



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 СТАЛІ, ЧАВУНУ І ДЕРЕВА НА СТИСК

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

Для здобувачів освіти першого (бакалаврського) рівня здобувачів освіти
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 СТАЛІ, ЧАВУНУ І ДЕРЕВА НА СТИСК

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 2020 р.

Рецензенти:

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

Шентун 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 сталі, чавуну і дерева на стиск: 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 сталі, чавуну і дерева на стиск» 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

ВСТУП

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.

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

Основні правила техніки безпеки

Пристаюючи 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 руйнівні 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.

ВИПРОБУВАННЯ СТАЛІ, ЧАВУНУ І ДЕРЕВА НА СТИСКАННЯ

Мета роботи. Ознайомити студентів з методами випробування матеріалів на стискання. Визначити окремі механічні характеристики пластичних і крихких матеріалів при стисканні.

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

Загальні положення

Випробування на стискання, так само, як і випробування на розтяг, є одними з основних стандартних механічних випробувань матеріалів. При випробуванні зразків на стискання, навантаження намагаються здійснювати таким чином, щоб в середній частині зразка виникли рівномірно розподілені стискуючі нормальні напруження σ . Основною метою випробувань на стискання є визначення характеристик міцності матеріалів при стисканні:

- ♦ для пластичного матеріалу – це межа пропорційності σ_p та межа текучості σ_T (або умовна межа текучості $\sigma_{0,2}$);
- ♦ для крихкого матеріалу – межа міцності при стисканні σ_b ;
- ♦ для анізотропного матеріалу – меж міцності по різних напрямках.

Ці характеристики, разом з відповідними характеристиками матеріалів на розтягання, визначають найважливіші механічні властивості матеріалів при оцінці міцності всієї конструкції (або її окремих конструктивних елементів). Причому для різних матеріалів можна спостерігати істотні відмінності не тільки в значеннях цих характеристик, але і в особливостях поведінки зразків при розтяганні і стисканні.

Методика випробувань

Випробування зразків з різних матеріалів на стискання регламентує

ГОСТ 25.503–97. Випробування здійснюються при статичному навантаженні стандартних зразків на спеціальних машинах (пресах) або універсальних машинах. При цьому одержують діаграму стискання в координатах «навантаження – зменшення довжини», яка потім, для отримання характеристик міцності матеріалу, перераховується в діаграму напружень з координатами «напруження – відносна лінійна деформація».

Зразки для випробувань. Результати випробувань можуть залежати від форми і розмірів зразків. Для випробування на стискання використовуються спеціальні короткі зразки (використання порівняно довгих зразків неприпустимо через можливу втрату ними стійкості). Зокрема, торці металевих зразків повинні бути строго перпендикулярні повздовжній осі (для запобігання перекосам і нерівномірному розподілу напружень) і відшліфовані.

При випробуванні металевих матеріалів використовуються короткі зразки циліндричної форми з відношенням висоти до діаметра $h_0/d_0 = 2 - 3$ (мал.1,а). При випробуванні багатьох неметалевих матеріалів (будівельних матеріалів, дерева та ін.) застосовують зразки кубічної форми (мал.1,б). Зазвичай металеві циліндричні зразки виготовляють з діаметром $d_0 = 10 - 20$ мм, кубічні зразки з дерева із стороною $a = 20 - 50$ мм, з бетону із стороною $a = 10 - 20$ см. Особливо важливі розміри зразків при випробуванні будівельних матеріалів.

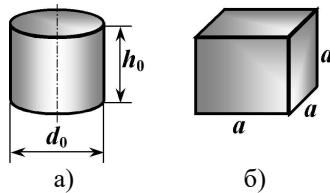


Рис.1. Форма стандартних зразків для випробувань на стискання.

