



Міністерство освіти і науки України

**ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет мехатроніки та інжинірингу

**Кафедра надійності та міцності машин і споруд
ім. В. Я. Аніловича**

МЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРІАЛІВ. ВИПРОБУВАННЯ СТАЛЕВОГО ЗРАЗКА НА РОЗРИВ

**Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт
з дисциплін «Опір матеріалів»
та «Механіка матеріалів і конструкцій»**

Для здобувачів освіти першого (бакалаврського) рівня
вищої освіти денної, заочної та дистанційної форм навчання
інженерних спеціальностей

Харків
2023

Міністерство освіти і науки України
ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет мехатроніки та інжинірингу
Кафедра надійності та міцності машин і споруд
ім. В. Я. Аніловича

МЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРІАЛІВ. ВИПРОБУВАННЯ СТАЛЕВОГО ЗРАЗКА НА РОЗРИВ

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт
з дисциплін «Опір матеріалів»
та «Механіка матеріалів і конструкцій»

Для здобувачів освіти першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
денної, заочної та дистанційної форм навчання
інженерних спеціальностей

Затверджено
рішенням методичної
ради ФМІ ДБТУ
Протокол № 1
від 7 лютого 2023р

Харків
2023

УДК 539.3/.6
М-55

Схвалено на засіданні
кафедри надійності та міцності машин і споруд ім. В.Я.Аніловича
Протокол №6 від «30» січня 2023 р.

Рецензенти:

Антощенко Р.В. д.т.н., проф., завідувач кафедри мехатроніки, безпеки життєдіяльності та управління якістю Державного біотехнологічного університету

Шептун С.Ю. к.т.н., старший викладач кафедри надійності та міцності машин і споруд ім.В.Я Аніловича, Державний біотехнологічний університет

М-55 Механічні характеристики матеріалів. Випробування сталевого зразка на розрив: метод. вказівки до виконання лабораторних робіт з дисциплін «Опір матеріалів» та «Механіка матеріалів і конструкцій» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної, заоч. та дистанц. форм навч. інженерних спеціальностей / Державний біотехнологічний університет; уклад.: М.В.Сліпченко, В.Б.Савченко, О.А.Свіргун, О.І.Алфьоров, В.І.Іванов. - Харків: [б. в.], 2023. - 12с.

Методичні вказівки «Механічні характеристики матеріалів. Випробування сталевого зразка на розрив» розроблено з метою надання практичних навичок здобувачами освіти під час виконання ними лабораторних робіт з дисципліни опір матеріалів (механіка матеріалів і конструкцій). Включають необхідні теоретичні положення, які дозволяють здобувачам освіти зрозуміти сутність явищ, які досліджуються. Методичні вказівки містять також опис порядку, методів і прийомів виконання лабораторної роботи. В додатку надано довідковий матеріал.

Видання призначене для здобувачів освіти першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної, заочної та дистанційної форм навчання інженерних спеціальностей.

Відповідальний за випуск (зав.каф.) : М. В. Сліпченко, к.т.н., доцент.

© М.В.Сліпченко, В.Б.Савченко,
О.А.Свіргун, О.І.Алфьоров,
В.І.Іванов
© ДБТУ, 2023

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

В методичних вказівках відображено зміст і послідовність проведення лабораторних занять, методику їх виконання, наведено перелік обладнання та приладів, які необхідні для досягнення запланованого результату. Методичні вказівки також містять короткий теоретичний коментар, який дозволяє студентові зрозуміти сутність явищ, які досліджуються на лабораторному занятті, а також перелік структурних елементів протоколу який складається за результатами досліджень. Наприкінці студентові надано питання для самоконтролю засвоєння матеріалу і необхідний додатковий матеріал у вигляді переліку рекомендованої літератури і довідкових таблиць.

Увага! Матеріал, який рекомендовано до включення в протокол при оформленні лабораторної роботи, виділено курсивом, або напівжирним курсивом.

Основні правила техніки безпеки

Приступаючи до виконання лабораторних робіт, студент зобов'язаний знати правила техніки безпеки, а також повинен вміти надати першу допомогу при поразці електричним струмом.

