

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»**

**ПРАКТИКУМ З ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ
З ДИСЦИПЛІНИ «НОВІ МАТЕРІАЛИ»**

Частина 1

Київ, НТУУ «КПІ», 2009

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

ПРАКТИКУМ З ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ
З ДИСЦИПЛІНИ «НОВІ МАТЕРІАЛИ»

Частина 1

«міцність і деформування полімерних та композиційних
матеріалів при короткочасному навантаженні»

Для студентів спеціальності
«Динаміка та міцність машин»

Затверджено
на засіданні Методичної Комісії
ММІ НТУУ "КПІ".
Протокол № 9 від 25.05.2009 р.

Київ, НТУУ «КПІ», 2009

Шидловський М.С. Шпак Д.Ю. Практикум з лабораторних робіт з дисципліни «Нові матеріали». Частина 1. «Міцність і деформування полімерних та композиційних матеріалів при короткочасному навантаженні» Для студентів спеціальності «Динаміка та міцність машин».-К.: НТУУ «КПІ», 2009.-37 с.

Навчальне видання

Практикум з лабораторних робіт
з дисципліни «Нові матеріали»

Частина 1

«Міцність і деформування полімерних та композиційних
матеріалів при короткочасному навантаженні».

Для студентів спеціальності
«Динаміка та міцність машин»

Відповідальний редактор

М.І. Бобир

Рецензент

О.Ф. Луговський

Загальні положення

Сучасний технічний прогрес тісно пов'язаний із застосуванням великої кількості нових конструкційних матеріалів, серед яких одне з чільних місць займають композиційні матеріали на полімерних основах. Унікальні фізико-механічні характеристики таких матеріалів (мала вага, висока питома міцність, композиційна стійкість) роблять їх незамінними в багатьох галузях промисловості та сприяють зниженню матеріаломісткості виробів.

Для коректного проведення розрахунків на міцність необхідно знати механічні властивості нових матеріалів, більшість з яких є дослідженими до теперішнього часу недостатньо повно. Тому кваліфікованим спеціалістам в області міцності та надійності необхідно оволодіти сучасними методами досліджень з урахуванням супутніх факторів.

В лабораторних роботах з дисципліни “Нові матеріали” проводяться вимірювання міцності та деформації матеріалів, визначаються основні в'язкопружні та реологічні характеристики, вивчаються динамічні властивості й анізотропія механічних показників. В більшості робіт враховується температурний фактор.

Протокол випробувань складається студентами індивідуально відповідно до діючих стандартів. Він оформлюється на аркушах паперу формату А4 (210 x 297 мм). Схеми та графіки виконуються на міліметровому папері того ж формату. До протоколів лабораторних робіт, виконаних на ЕОМ, додаються програми і результати розрахунків (роздруки). Всі фізичні величини, що зустрічаються в роботі, повинні бути виражені в міжнародній системі одиниць СІ.

У кожному протоколі обов'язково повинно бути відображено так відомості:

1. Назва роботи.

2. Мета роботи.

3. Прилади та обладнання, що використовуються, режими випробовування (швидкість навантаження, температура, час випробовування та ін.)

4. Конкретна назва випробуваного матеріалу (або матеріалів), шифр або марка матеріалу, тип і розміри зразків.

5. Стислий опис методики проведення випробувань.

6. Таблиці із заголовками, в яких подаються виміряні або обчислені величини та їх розмірності.

7. Графіки із зазначенням на координатних осях величин, що відбиваються, та їх розмірностей. Під кожним графіком повинен бути пояснюючий підпис (назва матеріалів, стислий опис досліджуваних процесів, умови випробовувань та ін.)

8. Описання методів розрахунку, формули та результати розрахунків. Остаточні результати підкреслити.

9. Стислі відомості про випробувані матеріали:

клас матеріалу (лінійний, сітчастий, наповнений тощо);

фазовий стан (кристалічний, аморфний, частково-кристалічний);

фізичний стан (склоподібний, високоеластичний та ін.);

області застосування;

методи отримання, режими обробки;

довідкові дані (границя міцності, максимальне видовження, модуль пружності, ударна в'язкість, температурні характеристики, густина, твердість та ін.);

10. Висновки по проведеній роботі.

ОСНОВНІ ВІДОМОСТІ ПРО МІЦНІСТЬ І ДЕФОРМУВАННЯ ПОЛІМЕРНИХ ТА КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ПРИ КОРОТКОЧАСНОМУ НАВАНТАЖЕННІ

ДЕФОРМУВАННЯ АМОРФНИХ ТА КРИСТАЛІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

Однією з найбільш характерних властивостей більшості полімерних матеріалів є здатність до великих оборотних і необоротних деформацій. Зміна розмірів і форми зразків матеріалу характеризує внутрішню реакцію полімера на зовнішній вплив. Процеси деформації полімерів при відносно повільно змінюваному навантаженні вивчають за експериментально одержаними діаграмами деформування. Тобто залежностями між прикладеними напруженнями σ і виникаючими при цьому деформаціями ϵ . Ці діаграми одержують на розривних машинах, обладнаних пристроєм для вимірювання і запису навантажень і видовжень зразків. Вигляд діаграми $\epsilon=f(\sigma)$ залежить від фазового та фізичного стану полімеру в момент випробувань.

Лінійні аморфні полімери в залежності від температури можуть знаходитися в трьох фізичних станах: склоподібному, високоеластичному і в'язкотекучому.

На рис.1 наведені діаграми деформацій таких полімерів у різних станах.

Початкові ділянки діаграм, що є прямими лініями, відповідають пружним деформаціям, які малі й підкоряються закону Гука.

Нижче температури крихкості $T_{кр}$ склоподібного полімеру, коли гнучкість молекулярного ланцюга дуже низька, полімер здатний розвивати тільки пружну деформацію, як і низькомолекулярні тверді тіла (рис.1 крива 1). Подальше деформування зразка полімеру, що знаходиться в такому стані, приводить до його руйнування. В склоподібному стані

під дією зусиль в цих матеріалах можуть розвиватися за певних умов значні деформації (до декількох сотень відсотків).

Цю здатність називають *вимушеною еластичністю*, а деформацію - *вимушено-еластичною*. Вказана деформація розвивається в температурному інтервалі між $T_{кр}$ і температурою скловання полімеру T_c . На рис.1 крива 2 є типовою для склоподібного полімеру при $T > T_{кр}$. В початковий момент розвитку вимушено-еластичної деформації в зразку утворюється “шийка” (ділянка a-b-c), яка в процесі розвитку деформації збільшується (ділянка c-d). Напруження, при якому починає розвиватися вимушено-еластична деформація, називається границею текучості σ_T або границею вимушеної еластичності $\sigma_{в.е.}$. Вимушена еластичність обумовлена зміною конформації макромолекул.

Після припинення дії навантаження при $T < T_c$ вимушено-еластична деформація не знімається, а при наступному нагріванні ($T > T_c$), коли полімер переходить у високоеластичний стан, зразок відновлює свої розміри. Тому така деформація носить зворотний характер.

Полімери, які знаходяться у високоеластичному стані при $T > T_c$, називаються *еластомірами*. Суть високоеластичності полягає у випрямленні згорнутих гнучких молекулярних ланцюгів під дією прикладених навантажень і повернення ланцюгів до первинної форми після зняття навантаження. У високоеластичному стані полімер розвиває великі зворотні деформації під дією навіть невеликих прикладених напружень. Типова крива деформації для еластомерів наведена на рис. 1 крива 3.