Пластичний матеріал. Для вивчення характерних особливостей поведінки пластичного матеріалу при стисканні, розглянемо результати випробування сталевого зразка. За результатами випробувань зразка може бути побудована діаграма стискання $F(\Delta h)$, яка показує залежність між стискаючою силою F і абсолютним скороченням зразка $\Delta h = h_0 - h_1$, де h_0 – висота зразка до випробування, h_1 – висота зразка в процесі випробування. Для отримання характеристик міцності матеріалу, діаграму стискання перебудовують в діаграму умовних напружень $\sigma(\varepsilon)$, використовуючи відомі співвідношення для нормальних стискаючих напружень і відносної лінійної деформації (за абсолютною величиною). **Нормальні напруження при стисканні** вираховують по формулі:

$$\sigma = \frac{F}{A_0}, \quad (1)$$

де A_0 – початкова площа поперечного перерізу зразка, яку обчислюють за формулою:

$$A_0 = \frac{\pi d^2}{4}. \quad (2)$$

Типова діаграма стискування $F(\Delta h)$ і діаграма умовних напружень $\sigma(\varepsilon)$ для маловуглецевої сталі показані на рис.2,а і 2,б. На початку навантаження ($F \leq F_{\text{пл}}$) діаграма стискування має прямолінійну ділянку OB , яка відповідає пружній деформації матеріалу. Як і для діаграми розтягування, найбільше навантаження на цій ділянці діаграми стискування позначено як $F_{\text{пл}}$.

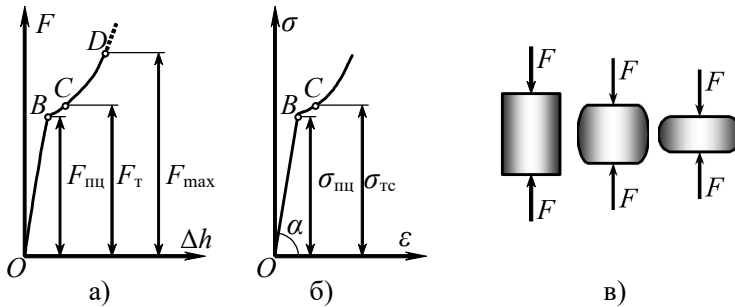


Рис.2. Діаграми стискування (а) і умовних напружень (б), а також вигляд сталевго зразка (в) в процесі випробувань

При пружній деформації матеріалу виконується закон Гука для зразка

$$\Delta h = \frac{Fh_0}{EA_0}, \quad (3)$$

і закон Гука для матеріалу

$$\sigma = E \cdot \varepsilon. \quad (4)$$

З появою пластичних деформацій в матеріалі, діаграма викривляється і переходить у відносно невелику ділянку BC (див. рис.2,а), яка представляє собою зону текучості – слабо виражений майданчик текучості. На діаграмі їй відповідає навантаження F_T . В процесі подальшого навантаження зразок помітно коротшає, збільшується в діаметрі і приймає бочкоподібну форму (рис.2,в) внаслідок наявності сил тертя на торцевих поверхнях зразка. Із зростанням наван-

таження зразок продовжує сплющуватися, а збільшення площі перетину у свою чергу призводить до необхідності подальшого збільшення навантаження для подальшого стискання зразка. Внаслідок цього ділянка зміцнення CD діаграми набуває форму постійно зростаючої кривої (див. рис.2,а). За рахунок пластичної деформації, зразок можна перетворити на тонкий диск (якщо вистачить потужності випробувальної машини) але руйнування його не відбудеться. Межа міцності на стискання для пластичних матеріалів не існує.

Діаграма умовних напружень $\sigma(\epsilon)$ для пластичного матеріалу при стисканні будується з використанням формули (1). Така діаграма і основні характеристики міцності матеріалу показана на рис.2,б. Таким чином, при стисканні пластичних матеріалів визначають наступні характеристики міцності:

$$\text{межа пропорційності при стисканні } \sigma_{\text{пц}}^c = \frac{F_{\text{пц}}}{A_0};$$

$$\text{межа текучості при стисканні } \sigma_{\text{тс}} = \frac{F_{\text{т}}}{A_0}, \quad (5)$$

або умовна межа текучості при стисканні $\sigma_{0,2}^c = \frac{F_{0,2}}{A_0}$ (це напруження, при яких залишкова повздовжня деформація зразка дорівнює 0,2% початкової довжини).

Таким чином, зразки з пластичного матеріалу при стисканні не руйнуються. В процесі випробування зразок може приймати бочкоподібну форму внаслідок впливу сил тертя на торцевих поверхнях. Для зменшення сил тертя торцеві поверхні зразка можуть заздалегідь мастити (парафіном, графітом і т.п.). Це дозволяє зразку більш рівномірно розширюватися в процесі стискання, зменшує його «діжкоподібність» і поліпшує отримання в середній частині зразка умов, близьких до лінійного напруженого стану.