1. Перед першим заняттям в лабораторії студенти повинні пройти первинний інструктаж по техніці безпеки. Інструктаж проводить завідуючий лабораторією, про що в журналі реєстрації виконується відповідний запис.
2. Випробувальні машини, лабораторні установки і прилади включаються під напругу тільки викладачем (керівником занять).
3. Щоб уникнути травмування, зразки, для яких проводяться руйнуючі випробування, слід закривати захисними огорожами (щитками або екранами), що передбачені в конструкції випробувальної машини.

Категорично забороняється:

- перемикати важелі управління випробувальних машин, перемикачі і ручки управління приладів без дозволу викладача;
- торкатися до неізольованих струмопровідних частин (провідників).

У випадку враження електричним струмом необхідно надати потерпілому першу невідкладну допомогу. Для цього:

- негайно відключити всі лабораторні установки від мережі;
- викликати лікаря і доповісти про те, що трапилося в ректорат університету;

- покласти потерпілого на рівну поверхню;
- розстібнути одяг, який утрудняє дихання, і визначити стан потерпілого;
- у разі відсутності дихання і ритмічного пульсу зробити потерпілому штучне дихання і масаж в області серця.

Увага! Першу допомогу потерпілому необхідно надавати (за необхідності) безперервно до прибуття лікаря.

Лабораторна робота.

ВИЗНАЧЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ РОЗТЯГАННІ СТАЛЕВОГО ЗРАЗКА

Мета роботи. Експериментально дослідити механічні характеристики сталевих зразків і визначити марку сталі, з якої він виготовлений. Проаналізувати поведінку зразків з пластичного і крихкого матеріалів при розтяганні.

Прилади та обладнання. Випробувальна машина УІМ-50, сталевий зразок, штангенциркуль.

Загальні положення

Механічні характеристики матеріалів визначаються в результаті спеціальних випробувань зразків з цих матеріалів. До основних видів випробувань відносяться статичні випробування на розтяг, стиск і кручення. При випробуваннях зразків на розтягнення визначаються характеристики міцності і пластичності матеріалу.

Статичні випробування проводять при досить повільному змінненні навантаження, яке діє на зразок. Форма зразка в значній мірі залежить від матеріалу, який підлягає випробуванню. При випробуванні металів на розтяг найчастіше використовують гладкі циліндричні зразки (рис.2.1). На циліндричній частині зразка наносять відмітки, які фіксують робочу (розрахункову) довжину l_0 . На кінцях зразка є потовщені головки для закріплення зразка в захватах випробувальної машини, а перехід від циліндричної частини до кінцевої зроблено плавним (конічним) для виключення впливу концентрації напружень на результати випробувань. При цьому забезпечується рівномірний розподіл напружень в робочій частині зразка.

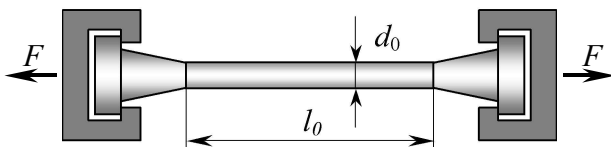


Рис.2.1. Циліндричний зразок для випробувань на розтяг

Для розгляду характерних особливостей процесу деформації пластичного матеріалу при розтяганні, розглянемо результати випробування сталевого зразка.

Після установки зразка в захвати машини, використовуючи механізм випробувальної установки, йому може бути задана необхідна величина поздовжнього видовження Δl . В процесі випробувань ця величина поступово збільшується. При цьому зусилля F , з яким зразок опирається завданій йому деформації, теж змінюється певним чином, що можна спостерігати за допомогою силівимірювального пристрою, який є частиною випробувальної машини. Таким чином, за результатами випробувань може бути побудована силова діаграма розтягання, загальний вигляд якої показано на рис.2.2. На цій діаграмі можна виділити чотири характерні зони.

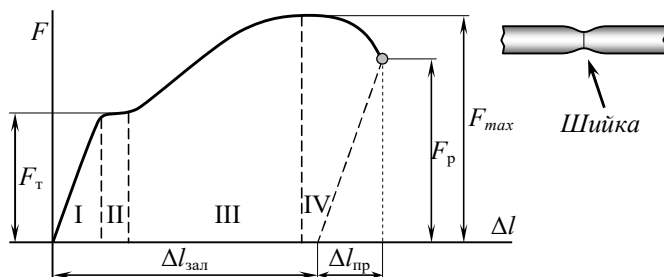


Рис.2.2. Діаграма розтягання зразка з маловуглецевої сталі:

I - зона пружних деформацій; II - зона загальної текучості;

III - зона зміцнення (наклеп); IV - зона місцевої текучості.