Загальна деформація полімеру складається з пружної деформації $\epsilon_{пр}$, високоеластичної деформації $\epsilon_{в.е.}$ і деформації течії $\epsilon_{теч.}$.

Течія – це необоротне переміщення макромолекул відносно одна одної

під дією зовнішньо прикладеного зусилля. Внаслідок течії при деформуванні полімерів повного відновлення розмірів зразка після зняття навантаження не виникає.

Кристалічні полімери, так само як і аморфні, під дією прикладених навантажень здатні розвивати значні деформації (до декількох сотень відсотків).

Крім пружної деформації, кристалічні полімери при великих навантаженнях виявляють вимушено-еластичну деформацію. Деформація кристалічних полімерів супроводжується не тільки випрямленням згорнутих ланцюгів макромолекул в аморфних областях, але й орієнтацією кристалів і частковою їх рекристалізацією.

Внаслідок орієнтації макромолекул їх властивості в різних напрямках істотно відрізняються, тобто спостерігається анізотропія властивостей. Остання також виявляється і в деформованих склоподібних полімерах.

На процес деформування та руйнування полімерів значно впливають такі фактори як тривалість деформування, температура, характер напруженого стану, дія світла, хімічно-активних середовищ.

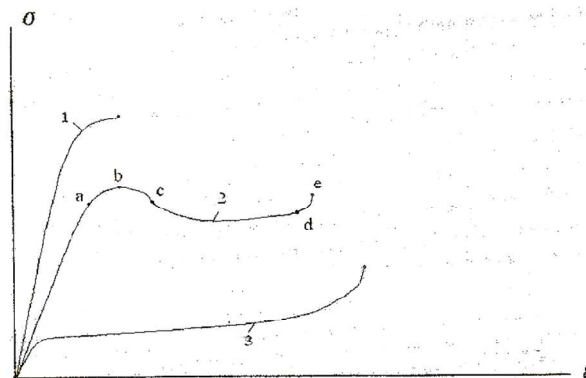


Рис. 1 Криві розтягу полімерів

1 – полімери при температурі нижче температури крихкості;

2 – полімери в інтервалі від температури крихкості до температури

скловання; 3 – полімери у високоеластичному стані.

ВПЛИВ ТРИВАЛОСТІ НАВАНТАЖЕННЯ НА МІЦНІСТЬ

Міцність полімерних матеріалів в значній мірі залежить від тривалості перебування в напруженому стані. Характеристики міцності зразків, розірваних за короткий час, виявляються вищими, ніж для тих самих зразків, розірваних повільно. Явище залежності міцності від часу одержало назву статичної втоми.

В межах досліджуваних інтервалів часу експериментальні дані про тривкість матеріалів під постійним навантаженням описується залежністю

$$\tau_p = A \cdot \exp(-\alpha \cdot \sigma)$$

де τ_p -тривкість зразка (час від моменту прикладення сили до моменту розриву зразка);

A, α -константи;

σ -діюче в зразку напруження.

Більш загальне рівняння тривкості (рівняння С.М.Журкова) має вигляд

$$\tau = \tau_0 \cdot \exp\left(\frac{U_0 - \gamma \cdot \sigma}{R \cdot T}\right)$$

де U_0 - енергія активації руйнування у відсутності напруження;

τ_0 - тривалість одного теплового коливання атомів (10^{-12} - 10^{-13} с);

T - температура ;

R – універсальна газова константа ; γ - структурний параметр;

Залежність міцності полімерів від тривалості навантаження обумовлює вплив швидкості розтягу на міцність вказаних матеріалів. Встановлено, що з достатньо високим ступенем точності виконується залежність такого вигляду:

$$\sigma_p = a V^n ,$$

де σ_p - руйнуюче напруження; V – швидкість розтягу; a, n – константи.

Експериментально встановлено, що із збільшенням швидкості деформування $\dot{\varepsilon}$ або швидкості навантаження $\dot{\sigma}$ зразка з в'язкопружного матеріалу, крива розтягу розташовується вище, тобто при підвищенні швидкості розтягу матеріал збільшує жорсткість (рис.2).

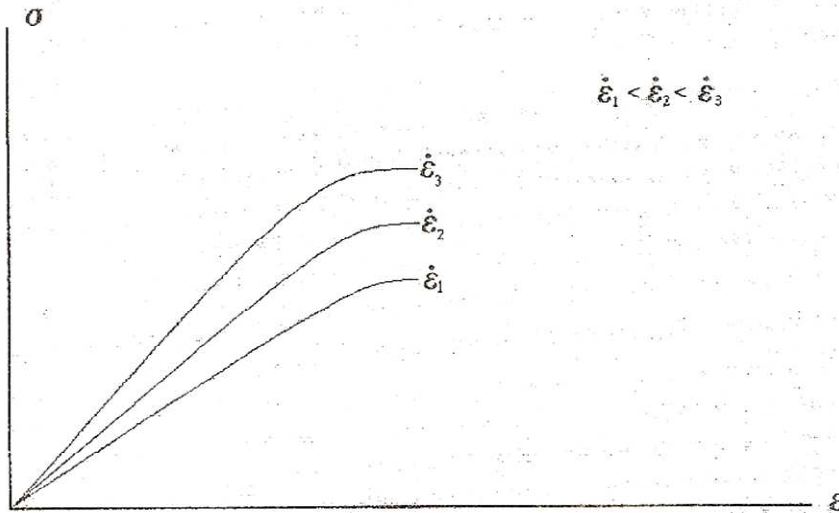


Рис. 2. Вплив швидкості деформування на жорсткість в'язкопружного матеріалу

Температурні залежності характеристик міцності в робочих інтервалах температур як правило монотонні й можуть бути описаними таким виразом:

$$\sigma_p = \sigma_0 l_{kp} \left(\frac{U}{RT} \right),$$

де: σ_0 і U – константи.

Властивості полімерів залежать від хімічної будови і характеристик макромолекул (молекулярна маса, гнучкість ланцюгів, наявність розгалуження і зшивок, регулярність будови та інше), а також від надмолекулярної структури полімерів. Молекулярна маса полімерів істотно впливає на температуру крихкості, температуру скловання та текучість полімерів. Збільшення молекулярної маси полімерів розширює

температурну область високоеластичного і вимушеноеластичного стану внаслідок зниження їх температурної крихкості і збільшення температури плавлення.

Властивості полімерів залежать від кінетичної гнучкості макромолекули. Остання обумовлюється не тільки їх хімічною будовою, але й істотно залежить від температури. З підвищенням температури знижується модуль пружності, руйнуюче напруження і границя текучості, а відносно видовження зростає (див. рис. 1).

Гнучкість макромолекул залежить і від щільності пакування макромолекул. Щільність упаковки аморфних полімерів в значний мірі залежить від ступеню розгалуження макромолекул, а для кристалічних полімерів в основному визначається ступенем кристалічності. Зменшення останнього сприяє прояву вимушеної еластичності. Деформаційні властивості кристалічних полімерів залежать також від впливу структури кристалічних утворень. Зменшення розмірів надмолекулярних кристалічних утворень в полімері полегшує процес вимушеної еластичності.

Таким чином, міцність і деформаційні властивості одного і того ж полімеру залежать від цілого ряду факторів: передісторії, температури випробування, швидкості прикладення деформації, тривалості впливу навантаження та інше. Умови виготовлення зразків, їх кондиціонування та проведення експерименту обумовлюються стандартами на даний полімер або на даний вид дослідів.

Велике число факторів, які впливають на експлуатаційні властивості полімерів, а також недосконалість вимірювальної техніки викликає природний розкид результатів вимірювань. Тому на практиці досліди проводять декілька разів і за кінцевий результат приймають середнє арифметичне значення показника, що визначається.

