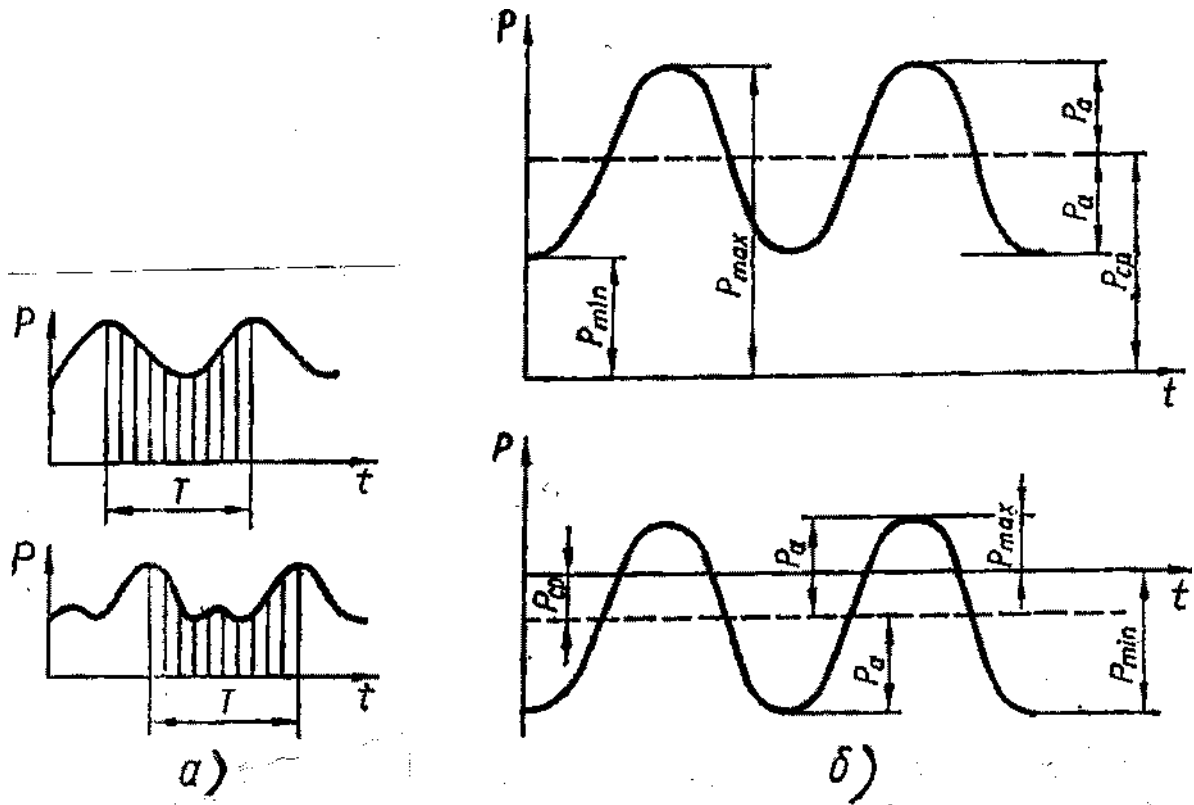


Рис. 3- Параметри циклу напружень

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

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

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

і поняття 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) :

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

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  $p_{\text{cp}} = 0$ , при якому

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

Границя витривалості при симетричному циклі є мінімальною для даного типу деформації і 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 даному 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

при якомусь певному значенні  $r$ , наприклад при  $r = -0,5$ , позначають відповідно  $r_{-0,5}$ .