В зоні пружних деформацій, при збільшенні поздовжнього видовження, зусилля зростає лінійно у відповідності до закону Гука. Деформації, які при цьому виникають, є зворотними. При подальшому збільшенні видовження в матеріалі починаються пластичні деформації. Вони мають місце по всій довжині робочої частини зразка, завдяки чому цю ділянку діаграми називають зоною загальної текучості. Оскільки зростання довжини зразка протікає без помітного

збільшення навантаження, цю частину діаграми називають площадкою текучості. Навантаження, яке відповідає площадці текучості, на діаграмі позначено як F_T .

Після зони загальної текучості в ході випробувань знов спостерігається поступове збільшення навантаження до величини F_{max} . Матеріал зразка в цій зоні діаграми зміцнюється і все більше опирається деформації. Але швидкість зростання зусилля тут значно менша порівняно з зоною пружних деформацій, оскільки на цьому етапі в матеріалі накопичуються як пружні, так і пластичні деформації. Виникає наклеп - явище підвищення міцності матеріалу, яке знаходить широке застосування в техніці. При подальшому видовженні зразка, матеріал вже не в змозі опиратися і починається його поступове руйнування. В найслабшому перерізі зразка виникає його місцеве звуження, яке має вигляд так званої "шийки". У зв'язку з різким зменшенням площі поперечного перерізу в шийці, подальше видовження зразка супроводжується зменшенням зусилля. Оскільки пластичні деформації найбільш активно накопичуються навколо шийки, цю зону на діаграмі називають зоною місцевої текучості. Після руйнування зразка при зусиллі F_p , пружна частина деформації $\Delta l_{пр}$ зникає, а пластична частина деформації стає залишковою деформацією зразка $\Delta l_{зал}$, яка може бути виміряна.

Числові значення зусиль і деформацій на діаграмі розтягання, яка показана на рис.2.2, залежить не тільки від властивостей матеріалу, а й від абсолютних розмірів зразка. Тому для практичного застосування, як правило, використовують діаграму залежності нормальних напружень σ від величини відносної деформації зразка ε . Значення на такій діаграмі залежать лише від властивостей матеріалу.

Діаграма напружень є розрахунковою і має умовну і дійсну криві (рис.2.3). Оскільки нормальні напруження при розтягу-стиску визначаються як частка від ділення зусилля F на площу поперечного перерізу A , то виникає питання, на яку площу перерізу необхідно ділити значення сил, що показані на рис.2.2. Проблема полягає в тому, що визначити діаметр зразка (або площу його перерізу) в ході експерименту достатньо складно. Крім того, після появи шийки, розподіл поздовжніх деформацій (для визначення ε) по довжині зразка не є лінійним. Це призводить до того, що задача побудови дійсної кривої напружень стає вкрай складною. До того ж, точне визначення дійсних напружень по всій довжині діаграми не має значного практичного сенсу. В більшості випадків достатньо знати дійсні напруження лише в окремих важливих точках.

Таким чином, при випробуванні зразків на розтяг, найчастіше отримують діаграму умовних напружень, яка зовні не відрізняється від силової діаграми, що показана на рис.2.1. **Величину умовних напружень визначають за формулою**

$$\sigma = \frac{F}{A_0}, \tag{2.1}$$

де F – зусилля, з яким зразок опирається завданій йому деформації;

$A_0 = \frac{\pi d_0^2}{4}$ – площа поперечного перерізу робочої частини зразка на початок випробувань.

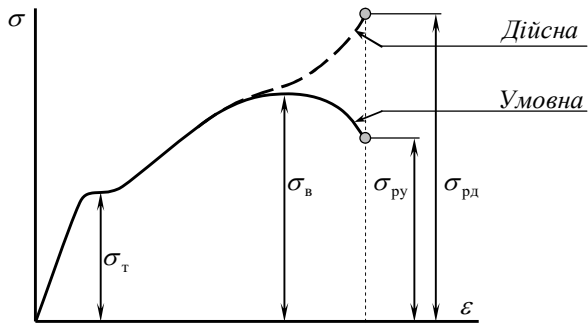


Рис.2.3. Діаграма напружень в пластичному матеріалі при випробуванні на розтяг: σ_T – межа текучості, σ_B – межа міцності; σ_p – напруження розриву