ВЛАСТИВОСТІ АНІЗОТРОПНИХ МАТЕРІАЛІВ

В різних галузях промисловості широке застосування набувають анізотропні матеріали різного типу. Їх анізотропія обумовлена наявністю армуючих елементів або витяжкою листових матеріалів в одному чи в двох напрямках. Окремим випадком анізотропних матеріалів є ортотропні.

Ортотропний матеріал, який має три площини симетрії пружних властивостей, в загальному випадку характеризується дев'ятьма незалежними пружними константами. Для дослідження пружного напруженого стану необхідно знати чотири характеристики, за які можна вибрати модуль пружності E_0 у напрямі основи; модуль пружності E_{20} у напрямі утка, модуль пружності E_{45} у напрямі $\pi/4$ до осі пружної симетрії та μ_{90} , що характеризує скорочення у поперечному напрямі при розтязі вздовж головної осі.

Розв'язок задачі теорії пружності для анізотропного матеріалу дає співвідношення між пружними характеристиками для довільного напрямку (φ) відносно осей пружності симетрії матеріалу:

$$E(\varphi) = \frac{\lambda \cdot E_0}{\lambda \cdot \cos^4 \varphi + 2B \cos^2 \varphi \cdot \sin^2 \varphi + \sin^4 \varphi}; \quad (1)$$

$$\lambda = \frac{E_{90}}{E_0}; \quad 2B = 4 \frac{E_{90}}{E_{45}} - (1 + \lambda);$$

$$G(\varphi) = \frac{G_0}{1 - (1 - C) \sin^2 2\varphi}; \quad (2)$$

$$C = \frac{G_0}{G_{45}} = \frac{1 + \lambda + 2\mu_{90}}{2B + 2\mu_{90}}; \quad G_0 = \frac{\lambda E_0}{2B + 2\mu_{90}};$$

$$\mu(\varphi) = \frac{\mu_{90} - \frac{1}{4}(1 + \lambda - 2B) \cdot \sin^2 2\varphi}{\lambda \cdot \cos^4 \varphi + 2B \cos^2 \varphi \cdot \sin^2 \varphi + \sin^4 \varphi}; \quad (3)$$

Зберігаючи прийняті позначення, у випадку пружного напруженого стану залежність границі міцності від напрямку по відношенню до осей пружної симетрії може бути представлена виразами:

$$\sigma_p = \frac{\lambda_\sigma \cdot \sigma_{p(0)}}{\lambda_\sigma \cdot \cos^4 \varphi + 2B_\sigma \cos^2 \varphi \cdot \sin^2 \varphi + \sin^4 \varphi}, \quad (4)$$

де

$$\lambda_\sigma = \frac{\sigma_{p(90)}}{\sigma_{p(0)}}; \quad 2B_\sigma = 4 \frac{\sigma_{p(90)}}{\sigma_{p(45)}} - (1 + \lambda_\sigma).$$

Аналогічно для ε_{\max} :

$$\varepsilon_{\max}(\varphi) = \frac{\lambda_\varepsilon \cdot \varepsilon_{\max(0)}}{\lambda_\varepsilon \cdot \cos^4 \varphi + 2B_\varepsilon \cos^2 \varphi \cdot \sin^2 \varphi + \sin^4 \varphi}; \quad (5)$$

$$\lambda_\varepsilon = \frac{\varepsilon_{\max(90)}}{\varepsilon_{\max(0)}}; \quad 2B_\varepsilon = 4 \frac{\varepsilon_{\max(90)}}{\varepsilon_{\max(45)}} - (1 - \lambda_\varepsilon).$$

ОПИС, БУДОВА ТА ПОРЯДОК РОБОТИ З УНІВЕРСАЛЬНОЮ ВИПРОБУВАЛЬНОЮ МАШИНОЮ TIRATEST-2151

Універсальна випробувальна машина TIRATEST-2151 (рис. 3) призначена для визначення механічних властивостей металів, пластмас, волокон, композиційних матеріалів тощо. За допомогою різних програмних шаблонів можна здійснювати такі режими навантаження та деформування:

розтяг, стиск або згин із заданою постійною швидкістю деформування; випробування на повзучість при постійному або циклічному навантаженні;

вимірювання релаксацій напружень при постійній або циклічній деформації.

Опис блок-схеми (рис. 4.). Через пульт керування здійснюється введення попередніх даних в обчислювальну машину (режим навантаження, довжина зразка та інші параметри). Обчислювальна машина (мікропроцесор K1520) за допомогою відповідного блоку керує роботою пристрою навантаження, який через механічний зв'язок (черв'ячна передача) здійснює переміщення рухомого затискувача та деформує зразок. Динамометр через нерухомий затискувач вимірює силу P . Пристрій вимірювання деформацій ΔL фіксує переміщення рухомого затискувача. Дані про силу P та деформацію ΔL надходять до обчислювальної машини. Остання запам'ятовує всю інформацію про процес деформування і в ході випробування передає цю інформацію на індикатори P та ΔL . При закінченні випробування мікропроцесор через пристрій для друкування ROBOTRON K6313 здійснює виведення на папір діаграми деформування та протоколу випробування.

Опис режимів роботи машини (позиція 21 на рис.5):

режим TEST-RETURN – після закінчення роботи (розрив зразка) активний затискувач автоматично повертається у вихідне положення;

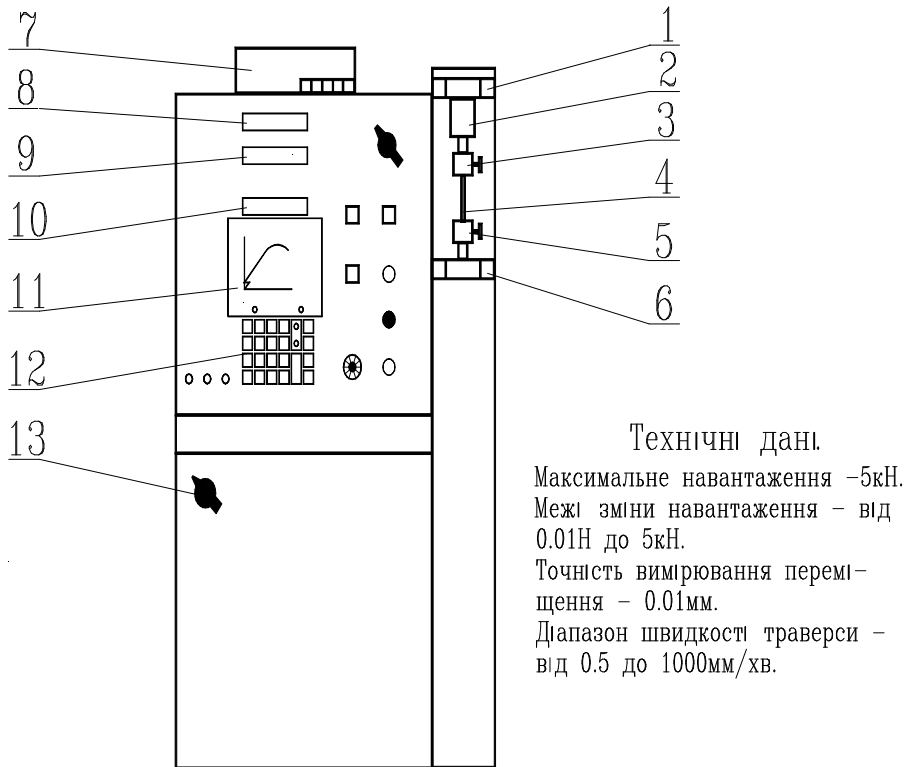


Рис. 3 Загальний вигляд випробувальної машини TIRATEST—2151:

1—нерухома траверса; 2—динамометр; 3—нерухомий затискувач; 4—зразок; 5—рухомий затискувач; 6—рухома траверса; 7—пристрій для друкування ROBOTRON K6313; 8—табло індикації сили P , (Н); 9—табло індикації деформації ΔL , (мм); 10—табло індикації даних вводу та виводу; 11—програмний шаблон; 12—клавіатура вводу попередніх даних; 13—ручка для вмикання та вимикання випробувальної машини

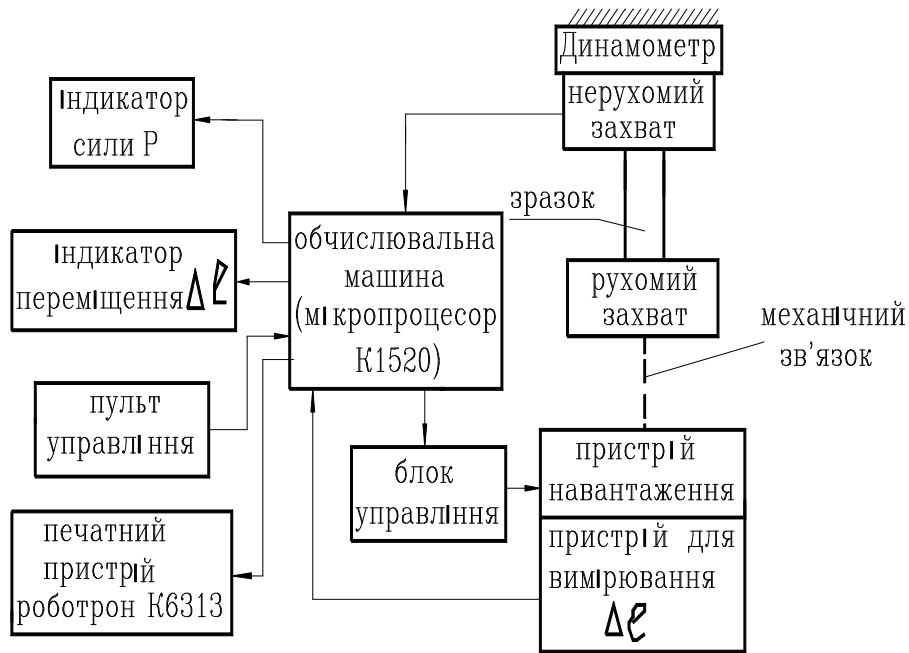


Рис. 4 Блок-схема випробувальної машини
TIRATEST—2151.

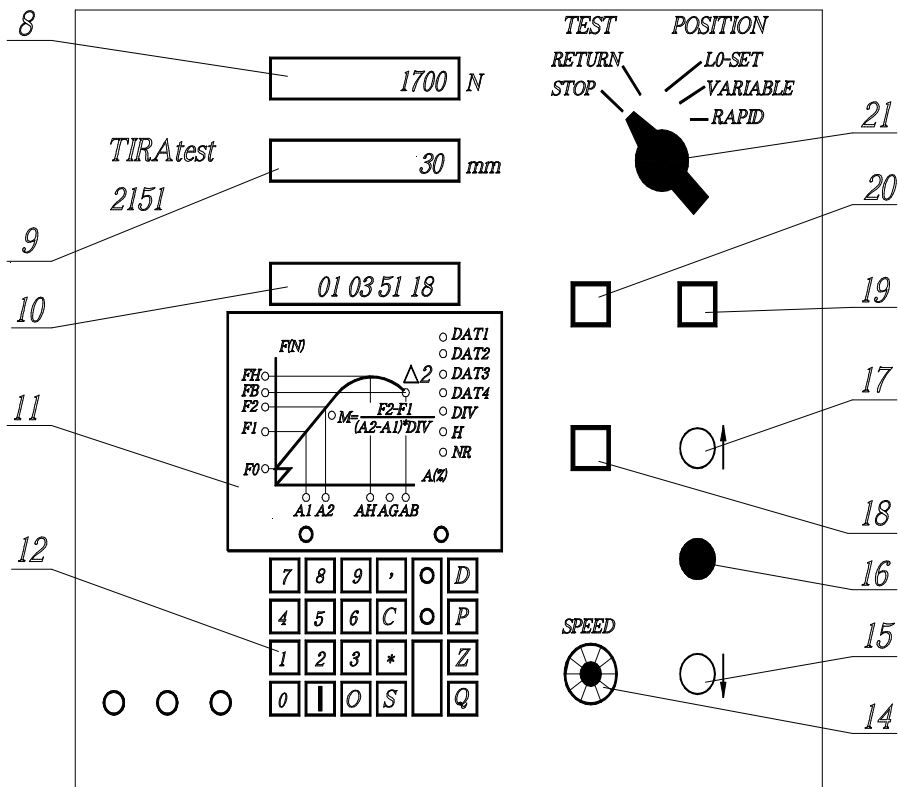


Рис. 5 Панель обслуговування випробувальної машини.

14—ручка регулювання швидкості; 15, 17—клавіші переміщення рухомого затискувача відповідно вниз та вгору; 16—клавіша зупинки роботи машини; 18—клавіша зниження швидкості переміщення рухомого затискувача у 40 разів (при натиснутій клавіші); 19—клавіша підключення екстензометра; 20—клавіша ZERO (тимчасова зупинка роботи машини); 21—ручка переключення режиму роботи.

режим TEST-STOP – після закінчення роботи активний затискувач зупиняється і повертається у вихідне положення лише після натискання клавіші 15 чи 18;

режим POSITION-L0-SET – встановлення затискувача на потрібну відстань;

режим POSITION-VARIABLE – переміщення траверси із змінною швидкістю;

режим POSITION-RAPID – переміщення траверси з максимальною швидкістю.

Опис клавіатури введення даних та програмного шаблону для випробувань на розтяг-стиск. (позиція 12 на рис. 5)

Клавіатура введення даних містить такі клавіші:

0...9 – клавіші вводу чисел;

, - десяткова кома;

C – анулювання неправильно введених даних;

* - друкування введених даних;

I – клавіша INPUT (введення даних);

O – клавіша OUTPUT (виведення даних);

D – включення та виключення друку діаграми (якщо індикатор поблизу клавіші світиться, то діаграму буде надруковано);

P – включення та виключення друку протоколу (аналогічно клавіши D);

S – клавіша виділення тих характеристик, для яких потрібно провести статистичну обробку (кількість характеристик для статистичної обробки – не більше 3);

Q – анулювання недійсного випробування (наприклад, зразок вислизнув із затискувача);

Z – друкування сертифіката випробування (результатів статистичної обробки).

Вхідні дані програмного шаблону (INPUT):

DAT1...DAT4 – довільні числа (дата проведення випробування, № випробуваного зразка, № випробування і т.д.);

DIV – площа поперечного перерізу зразка, мм;

L(абоН) – робоча довжина зразка, мм;

F₀ – початкова сила, Н (орієнтовно береться F₀ ≈ 10...20 Н);

F₁, F₂ – значення сил для визначення модуля пружності, Н;

AG – гранична відносна деформація, при досягненні якої розтяг припиняється, %;

Δ₂ – спад сили (Н) для розпізнання мікропроцесором моменту розриву зразка;

Порядок введення: “Г” → введення числа → “*” → друкування. Невірно введені дані анулюються натисненням клавіші “С”.