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

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

Слід зазначити, що в окремих випадках, коли мова йтиме про нормальні або дотичні напруження (у першому випадку при циклічному розтяганні – стисканні або при згинанні, у другому – при циклічному крученні), літера  $r$  у прийнятих вище позначеннях повинна бути замінена відповідно на  $\sigma$  або  $\tau$  при збереженні відповідних індексів. Так, при циклічному розтяганні – стисканні або згинанні замість  $r_{\max}$ ,  $r_{\min}$ ,  $r_{\text{cp}}$ ,  $r_a$  повинні відповідно фігурувати  $\sigma_{\max}$ ,  $\sigma_{\min}$ ,  $\sigma_{\text{cp}}$ ,  $\sigma_a$ , тоді границя витривалості при характеристиці 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  $\tau_{\max}$ ,  $\tau_{\min}$ ,  $\tau_{\text{cp}}$ ,  $\tau_a$ , а границя витривалості – через  $\tau_{-1}$ .

Таблиця 1

## Коефіцієнти асиметрії циклу

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

### 3. ДІАГРАМА ВТОМЛЕНОСТІ (КРИВА ВЕЛЛЕРА)

Для визначення межі витривалості того чи іншого матеріалу потрібно на відповідній випробувальній машині дослідити партію зразків з даного 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 розтягання – стискання, змінному крученні, згинанні або в умовах складного напруженого стану їх випробують. Тому при визначенні межі витривалості слід наперед зазначити, при якому виді деформації й характері 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).

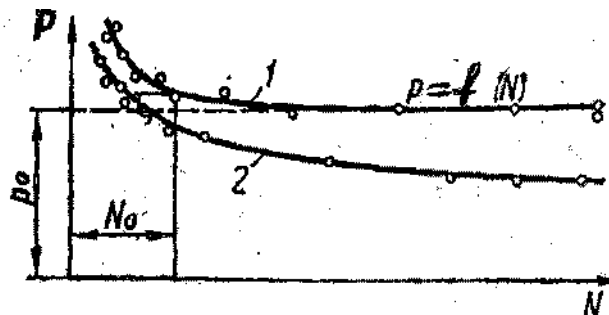


Рис.4- Крива втомленості (Веллера)

Криву втомленості будують по точках 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 спадаючим, тобто на перший зразок дають навантаження, що значно перевищують границю витривалості, а навантаження на наступні зразки поступово знижують. Зрозуміло, що кожний з менш навантажених зразків буде витримувати дедалі більшу кількість циклів. Будуючи криву втомленості по точках зруйнованих зразків, легко переконатися, 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 осі ординат відрізок, величиною якого й визначається межа витривалості. Ордината точки на кривій, де остання практично починає збігатись із зазначеною асимптотою, відповідає такому напруженню, при якому 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 вибирають ту кількість циклів, при якій правий кінець кривої втомленості практично проходить паралельно осі абсцис. Виходячи з цього, базою випробувань на опір втомленості називається найбільша кількість повторно-змінних навантажень, перевищення якої не повинне призводити до руйнування від втомленості випробуваного зразка при даному напруженні. Для чорних металів (сталі, чавуну і т.п.) за базу випробувань, як правило, беруть  $10^6$  циклів, а для кольорових (міді, алюмінію, тощо) – число в 5...10 разів більше. 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. Взагалі для таких металів можна говорити тільки про деяку умовну межу витривалості.

Умовною межею витривалості називається максимальне напруження, при якому 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 границями витривалості при різних видах деформації й зокрема, між границями витривалості при згинанні  $\sigma_{-1зг}$ , крученні  $\tau_{-1}$  та розтяганні – стисканні  $\sigma_{-1р}$  при симетричних циклах. Для гладеньких зразків співвідношення приблизно такі: 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  $\sigma_B$ , границю витривалості при симетричному циклі можна наближено знайти за такими емпіричними співвідношеннями відповідно для розтягання – стискання, 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  $\sigma_{-1зг} = (0,24...0,50) \sigma_B$ .

#### 4. ПРИСКОРЕНИЙ МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ МЕЖІ ВИТРИВАЛОСТІ

Частота обертання найбільш поширених машин для визначення опору втомленості, як правило, 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.

З метою економії часу і матеріальних затрат в практиці лабораторних випробувань застосовують звичайно прискорені методи визначення межі витривалості і побудови кривої Веллера [2–8].

