

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

Методичні вказівки

**до виконання лабораторних робіт з дисципліни
«Нові матеріали» для студентів спеціальності «Динаміка і
міцність машин».**

**Частина 3 «Динамічні властивості конструкційних
пластмас та композиційних матеріалів»**

Київ, НТУУ «КПІ», 2016 р.

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

Методичні вказівки

до виконання лабораторних робіт з дисципліни
«Нові матеріали» для студентів спеціальності «Динаміка і
міцність машин».

Частина 3 «Динамічні властивості конструкційних пластмас
та композиційних матеріалів»

Для студентів напряму підготовки 131 «Прикладна механіка»

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Нові матеріали» для студентів спеціальності «Динаміка і міцність машин» – Частина 3 «Динамічні властивості конструкційних пластмас та композиційних матеріалів». Для студентів напрямку підготовки 6.050501 "Прикладна механіка" // Шидловський М.С., Бабенко А.Є., Боронко О.О., Трубачев С.І. – К.: НТУУ "КПІ", 2016. – 41 с.

Ухвалено
на засіданні Вченої Ради
ММІ НТУУ "КПІ".
Протокол № 10 від 30.05. 2016 р.

Навчальне електронне видання

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Нові матеріали» для студентів спеціальності «Динаміка і міцність машин».

Частина 3 «Динамічні властивості конструкційних пластмас та композиційних матеріалів».

Для студентів напрямку підготовки 131 «Прикладна механіка»

Укладачі:

М.С. Шидловський
А.Є. Бабенко
О.О. Боронко
С.І. Трубачев

Відповідальний редактор

М.І. Бобир

Рецензент

О.Ф.Луговский

	стор.
Зміст	3
1 Основні відомості про властивості матеріалів при динамічних навантаженнях в робочих діапазонах температур	4
2 Опис, будова та порядок роботи з обладнанням для вимірювання динамічних характеристик матеріалів	6
2.1. Електродинамічний вібраційний стенд ВЕДС-10 для утворення синусоїдальних коливань	6
2.2. Установка для досліджень впливу температури на динамічні властивості пластмас.	9
2.3. Техніка безпеки при роботі з випробувальним обладнанням	11
3 Лабораторні роботи	13
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3.1. Виготовлення дослідних зразків, визначення геометричних характеристик зразків та густини матеріалу	13
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3.2. Визначення динамічного модуля пружності при поперечних коливаннях	15
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3.3. Визначення характеристик розсіювання енергії при поперечних коливаннях	17
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3.4. Визначення динамічних характеристик різних класів конструкційних пластмас	20
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3.5. Вивчення впливу структури та умов зберігання на динамічні характеристики пластмас	22
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3.6. Визначення динамічних характеристик композиційних анізотропних матеріалів	24
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3.7. Вивчення впливу температури на динамічні характеристики пластмас	28
4 Приклади протоколів випробувань	30

1. ОСНОВНІ ВІДОМОСТІ ПРО ВЛАСТИВОСТІ МАТЕРІАЛІВ ПРИ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕННЯХ В РОБОЧИХ ДІАПАЗОНАХ ТЕМПЕРАТУР

Застосування статичних методів визначення пружних та в'язких характеристик не металевих матеріалів (конструкційних полімерів, пластмас, композиційних матеріалів з полімерною матрицею) приводить, як правило, до занижених значень, оскільки навіть при незначних навантаженнях в зазначених матеріалах розвиваються високо еластичні деформації з одночасним розвитком релаксаційних процесів.

Точність динамічних методів звичайно вище, ніж статичних, так як вимірюється частота коливань або швидкість звуку у зразку, а не малі переміщення та зусилля. У зв'язку з цим у механіці полімерних матеріалів важливе значення мають динамічні методи вивчення пружно-в'язких властивостей матеріалів у широкому інтервалі температур середовища та частот коливань.

Серед механічних характеристик пластмас, які визначають придатність їх використання в різних умовах, важливе значення має демпфуючу спроможність (здатність матеріалу поглинати енергію при циклічному деформуванні). Знання декрементів коливань дає змогу розраховувати динамічні характеристики елементів конструкцій, які в процесі експлуатації потрапляють у резонанс, або зазнають значну вібрацію.