Виведення даних (OUTPUT) :

NR – номер випробування;

FB – сила при розриві, Н;

FN – максимальна сила, Н;

A₁, A₂ – деформації (%), що відповідають F₁ та F₂;

АН – деформація (%), що відповідає FN;

AB – деформація (%), що відповідає FB;

M – модуль пружності M, (МПа), який обчислюється за формулою:

$$M = \frac{(F_1 + F_2)}{(A_2 - A_1)DIV} 100$$

Ці дані виводяться на папір разом з протоколом або на табло 10 при натисненні клавіші “O”.

Порядок роботи з випробувальною машиною TIRATEST-2151.

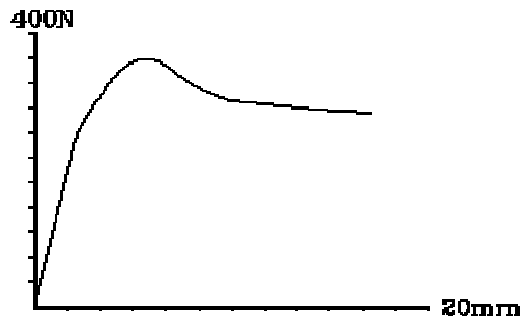
1. Ручкою 13 вмикаємо випробувальну машину.
2. Встановлюємо потрібний програмний шаблон 11.
3. За допомогою клавіатури 12 вводимо вхідні дані.
4. Встановлюємо потрібну робочу відстань між затискувачами (режим L0-SET) .
5. Закріплюємо зразок 4 у затискувачах 3, 5.
6. Натискаємо клавішу 15 для початку випробування на розтяг чи клавішу 18 для випробування на стиск.
7. Після закінчення випробування повертаємо затискувачі у вихідне положення (клавіші 18 чи 15).
8. Пристрій для друкування 7 здійснює вивід на папір діаграми деформування.

На рис. 6 зображено типову діаграму деформування полімерного матеріалу при розтязі. Разом з кривою деформування наведено протокол випробування.

DAT1=120399 DAT2=62, DAT3=1, DIV=7.5 mm²

H=100 mm F₁=40 N, F₂=70 N AG=1000%

Δ₂=150 N



$N1=1$ $RB=25.36 \text{ N/mm}^2$ $RH=41.213 \text{ N/mm}^2$ $A1=0.0703\%$
 $A2=0.4821\%$ $AH=5.077 \%$ $AB=12.308 \%$ $M=7285 \text{ N/mm}^2$

Рис. 6. Діаграма деформування та протокол випробування

В цьому випадку випробування вихідні дані мають такі значення:

$DAT1=120399$ – випробування було проведено 12 березня 1999 року;
 $DAT2=62$, $DAT3=1$ випробування виконали студенти 1 бригади($DAT3=1$)
 групи МП – 62 ($DAT2=62$);

$DIV=7.5 \text{ mm}^2$ – площа поперечного перерізу зразка;

$H=100 \text{ mm}$ – робоча довжина зразка;

$F_1=40 \text{ N}$, $F_2=70 \text{ N}$ значення сили для визначення модуля пружності

$AG=1000\%$ гранична відносна деформація для припинення розтягу

$\Delta_2=150 \text{ N}$ спад сили для розпізнання розриву зразка.

В результаті випробування отримано такі дані:

$N1=1$ – номер випробування;

$RB=25.36 \text{ N/mm}^2$ – напруження при розриві;

$RH=43.213 \text{ N/mm}^2$ – максимальне напруження;

$A_1=0.0703 \%$, $A_2=0.4821 \%$ - деформації, що відповідають введеним значенням сил F_1 та F_2 ;

$AH=5.077 \%$ - деформація, що відповідає введеному значенню сили FH ;

$AB=12,308 \%$ - деформація, що відповідає введеному значенню сили FB ;

$M=7285.1 \text{ N/mm}^2$ – модуль пружності.

Лабораторна робота №1.1

Випробування матеріалів на розтяг. Побудова та обробка діаграм деформування. Статистична обробка результатів випробування

Мета роботи: Навчитися користуватися випробувальною машиною; одержати криві “навантаження-видовження” зразків; визначити міцності та деформаційні характеристики матеріалу; навчитись проводити статистичну обробку результатів експерименту.

Прилади та обладнання: Випробувальна машина TIRATEST-2151; штангенциркуль з ціною поділки 0.05 мм; товщиномір з ціною поділки 0.001 або 0.002 мм.

Досліджувані матеріали: Поліетилен (далі ПЕ), поліпропілен (ПП), полівінілхлорид (ПВХ), полікарбонат (ПК), поліетилентерефталат (ПЕТФ), поліфеніленоксид (ПФО), поліімід (ПІ) або інші матеріали.

Зразки: Для випробувань застосовують зразки у вигляді лопаток згідно ГОСТ 11262-80 типу 2 або 3. Для досліджень плівкових матеріалів застосовують зразки згідно ГОСТ 14236-81 у вигляді смужок шириною 10-25 мм і довжиною не менше 150 мм. Перед дослідженнями вимірюють товщину й ширину зразків і обчислюють площу поперечного перерізу.

Методика проведення випробувань (див. “Опис, будова та порядок роботи з універсальною випробувальною машиною TIRATEST-2151”, що наведений вище).

- 1 Ввести в машину необхідні вхідні дані.
- 2 Закріпити зразок у затискувачі розривної машини, встановити швидкість деформування 1, 5, 10, 50 або 100 мм/хв (в залежності від жорсткості матеріалу).

3 Провести навантаження зразка до руйнування і записати криву деформування в координатах “навантаження - видовження”.

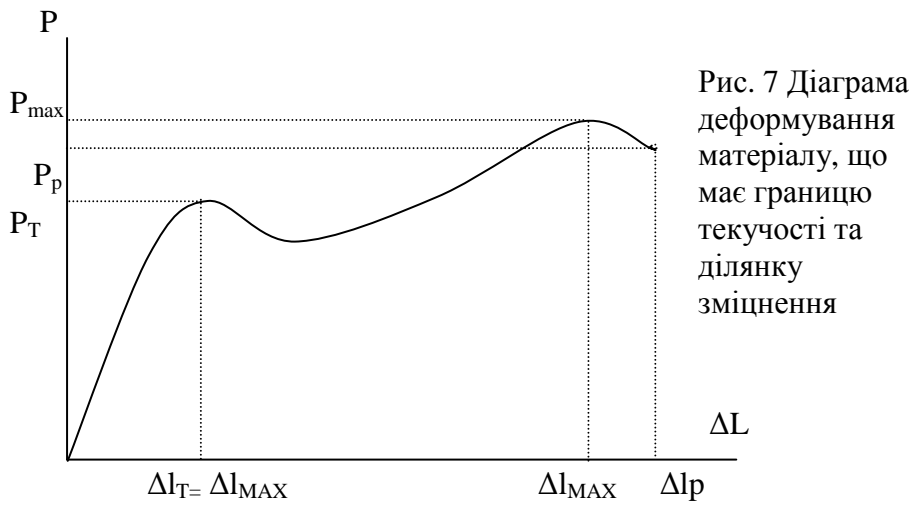


Рис. 7 Діаграма деформування матеріалу, що має границю текучості та ділянку зміцнення