Відповідно до методики роботи [2], межа витривалості визначається 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 згині.
3. Провести лабораторні випробування зразків.
4. Розрахувати за формулою (4.1) межу витривалості за отриманими результатами, побудувавши криву втомленості Веллера по трьох точках, координатами яких є значення напружень, що відкладаються по осі ординат, і число змін напружень до руйнування зразка (по осі абсцис).
5. Оцінити похибку отриманого значення межі витривалості  $\sigma_{-1}$ , порівнявши його з довідковими значеннями. Розрахувати відносну похибку  $\delta(\%)$  межі витривалості, отриманої в ході виконання лабораторної роботи. Відносна похибка повинна знаходитися в межах (0-5%). В іншому випадку лабораторні випробування повторюються.
6. Захистити роботу. При захисті роботи студент отримує максимальну оцінку за даний 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 захисту лабораторної роботи з затримкою більш 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 у разі симетричного циклу показана на рис.5,

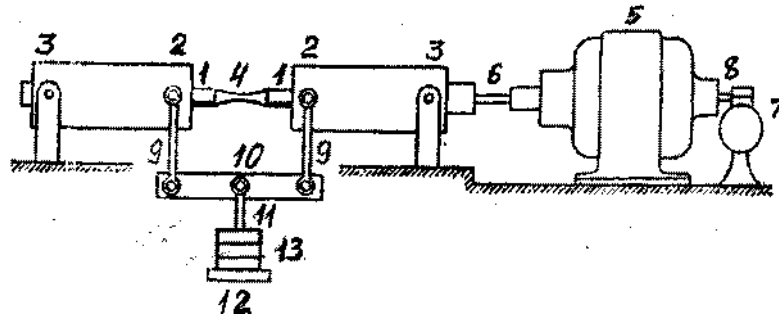


Рис .5- Схема установки

де: 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-тяги; 12- диск-піддон; 13-гирі.

Установка працює наступним чином. Головки зразка 4 затискаються в пустотілих валах 1, що покояться в шарикових підшипниках 2,3. Таким чином, обидва пустотілі вали і зразок складають одне ціле. Ця жорстко з'єднана система (два вала і зразок) приводиться в обертання за допомогою електродвигуна 5 через гнучкий вал 6. Лічильник числа обертів 7 з'єднаний валом 8 з 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 гири 13.

## 7. ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

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

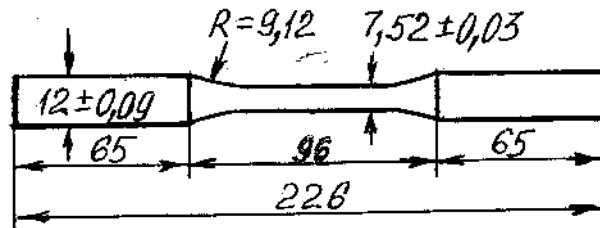


Рис.6- Циліндричний зразок

На піддоні 12 встановлюють перший вантаж 13 (вагові та кількісні характеристики гирь , 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 гирь , 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 та величин навантажень , що використані при 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 по формулі (4.1), будують криву втомленості Веллера в координатах  $\sigma - N$ .

## 8. ОБРОБКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ. РОЗРАХУНОК МЕЖИ 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 являються значення напружень  $\sigma$ , що відкладаються по осі ординат, і число змін напружень  $N$  (по осі абсцис), які витримали зразки від початку випробувань до їх 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.