Крихкий матеріал. Для вивчення характерних особливостей крихкого матеріалу при стисканні, розглянемо результати випробування зразка з сірого чавуну, діаграму стискання $F(\Delta h)$ якого наведено на рис.3, а. Практично від самого початку залежність $F(\Delta h)$ є нелінійною, але через малу кривизну, таку криву деформації приблизно можна вважати прямою. В процесі випробування зразка може бути зафіксовано лише максимальне (руйнуюче) навантаження F_{max} . Діаграму умовних напружень $\sigma(\epsilon)$ розраховують за залежністю (1). За формою вона дуже схожа на діаграму стискання (рис.3,б).

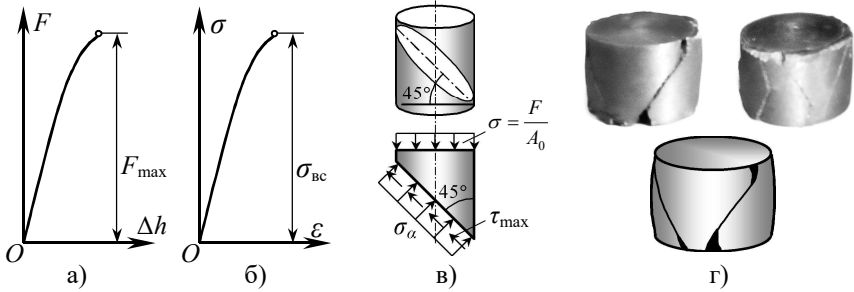


Рис.3 Діаграми стискання (а) і нормальних напружень (б), а також схема виникнення напружень (в) і вигляд чавунного зразка після випробувань (г)

При стисканні, окрім нормальних стискаючих напружень σ_α в похилих перетинах зразка виникають також і дотичні напруження τ_α , які досягають максимальної величини $\tau_{\max} = \sigma/2$ на площадках під кутом 45° до поздовжньої осі зразка (рис.3, в). Тому зразки з крихких металів часто руйнуються внаслідок зрізу по площадках, які розташовані під кутом 45° до поздовжньої осі зразка, від дії максимальних дотичних напружень (рис.3, г).

Єдиною характеристикою, яка визначається для крихких матеріалів, є межа міцності при стисканні

$$\sigma_{\text{вс}} = \frac{F_{\text{max}}}{A_0}. \quad (6)$$

Анізотропний матеріал. У анізотропних матеріалів властивості міцності істотно розрізняються по різних напрямках. Наприклад, дерево має кращі характеристики міцності вздовж волокон, та гірші – уперек волокон.

При стисканні кубічного зразка вздовж волокон, діаграма стискання має вигляд, характерний для випробувань на стискання крихких матеріалів (крива 1 на рис.4, а). Руйнування зразка має ознаки подовжнього розколу та (або) зсуву однієї частини відносно іншої (рис.4, б). Можливе також утворення поперечних складок. Навантаження при цьому сягає максимального значення F'_{max} .

При стисканні дерев'яного зразка уперек волокон, діаграма стискання має вигляд і практично всі стадії деформації, які є характерними для пластичного матеріалу (крива 2 на рис.4, а). На ділянці OB спостерігається майже лінійна залежність між величинами сили і лінійної деформації. При подальшому збільшенні навантаження ($F > F_{\text{пл}}$), відбувається значне ущільнення деревини – пресування (рис.4, в). Навантаження при цьому практично не збільшується

(майже горизонтальна ділянка на діаграмі стиснення). Це значення сили F''_{\max} і приймається за навантаження, яке визначає міцність дерева упоперек волокон. Подальше збільшення навантаження стиснення (див. рис.4,а) фактично відбувається внаслідок деформації вже іншого матеріалу, який було отримано за наслідками пресування.