Дійсні нормальні напруження визначають лише для точки, яка відповідає моменту розриву зразка, ділячи зусилля розриву зразка на площу поперечного перерізу шийки $F_{ш}$, яке можна виміряти по закінченні випробувань. Таким чином, в момент розриву зразка можуть бути визначені два значення напружень:

умовні напруження розриву $\sigma_{ру} = \frac{F_p}{A_0}, \tag{2.2}$

дійсні напруження розриву $\sigma_{рд} = \frac{F_p}{A_{ш}}, \tag{2.3}$

де $A_{ш} = \frac{\pi d_{ш}^2}{4}$ – площа поперечного перерізу шийки після розриву зразка.

Для багатьох матеріалів (вуглецеві і леговані сталі, бронза, алюмінієві сплави і ін.) діаграма розтягування не має яскраво вираженої площадки текучості. В цьому випадку визначають величину умовної межі текучості $\sigma_{0,2}$, - напруження, які відповідають залишковій деформації зразка $\varepsilon_{зал} = 0,2\% = 0,002$.

Крім основних характеристик міцності матеріалу, до яких відносять значення межі текучості σ_T і межі міцності σ_B , після випробування зразка можуть бути також визначені характеристики його пластичності. Основними показниками пластичності матеріалу вважають відносне залишкове подовження і відносне залишкове звуження, які, відповідно, визначаються за формулами:

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \cdot 100\% = \frac{\Delta l_{зал}}{l_0} \cdot 100\% \quad \text{та} \quad \psi = \frac{F_0 - F_{ш}}{F_0} \cdot 100\%$$

Значення характеристик пластичності сильно відрізняються для різних матеріалів. В залежності від величини δ , матеріали умовно поділяються на пластичні ($\delta > 10\%$), малопластичні ($\delta = 5 \div 10\%$) і крихкі ($\delta < 5\%$). Наприклад, для м'якої сталі δ може перевищувати 25% (високо-пластичний матеріал), для сірого чавуну $\delta < 2\%$.

Основні механічні характеристики різних матеріалів можна знайти в довідковій літературі. Так, наприклад, в додатку А наведено основні механічні характеристики сталей.

Протокол виконання роботи

Параметри зразка до випробувань:

- Довжина робочої частини зразка $l_0 =$
- Діаметр робочої частини зразка $d_0 =$
- Площа поперечного перерізу $A_0 = \frac{\pi d_0^2}{4} =$

Параметри зразка після випробувань:

- Довжина робочої частини зразка $l_1 =$
- Діаметр шийки $d_{ш} =$
- Площа поперечного перерізу шийки $A_{ш} = \frac{\pi d_{ш}^2}{4} =$

Навантаження в процесі випробувань:

$$F_T =$$

$$F_{\max} =$$

$$F_P =$$

Характеристики міцності матеріалу:

$$\text{межа текучості } \sigma_T = \frac{F_T}{A_0} = \quad \text{межа міцності } \sigma_B = \frac{F_{\max}}{A_0} =$$

$$\text{умовні напруження розриву } \sigma_{py} = \frac{F_P}{A_0} =$$

$$\text{дійсні напруження розриву } \sigma_{pd} = \frac{F_P}{A_{ш}} =$$

Характеристики пластичності матеріалу:

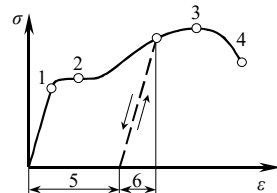
$$\text{абсолютне подовження зразку } \Delta l_{\text{зал}} = l_1 - l_0 =$$

$$\text{відносне залишкове подовження } \delta = \frac{\Delta l_{\text{зал}}}{l_0} \cdot 100\% =$$

Після закінчення роботи необхідно зробити висновок про механічні характеристики досліджуваного зразка і визначити матеріал, з якого його виготовлено.

Питання для самоконтролю

1. Дайте характеристику основних механічних характеристик матеріалу.
2. Яка точка діаграми напружень (рис.2.4) відповідає границі пропорційності?
3. Яка точка діаграми напружень відповідає межі текучості?
4. Яка точка діаграми напружень відповідає межі міцності?
5. Яка точка діаграми відповідає напруженням розриву зразка?
6. На якій ділянці діаграми мають місце лише пружні деформації?
7. На якій частині діаграми тільки пластична деформація змінює свою величину?
8. Яка з деформацій, позначених на рис.2.4, є залишковою?
9. Яка з деформацій, позначених на рис.2.4, є пружною?