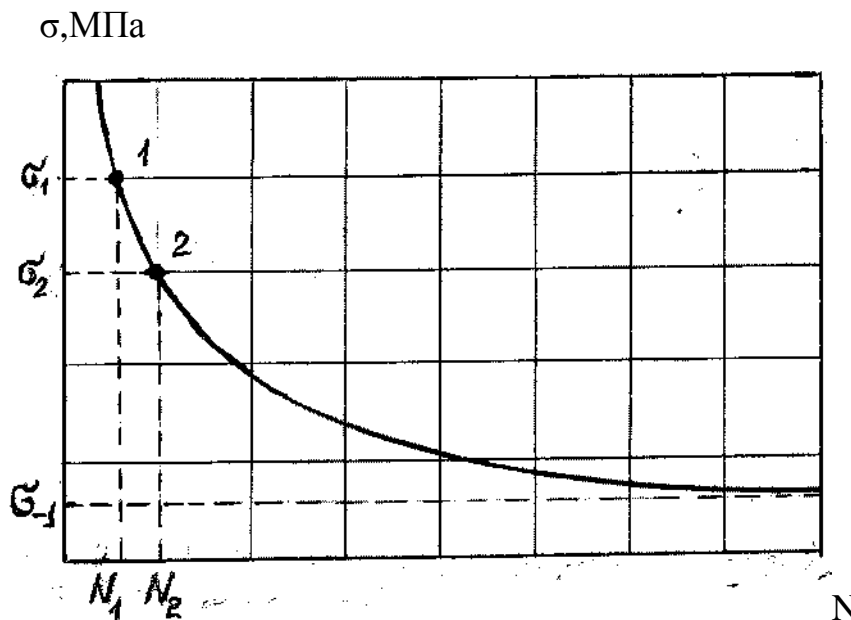


Рис.7- Крива Веллера

Відносну похибку  $\delta(\%)$  отриманого в ході виконання лабораторної роботи значення межі витривалості  $\sigma_{-1}$  оцінюють порівнянням його з довідковим  $\sigma_{-1}^d$  по формулі

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

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

Результати вимірів і розрахунків зводять до табл.2.

Таблиця 2.

Результати вимірів і розрахунків

| №№<br>п/п<br>зразка | Матеріал<br>зразка | $\sigma_{-1}^d$ ,<br>МПа | $\sigma$ ,<br>МПа | N,<br>цикли | $\delta$ ,<br>% | $\sigma_{-1}$ ,<br>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 в залежності від прикладеного навантаження?
6. В якій послідовності виконують випробування?
7. Пояснити сутність кривої Веллера?
8. У чому переваги прискореного методу випробувань на витривалість?

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

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. Одингга.- М.: Изд-во АН СССР, 1960.- 166 с.
4. Циклическая прочность металлов /Под ред. И.А. Одингга.- 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. Троценко, 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. Троценко 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, 8.092.103).- Х.: ХНАМГ, 2004.-79с.

## ЗМІСТ

|  | Стор. |
|--|-------|
| 1. Загальні положення .....  | 3     |
| 2. Мета роботи. Основні теоретичні положення .....   | 4     |
| 3. Діаграма витривалості (крива Веллера).....  | 13    |
| 4. Прискорений метод визначення межі витривалості і побудови<br>кривої Веллера.....                | 16    |
| 5. Програма роботи.....  | 17    |
| 6. Опис експериментальної установки.....   | 18    |
| 7. Послідовність виконання роботи.....   | 19    |
| 8. Обробка експериментальних даних. Розрахунок межі<br>витривалості і побудова кривої Веллера..... | 20    |
| 9. Контрольні запитання.....   | 21    |
| Список літератури.....   | 22    |

Навчальне видання

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи  
«Експериментальне визначення межі витривалості» з дисципліни  
«Прикладна механіка» (для студентів 2 курсу всіх форм навчання  
бакалаврів за напрямом 6.050702 – «Електромеханіка»).

Укладачі: Олександр Миколайович Кузнецов,  
Володимир Петрович Шпачук

Редактор: М.З. Аляб`єв

План 2009, поз.246М

---

|                           |                       |                    |
|---------------------------|-----------------------|--------------------|
| Підп. до друку 18.11.2009 | Формат 60×84 1/16     | Папір офісний.     |
| Друк на ризографі.        | Умовн.- друк. арк.1,1 | Обл.-вид. арк. 1,2 |
| Замовл.№_____             | Тираж 50 прим.        |                    |

---

61002, Харків, вул. Революції, 12

---

Сектор оперативної поліграфії ЦНІТ ХНАМГ

61002, Харків, вул. Революції,12