Розсіювання енергії в циклічно деформованому матеріалі залежить від амплітуди напруження, частоти циклічної деформації, форми коливань, розмірів зразка та температури. Побічні фактори, що впливають на демпфуючу спроможність – це втрати енергії в затискувачах та тертя об'єкту о зовнішнє середовище.

Методи визначення характеристик розсіювання енергії в матеріалі при його циклічному деформуванні засновані на безпосередньому вимірюванні енергії, що розсіюється в зразку (прямі методи), або на одержанні відносних характеристик її розсіювання (опосередковані методи). З прямих методів широко розповсюджені енергетичний, термічний та метод гістерезисної петлі, опосере-

дкованих – метод вимірювання резонансної частоти, фазовий метод та метод згасаючих коливань.

На практиці у якості характеристики демпфуючих властивостей матеріалу звичайно використовується логарифмічний декремент коливань (δ), що визначається різними методами. Апаратура для визначення декременту коливань придатна і для одночасного знаходження динамічного модуля пружності.

Широко розповсюджені резонансні методи, що дозволяють одержувати частотні залежності динамічного модуля пружності E_1 , модуля втрат E_2 , а також коефіцієнта в'язкості η .

При низьких частотах ($10 \dots 10^2$ Гц) для визначення логарифмічного декременту коливань використовують резонансний метод збудження поздовжніх коливань зразка з додатковою масою. За резонансною частотою поздовжніх коливань визначають модуль пружності, а за віброграмою згасання амплітуд коливань – логарифмічний декремент.

Слід відмітити, що визначення логарифмічного декременту за віброграмою вільних згасаючих коливань достатньо трудомісткий. Застосування сучасних електронних засобів (цифрові фото – та відеокамери, персональні комп'ютери) дозволяють значно спростити його та скоротити час обробки інформації, що одержується.

В діапазоні частот $10 \dots 500$ Гц гарні результати дає метод вимушених коливань стрижня, коли зразок у вигляді консолі піддається коливанням, що збуджуються через затискувач. Вимірювання амплітуди вільного кінця консолі при плавної зміні частоти збудження дає можливість встановити резонансну частоту та ширину резонансної кривої, а за цими даними визначити в'язко-пружні характеристики матеріалу. Цей спосіб пропонується у даному циклі лабораторних робіт.

2. ОПИС, БУДОВА ТА ПОРЯДОК РОБОТИ З ОБЛАДНАННЯМ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРІАЛІВ

2.1. ЕЛЕКТРОДИНАМІЧНИЙ ВІБРАЦІЙНИЙ СТЕНД ВЕДС-10 ДЛЯ УТВОРЕННЯ СИНОЇДАЛЬНИХ КОЛИВАНЬ

Метод вимушених поперечних коливань стержня реалізований при створенні однієї з установок для дослідження динамічних характеристик полімерних і композиційних матеріалів.

Установка (рис. 2.1) складається з вібратору 1 на основі електродинамічного стенду ВЄДС-10 і периферійної апаратури. На котушки вібратору через блок підсилення 10 с генератору синусоїдальних коливань 11 подається змінна напруга, частота якої вимірюється частотоміром 13. Підмагнічення нерухомої частини вібратору здійснюється блоком 12. Амплітуду прискорення коливань стола 2 вібратора 1 вимірювали датчиком 6 і блоком 9.

До столу 2 жорстко прикріплений стержень 3 і затискувач 4. Зразок 5 жорстко закріплений в затискувачі 4. До кінця зразка прикріплений з'ємний додатковий вантаж 7. Вимірювання амплітуди коливань зразка здійснюють катетометром В-630 (вимірювач 8).

Технічні характеристики установки:

- діапазон частот від 4 Гц до 40 кГц;
- максимальне прискорення 10g;
- точність вимірювання амплітуди коливань ± 0.01 мм.

Зразки для випробувань мають вигляд брусків прямокутного поперечного перерізу товщиною h , шириною b та загальною довжиною L .