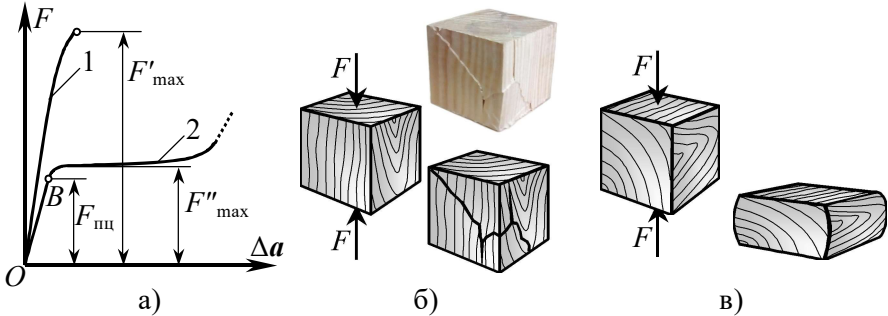


Рис.4. Діаграми стиснення (а), а також вигляд дерев'яного зразка при випробуваннях вздовж (б) і упоперек волокон (в)

Характеристики міцності дерев'яного зразка визначаються з використанням формули (1). При цьому площа перерізу обчислюється за формулою

$$A_0 = a^2. \tag{7}$$

Таким чином, для дерева, як анізотропного матеріалу, визначають такі характеристики:

межа міцності вздовж волокон $\sigma'_{\text{вс}} = \frac{F'_{\max}}{A_0}$ (8)

межа міцності упоперек волокон $\sigma''_{\text{вс}} = \frac{F''_{\max}}{A_0}$ (9)

Можливо також визначення так званого коефіцієнта анізотропії дерева, який характеризує відмінність міцності дерева вздовж і упоперек волокон:

$$k = \frac{\sigma'_{\text{вс}}}{\sigma''_{\text{вс}}}. \tag{10}$$

Порядок виконання роботи

До протоколу лабораторної роботи слід включити мету, прилади та обла-

днання, формули (1) та (2), а також елементи рисунків 2, 3 та 4.

Перед проведенням випробування зразків, вимірюють їхні розміри. Для циліндричних зразків визначають значення діаметру d_0 , а для призматичних – значення лінійних розмірів a . За ними по формулах (2) і (7) визначають площу поперечного перерізу A_0 . Результати вимірювань і розрахунків зручно занести до таблиці 1.

Таблиця 1.

Результати випробувань

Найменування величин і їх розмірність	Сталь	Чавун	Дерево	
			уздовж волокон	упоперек волокон
Розміри поперечного перерізу, см	$d_0=$	$d_0=$	$a =$	$a =$
Площа поперечного перерізу A_0 , см ²				
Найбільші навантаження F_{\max} , кН				
Найбільші нормальні напруження σ_{\max} , МПа				

В процесі випробування, спостерігають за характером збільшення навантаження в залежності від величини поздовжньої деформації зразків, фіксуючи в таблиці 1 відповідні величини навантажень.

Слід зазначити, що для сталевого зразка помітити зміну швидкості збільшення навантаження на площадці текучості (F_T) вкрай складно. Тому для нього реально зафіксувати лише максимальну величину навантаження і напруження.

При випробуванні дерев'яного зразка за умов навантаження упоперек волокон, площадка текучості виявляється дуже помітною (F''_{\max} на рис.4, а). Оскільки подальше збільшення навантаження призводить до випробування вже де-що іншого матеріалу (значно ущільненої деревини), вважають, що саме ця величина навантаження є такою, яка визначає міцність деревини при навантаженні упоперек волокон ($\sigma_{\max} = \sigma''_{bc}$)

Після закінчення роботи необхідно зробити висновок про механічні характеристики досліджуваних зразків, визначивши їхні основні характерні ознаки.

Питання для самоконтролю

1. Визначте основні механічні характеристики крихких та пластичних матеріалів.
2. Які матеріали називають анізотропними?
3. Наведіть приклади крихких, пластичних і анізотропних матеріалів.
4. Чи можна визначити експериментально межу міцності пластичного матеріалу при стисканні?
5. Який вид напружень призводить до руйнування крихких матеріалів?

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.- практик. 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.

Навчальне видання

МЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРІАЛІВ. ВИПРОБУВАННЯ СТАЛІ, ЧАВУНУ І ДЕРЕВА НА СТИСК

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