Рекомендована література

1. **Міцність та надійність машин:** Навчальний посібник /В.Я.Анілович, О.С.Грінченко, В.В.Карабін, В.О.Літвінов, В.Л.Литвиненко, за ред. В.Я.Аніловича. – К., Урожай, 1996. 288с.
2. **Опір матеріалів:** Підручник / Г.С.Писаренко, О.Л.Квітка, Е.С.Уманський; За ред. Г.С. Писаренка. – 2-ге вид., допов. і переробл. – К.: Вища шк. 2004. 655с.
3. Довбуш Т.А. **Опір матеріалів:** навчальний посібник до виконання розрахунково-графічних робіт і самостійної роботи / Т. А. Довбуш, Н. І. Хомик, А. В. Бабій, Г. Б. Цьонь, А. Д. Довбуш. – Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2022. 220 с.
4. **Механіка матеріалів і конструкцій.** Лабораторні роботи: Навчальний посібник для вузів / І.А. Цурпал, С.І. Пастушенко, М.П. Барабан, В.М. Швайко. – 3-є вид. перероб. і допов. – К.: Аграрна освіта, 2001. – 272 с.
5. Шваб'юк В.І. **Опір матеріалів:** Навч. Посібник. – К.: Знання, 2009. – 380 с.
6. **Solution of classic problems** of the "strength of materials" discipline using finite element analysis systems [Text] / O. Svirgun, V. Savchenko, V. Svirgun // The VI International Scientific and Practical Conference «Scientific discussions and solution development», December 05 – 07, Graz, Austria, 2022. P.301-303
7. **Використання інформаційних технологій** при проведенні лабораторних робіт з дисциплін міцності та надійності машин / О. І. Алфьоров, О. А. Свіргун, В. Б. Савченко, А. Ю. Черноног // Матеріали міжнар. наук.- практ. конф. «Цифрова трансформація та диджитал технології для сталого розвитку всіх галузей сучасної освіти, науки і практики», 26 січня 2023 р., – Ломжа, Польща, 2023. Ч. 1. С.20-23.

Механічні характеристики вуглецевих конструкційних сталей

Марка сталі	Масова доля вуглецю С, %	Межа текучості σ_T , МПа (кгс/мм ²)	Межа міцності σ_B , МПа (кгс/мм ²)	Відносне подовження δ , %	Відносне звуження Ψ , %	Твердість НВ, МПа (кгс/мм ²)
		не менше				
08	0,05±0,12	196 (20)	320 (33)	33	60	1284 (131)
10	0,07±0,14	206 (21)	330 (34)	31	55	1401 (143)
15	0,12±0,19	225 (23)	370 (38)	27	55	1460 (149)
20	0,17±0,24	245 (25)	410 (42)	25	55	1597 (163)
25	0,22±0,30	274 (28)	450 (46)	23	50	1666 (170)
30	0,27±0,35	294 (30)	490 (50)	21	50	1754 (179)
35	0,32±0,40	314 (32)	530 (54)	20	45	2029 (207)
40	0,37±0,45	333 (34)	570 (58)	19	45	2127 (217)
45	0,42±0,50	353 (36)	600 (61)	16	40	2244 (229)
50	0,47±0,55	373 (38)	630 (64)	14	40	2362 (241)
55	0,52±0,60	382 (39)	650 (66)	13	35	2499 (255)
60	0,57±0,65	402 (41)	680 (69)	12	35	2499 (255)

Навчальне видання

МЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРІАЛІВ. ВИПРОБУВАННЯ СТАЛЕВОГО ЗРАЗКА НА РОЗРИВ

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт
з дисциплін «Опір матеріалів»
та «Механіка матеріалів і конструкцій»

Укладачі:

СЛІПЧЕНКО Максим Володимирович
САВЧЕНКО Володимир Борисович
СВІРГУН Ольга Анатоліївна
АЛФЬОРОВ Олексій Ігорович
ІВАНОВ Володимир Іванович

Формат 60×84 1/16. Гарнітура Times New Roman.
Папір для цифрового друку. Друк принтерний.
Умов. друк. арк. 0,6
Наклад 30 примірників.

Державний біотехнологічний університет
61002, м. Харків, вул. Алчевських, 44