Масу зразків m вимірюють за допомогою аналітичних ваг АДВ-200М с точністю ± 0.1 мг. Густина матеріалу визначають за формулою

$$\rho = m / (h \cdot b \cdot L) \quad (2.1)$$

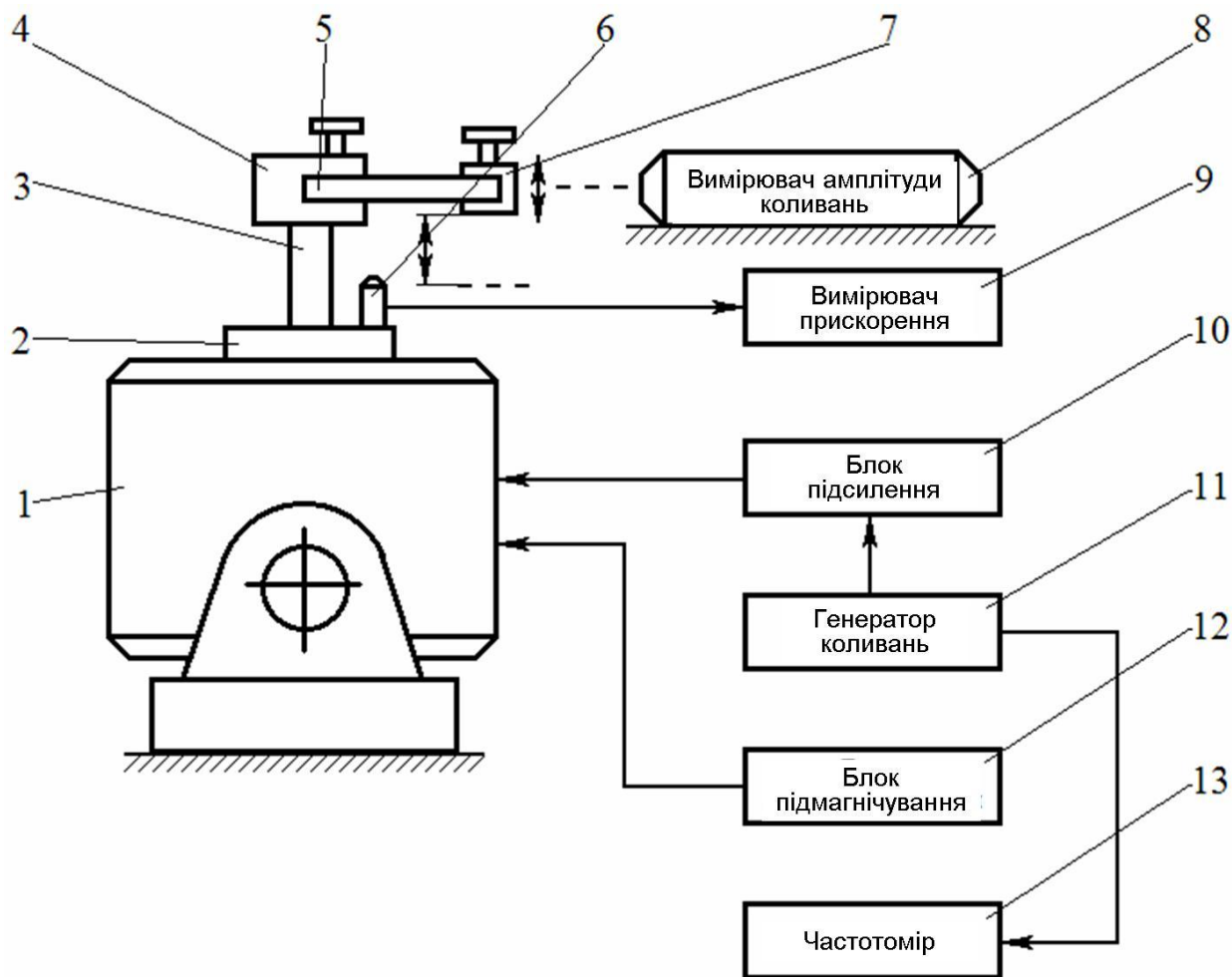


Рис. 2.1 – Електромеханічна схема установки для дослідження динамічних характеристик матеріалів при згинальних коливаннях.

- 1 - електродинамічний стенд ВЄДС-10; 2 - стіл вібратора;**
3 - стержень вібратора; 4 - затискувач для зразка;
5 - досліджуваний зразок; 6 - п'єзокерамічний датчик;
7 - знімний додатковий вантаж; 8 - оптична система катетометра В-630;
9 - блок вимірювання вібрацій; 10 - блок посилення;
11 - блок генератора синусоїдальних коливань; 12 - блок підмагнічування;
13 - електронний частотомір

Розглянемо методику випробувань та розрахунків динамічних характеристик при відсутності додаткового вантажу 7.