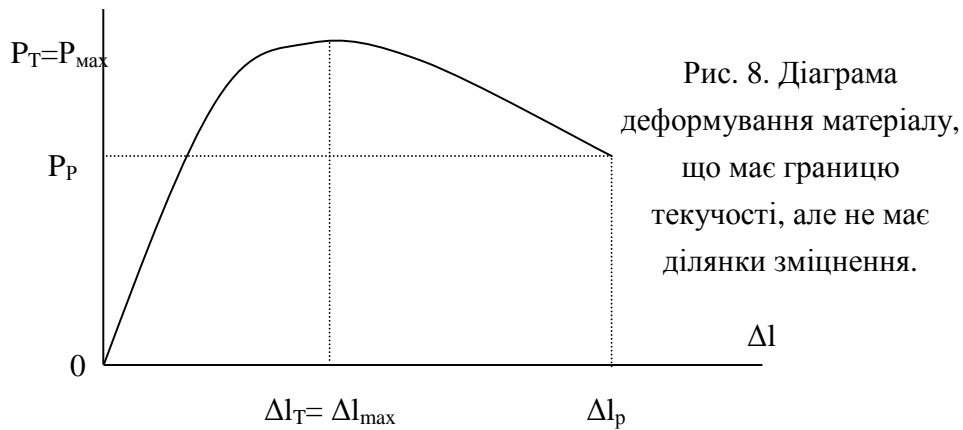


Рис. 8. Діаграма деформування матеріалу, що має границю текучості, але не має ділянки зміцнення.

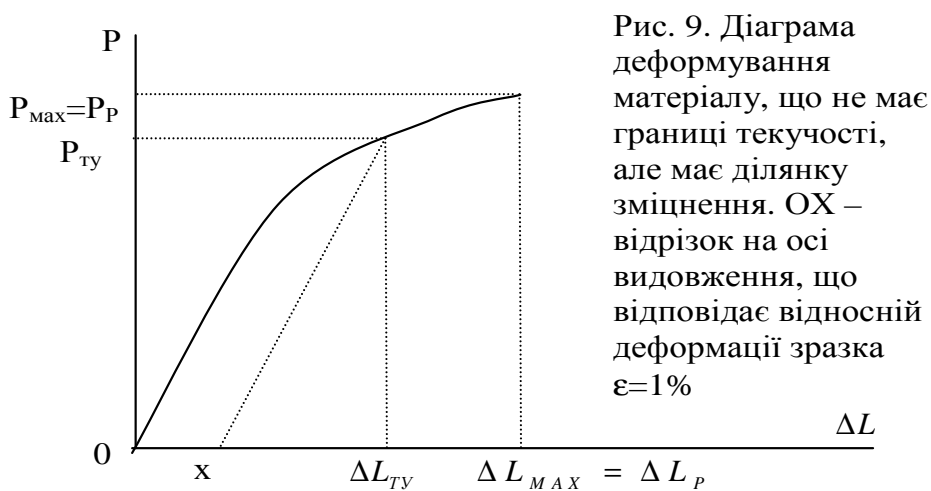


Рис. 9. Діаграма деформування матеріалу, що не має границі текучості, але має ділянку зміцнення. Ox – відрізок на осі видовження, що відповідає відносній деформації зразка $\epsilon = 1\%$

4 Провести розшифровку кривої деформування (рис. 7–9) і результати випробувань занести до таблиці 1, використовуючи не більше чотирьох значущих цифр.

Таблиця 1. Результати обробки діаграм деформування.

№ випробування	Назва матеріалу	L_0 , мм	F_0 , мм ²	P_{max} , Н	P_p , Н	P_T , Н	$P_{T.y.}$, Н
1							
2							
3							

№ випробування	Назва матеріалу	ΔL_{max} , мм	ΔL_p , мм	ΔL_T , мм	$\Delta L_{T.y.}$, мм
1					
2					
3					

В таблицю записують такі дані:

L_0 - початкова розрахункова довжина зразка;

F_0 - площа початкового поперечного перерізу зразка;

P_{max} - найбільше навантаження при випробуванні;

P_p - навантаження в момент руйнування зразка;

P_T - розтягуюче навантаження при досягненні границі текучості;

$P_{T.y.}$ - розтягуюче навантаження при досягненні умовної границі текучості (див. рис. 9);

ΔL_{max} - зміна розрахункової довжини зразка в момент досягнення максимального навантаження;

ΔL_p - зміна розрахункової довжини зразка в момент руйнування;
 ΔL_T - зміна розрахункової довжини зразка в момент досягнення точки текучості;
 $\Delta L_{T.Y.}$ - зміна розрахункової довжини зразка в момент досягнення точки умовної текучості.

Обробка результатів.

Значення напруження (σ) в МПа (Н/мм²) обчислюють за формулами:

міцність при розтягу $\sigma_{\max} = P_{\max}/F_0$;

міцність при розриві $\sigma = P_p/F_0$;

границя текучості при розтягу $\sigma_T = P_T/F_0$;

умовна границя текучості $\sigma_{T.Y.} = P_{T.Y.}/F_0$;

Значення відносних видовжень (ϵ) у відсотках обчислюють за формулами:

відносне видовження при максимальному навантаженні
 $\epsilon_{\max} = (\Delta l_{\max}/l_0)100\%$:

відносне видовження при розриві $\epsilon_p = (\Delta l_p/l_0)100\%$:

відносне видовження при границі текучості $\epsilon_T = (\Delta l_T/l_0)100\%$:

відносне видовження при умовній границі текучості $\epsilon_{T.Y.} = (\Delta l_{T.Y.}/l_0)100\%$:

Використовуючи одержану діаграму напруження – деформація, розраховують початковий модуль пружності:

$$E = \left(\frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1} \right) 100\%$$

Де σ_1 і σ_2 – напруження (МПа) в межах лінійної ділянки;

ϵ_1 і ϵ_2 – відносні деформації (%), що відповідають напруженням σ_1 і σ_2 .

Результати обчислень заносять до табл.2.

Табл. 2. Міцносні та деформаційні характеристики матеріалу при розтягу.

№ випробування	Матеріал	σ_p , МПа	σ_T , МПа	$\sigma_{T\gamma}$, МПа	ϵ_p , %	ϵ_T , %	$\epsilon_{T\gamma}$, %	E, МПа
1								
2								
3								

Статистичну обробку виконують згідно ГОСТ 14359-69 і результати заносять в табл. 3.

Табл. 3. Статистичні характеристики результатів випробувань.

Статистична характеристика	Механічні характеристики матеріалу		
	σ_p , МПа	ϵ_p , %	E, МПа
Середнє значення			
Стандартні відхилення			
Границі довірчого інтервалу			
Коефіцієнт варіації, %			
Відносна похибка, %			

Завдання:

- одержати діаграми деформування матеріалу;
- розрахувати міцність та деформаційні характеристики;
- одержати статистичні характеристики результатів вимірювань;
- порівняти одержані дослідним шляхом і довідникові характеристики досліджуваного матеріалу та пояснити можливі розбіжності між результатами.

Лабораторна робота №1.2

Випробування матеріалів при стиску

Мета роботи: одержати криві “навантаження-скорочення” при стиску зразків і визначити міцносні та деформаційні характеристики матеріалу.

Прилади та обладнання: випробувальна машина TIRATEST-2151 штангенциркуль з ціною поділки 0.05 мм.

Досліджувані матеріали: ПЕ, ПП, ПК, ПФО, пінополістірол або інші матеріали.

Зразки: прямокутні призми або прямі циліндри з висотою $h \leq i\lambda$, де i -мінімальний радіус інерції;

λ -гнучкість зразка, яка згідно з ГОСТ 4651-82 не повинна перевищувати 6.

Методика проведення випробувань.

1. Ввести в машину необхідні вхідні дані.

2. Встановити зразок між платформами випробувальної машини, встановити швидкість деформування 0.5; 1; 2.5 або 5 мм/хв (в залежності від жорсткості матеріалу).

3. Провести стиск зразка до руйнування і записати криву в координатах “навантаження-скорочення”. Якщо зразок не зруйнувався, навантаження припинити по досягненні відносної деформації зразка 25%.

4. Провести розшифровку кривої деформування і визначити:

R_{\max} -максимальне навантаження при випробуванні на стиск, Н

Δh_{\max} -скорочення зразка в момент досягнення максимального навантаження, мм.

Обробка результатів:

Значення напружень, деформацій та модулів пружності обчислити за формулами:

-міцність при стиску (МПа)

$$\sigma_c = P_{\max} / F_0 , \text{ де}$$

F_0 -початкова площа поперечного перерізу зразка, мм²;

- відносна деформація при стиску (%)

$$\varepsilon_c = (\Delta h_{\max} / h_0)100\% ,$$

де h_0 -початкова висота зразка;

- модуль пружності при стиску (МПа)

$$E_{cm} = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} ,$$

де σ_1 і σ_2 - напруження в межах лінійної ділянки;

ε_1 і ε_2 - відносні деформації, що відповідають σ_1 і σ_2 .

Результати обчислень заносять до табл.4.

Табл. 4. Міцносні та деформаційні характеристики матеріалу при стиску.

Номер випробування	Матеріал	P_{\max} , Н	σ_c , МПа	Δh_{\max} , мм	ε_c , %	E_{cm} , МПа
1						
2						
3						

Завдання:

- одержати діаграми деформування матеріалу при стиску;
- розрахувати міцносні та деформаційні характеристики;
- порівняти механічні характеристики, отримані при стиску й розтягу та пояснити різницю між результатами.

Лабораторна робота 1.3.

Випробування матеріалів при згині

Мета роботи: одержати криві “навантаження-прогин” при згині зразків; визначити міцносні та деформаційні характеристики матеріалу.

Прилади та обладнання: випробувальна машина TIRATEST-2151; пристрій для триточкового згину зразків; штангенциркуль з ціною поділки 0.05 мм;

Досліджувані матеріали: ПЕ, ПП, ПК, ПФО або інші матеріали.

Зразки: для випробувань застосовують бруски прямокутного поперечного перерізу згідно ГОСТ 4648-71:

- загальна довжина L не менше 80мм;
- ширина b – (10 ± 0.5) мм;
- товщина h – (4 ± 2) мм;

або бруски із співвідношеннями довжини і товщини $L \geq 20h$ і шириною від 10 до 25 мм;

Методика проведення випробувань.

1. Ввести в машину необхідні вхідні дані. Встановити на пристрої для триточкового згину відстань між опорами $L_V = (15 \dots 17) h$.

2. Встановити зразок на опори широкою стороною (рис. 10).

Встановити швидкість деформування. $V = \frac{L_V^2}{6h} \cdot 0.01 \text{ мм / хв.}$

3. Провести навантаження зразка до руйнування та записати криву деформування в координатах “навантаження-прогин”. Якщо зразок не руйнується, навантаження припинити при прогині $Z = (2,5 \dots 5)h$

4. Провести розшифровку діаграми деформування і визначити :

- $R_{пц}$ – навантаження, що відповідає границі пропорційності, Н;
- $R_{мах}$ – найбільше навантаження зразка, Н;

P_z - навантаження при заданому прогині, Н;

$Z_{\text{пц}}$ – прогин при навантаженні, що відповідає границі пропорційності;

Z_{max} – прогин при найбільшому навантаженні зразка, мм.

Обробка результатів. Значення напружень та модулів пружності обчислюють за формулами:

міцність при згині (МПа)

$$\sigma_{\text{зг}} = \frac{3 P_{\text{MAX}} \cdot L_v}{2 bh^2} \left(1 + \frac{4 \cdot Z_{\text{MAX}}^2}{L_v^2}\right);$$

границя пропорційності (МПа)

$$\sigma_{\text{пц}} = \frac{3 P_{\text{пц}} \cdot L_v}{2 bh^2} \left(1 + \frac{4 \cdot Z_{\text{пц}}^2}{L_v^2}\right);$$

напруження при заданому прогині (МПа)

$$\sigma_r = \frac{3 P_r \cdot L_v}{2 bh^2} \left(1 + \frac{4 \cdot Z^2}{L_v^2}\right);$$

модуль пружності при згині (МПа)

$$E_{\text{зг}} = \frac{L_v^3 (P_2 - P_1)}{4bh^3 (Z_2 - Z_1)},$$

де P_1 і P_2 – навантаження (Н) в межах лінійної ділянки діаграми деформування;

Z_1 і Z_2 – прогини, що відповідають навантаженням P_1 і P_2 .

Результати заносять до таблиці 5.

Таблиця 5. Міцносні та деформаційні характеристики матеріалу при згині.

№ випробування	Матеріал	P_{max} , Н	P_z , Н	$Z_{\text{пц}}$, мм	Z_{max} , мм	Z , мм	$\sigma_{\text{пц}}$, МПа	$\sigma_{\text{зг}}$, МПа	σ_r , МПа	$E_{\text{зг}}$, МПа
1										
2										
3										

Завдання:

- одержати діаграми деформування при згині;
- розрахувати міцносні та деформаційні характеристики;
- співставити механічні характеристики, одержані при стиску, розтягу та згині, пояснити можливу різницю між результатами.

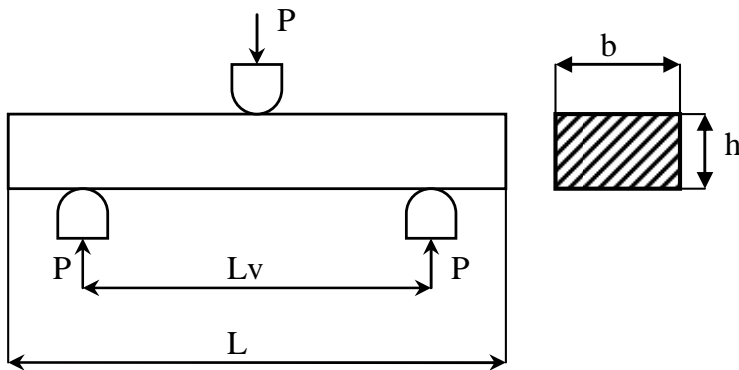


Рис. 10. Схема навантаження зразка при згині

Лабораторна робота №1.4.

Дослідження впливу структури полімера та наповнювача на міцносні та деформаційні характеристики матеріалів

Мета роботи: одержати криві “навантаження-видовження” матеріалів різних класів; визначити їх міцносні та деформаційні характеристики; оцінити вплив структури, фізичного та фазового стану, технології виготовлення, введення в матеріал стабілізуючих та інших домішок на механічні властивості полімерів.

Прилади та обладнання: аналогічні описаним у лабораторній роботі 1.1.

Досліджувані матеріали: ПЕ, ПП, ПВХ, ПС, ПФО, ПЕТФ або інші матеріали різних марок.

Зразки, методика проведення випробувань та обробка результатів: аналогічні описаним у лабораторній роботі 1.1.

Завдання:

- зіставити діаграми полімерів різних класів;
- встановити різницю між міцносними та деформаційними характеристиками кристалічних та аморфних полімерів;
- оцінити вплив наповнювача на механічні характеристики матеріалів;
- зробити висновки за одержаними результатами.

Лабораторна робота №1.5.

Дослідження впливу температури та швидкості навантаження на механічні властивості аморфних та кристалічних полімерів

Мета роботи: одержати криві “навантаження-видовження” аморфного та кристалічного полімерів при різних температурах та швидкостях навантажень; вивчити характери впливу температур і деформативність полімерів з різним ступенем кристалічності.

Прилади та обладнання: аналогічні описаним у лабораторній роботі 1.1.

Досліджувані матеріали: по одному аморфному та кристалічному матеріалу (наприклад, ПВХ, та ПЕТФ або інші матеріали).

Зразки: аналогічні описаним у лабораторній роботі 1.1.

Методика проведення випробувань:

1. Випробування за методикою лабораторної роботи №1.1 провести при температурах 20,40,60,80,100° С з фіксованою швидкістю навантаження (залежно від жорсткості полімера). Перед випробуваннями зразки термостатують у камері не менше 15 хв.

2. Випробування за тією ж методикою провести при швидкостях навантаження 0.5; 1; 5; 10; 50; 100; 250; 500 та 1000 мм/хв при кімнатній температурі.

Обробка результатів: аналогічна описаній у лабораторній роботі 1.1.

Завдання:

- побудувати залежність σ_T , σ_{max} , σ_R , ϵ_T , ϵ_{max} , E від температури та швидкості навантаження (при побудові залежностей механічних характеристик від швидкості навантаження бажано користуватися логарифмічними координатами);

- пояснити залежності міцносних та деформаційних характеристик від зазначених факторів;
- пояснити різницю між впливом температури та швидкості навантаження на експлуатаційні характеристики аморфних та кристалічних полімерів.

Лабораторна робота №1.6

Визначення пружних та міцносних характеристик ортотропних матеріалів

Мета роботи: визначити пружні константи ортотропного матеріалу і розрахувати модулі пружності, коефіцієнти Пуасона, міцність та деформації в різних напрямках по відношенню до осей пружної симетрії.

Прилади та обладнання: аналогічні описаним у лабораторній роботі 1.1.

Досліджувані матеріали: анізотропні листи або плівки (наприклад, склотекстоліт, листовий вуглепластик, орієнтовані плівки ПЕТФ або інші матеріали).

Зразки: аналогічні описаним у лабораторній роботі 1.1.

Методика проведення випробувань: зразки, вирізані у напрямі головних осей та під кутом 45° до поздовжньої осі, випробовують на розтяг з одночасним записом діаграм деформування (випробування проводять за методикою лабораторної роботи 1.1).

Обробка результатів: за діаграмами деформування визначають характеристики матеріалу у напрямку головних осей (E_0 , $\sigma_{P(0)}$, $\epsilon_{\max(0)}$, E_{90} , $\sigma_{P(90)}$, $\epsilon_{\max(90)}$) та під кутом 45° (E_{45} , $\sigma_{P(45)}$, $\epsilon_{\max(45)}$). Після цього розраховують коефіцієнти, що входять до рівнянь (1)-(5).

Завдання: побудувати кругові діаграми $E(\varphi)$, $\mu(\varphi)$, $\sigma(\varphi)$, $\sigma_P(\varphi)$, та $\epsilon_{\max}(\varphi)$, користуючись формулами (1)-(5). При розрахунках використовувати значення $\mu_{90}=0.25$.

Контрольні запитання

1. Які відомі фізичні та фазові стани полімерів? Як стан полімеру впливає на його міцність та деформаційні характеристики?
2. Який вигляд мають діаграми деформування аморфних полімерів нижче температури крихкості, в склоподібному стані, вище температури скловання?
3. У чому полягає відмінність склоподібного стану полімерів від високоеластичного?
4. Назвати складові загальної деформації полімерів у крихкому, склоподібному та високоеластичному станах.
5. У чому відмінність між пружною та вимушено-еластичною деформаціями?
6. Які фактори впливають на міцність та деформативність полімерів?
7. Як впливають температура та швидкість деформування на міцність та деформативність полімерів?
8. Які особливості деформування кристалічних полімерів?
9. Що таке тривкість полімеру та від чого вона залежить?
10. Як аналітично описуються залежності міцності полімеру від швидкості навантаження та від температури?
11. Як впливає на міцність та деформативність вимушена орієнтація макромолекул полімеру?
12. Які окремі випадки анізотропії ви знаєте? Наведіть приклади. Які анізотропні матеріали вам відомі?
13. Назвіть основні вузли машини для випробування на розтяг, тиск та згин.
14. Які вам відомі стандартні характеристики випробувань?
15. Який порядок побудови діаграм при розтягу?

16. Назвіть характерні точки діаграми деформування полімеру.
17. Як визначають статистичні характеристики результатів випробувань?
18. Яким вимогам повинні відповідати зразки при випробуваннях на стиск?
19. Як розраховують механічні характеристики матеріалу при випробуваннях на згин?
20. Які особливості випробувань анізотропних матеріалів?

Список літератури

1. Нарисава И. Прочность полимерных материалов.- М.: Химия, 1987.-400
2. Композиционные материалы: Справ./ Под ред. В.В. Васильева, Ю.М. Тарнапольского.- М.: Машиностроение, 1990.- 512с.
3. Испытательная техника: Справ.В 2 – х кн./Под ред.В.В. Клюева.-М.: Машиностроение, 1982-528с.
4. Кравчук А.С., Майборода В.П, Уржумцев Ю.С. Механика полимерных и композиционных материалов. Экспериментальные и численные методы. – М.:Наука, 1985. – 303с.
5. Гуль В.Е. Структура и прочность полимеров.- М.: Химия, 1971.- 344 с.
6. Кулезнев В.Н., Шерешнев В.А. Химия и физика полимеров. – М.: Высш. шк., 1988. – 304 с.
7. Практикум по химии и физике полимеров/ Под ред. В.Ф. Куренкова. – М.: Химия, 1990.—304 с.
8. Ашкенази Е.К. Ганов Э.В. Анизотропия конструкционных материалов. – Л.: Машиностроение, 1980 – 247 с.
9. Рысюк Б.Д., Носов М.П. Механическая анизотропия полимеров. – К.: Наук. думка, 1978. – 232с.

Зміст

Загальні положення.....	3
Основні відомості про міцність і деформування полімерних та композиційних матеріалів при короткочасному навантаженні.....	5
Опис, будова та порядок роботи з універсальною випробувальною машиною TIRATEST-2151.....	13
Лабораторна робота №1.1.Випробування матеріалів на розтяг. Побудова та обробка діаграм деформування. Статистична обробка результатів випробування.....	21
Лабораторна робота №1.2 Випробування матеріалів при стиску.....	26
Лабораторна робота 1.3.Випробування матеріалів при згині.....	28
Лабораторна робота №1.4 Дослідження впливу структури полімера та наповнювача на міцносні та деформаційні характеристики матеріалів.....	31
Лабораторна робота №1.5.Дослідження впливу температури та швидкості навантаження на механічні властивості аморфних та кристалічних полімерів.....	32
Лабораторна робота №1.6.Визначення пружних та міцносних характеристик ортотропних матеріалів.....	33
Контрольні запитання.....	34
Список літератури.....	35

Навчальне видання

Практикум з лабораторних робіт
з дисципліни «Нові матеріали»

Частина 1

«Міцність і деформування полімерних та композиційних
матеріалів при короткочасному навантаженні»

Для студентів спеціальності
«Динаміка та міцність машин»

Укладачі Шидловський Микола Сергійович
 Шпак Дмитро Юхимович