Повільно змінюючи частоту генератора 11, домагаються максимальної амплітуди коливань a_{\max} зразка, якої відповідає резонансне значення частоти ν_r (рис.2.2).

Після цього встановлюють частоту ν_1 або ν_2 , при якій амплітуда зменшується до $1/\sqrt{2}$ резонансного значення. Таким чином, ширина частотної смужки

дорівнює $\Delta v = 2 \cdot (v_r - v_1)$ або $\Delta v = 2 \cdot (v_r - v_2)$. Потім визначають динамічний модуль пружності E_1 , модуль втрат E_2 , коефіцієнт динамічної в'язкості матеріалу η и тангенс кута механічних втрат $\text{tg } \delta$.

Враховуючи, що зразки мають прямокутний поперечний переріз та відношення ширини до довжини не $1/10$ (при цьому не порушується справедливність хвильового рівняння), формули для визначення E_1 , E_2 та η мають вигляд:

$$E_1 = 38.3 \cdot \frac{\rho \cdot \ell^4}{h^2} \cdot [v_r^2 + 0.125(\Delta v)^2] \cdot 10^{-9}. \quad (2.2)$$

$$E_2 = 38.3 \cdot \frac{\rho \cdot \ell^4}{h^2} \cdot v_r \cdot \Delta v \cdot 10^{-9}. \quad (2.3)$$

$$\eta = \frac{E_2}{2\pi v_r} \quad (2.4)$$

$$\text{tg } \delta = \frac{E_2}{E_1} \cdot 100\% \quad (2.5)$$

де ℓ – робоча довжина зразка (відстань від місця закріплення до вільного торця зразка).

В вищенаведених формулах величини мають наступні розмірності: E_1, E_2 [МПа]; ρ [г/см³]; $v_r, \Delta v, v_1, v_2$ [Гц]; h, ℓ [мм].

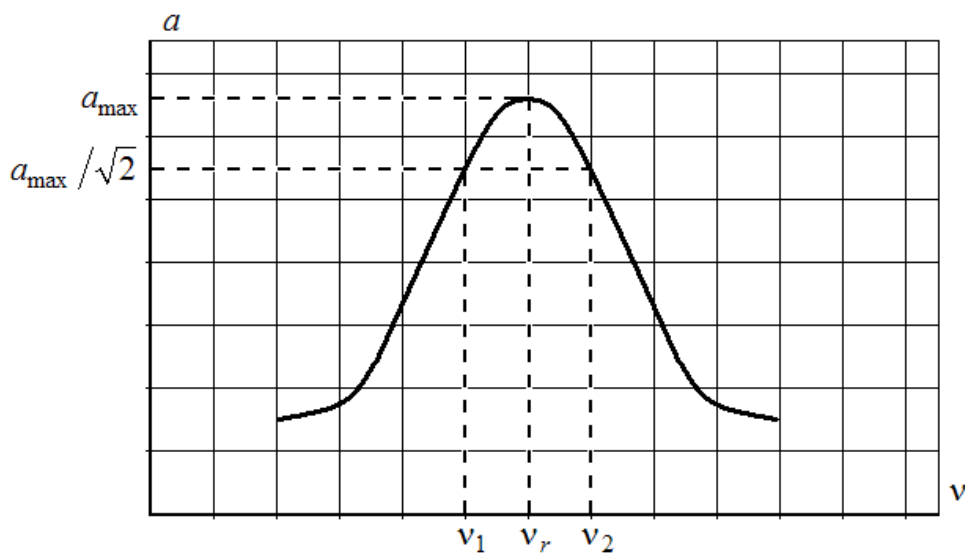


Рис. 2.2 – Резонансна крива, побудована в координатах a (амплітуда) – v (частота)

2.2. УСТАНОВКА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ВПЛИВУ ТЕМПЕРАТУРИ НА ДИНАМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПЛАСТМАС

Електромеханічна схема стенда для дослідження динамічних характеристик матеріалів при поперечних коливаннях консольно закріплених зразків зображена на фото 1 та рис. 2.3. Стенд дозволяє проводити випробування у діапазоні температур від 20 до 100 °С.



Фото 1. Загальний вигляд установки для дослідження впливу температури на динамічні властивості пластмас

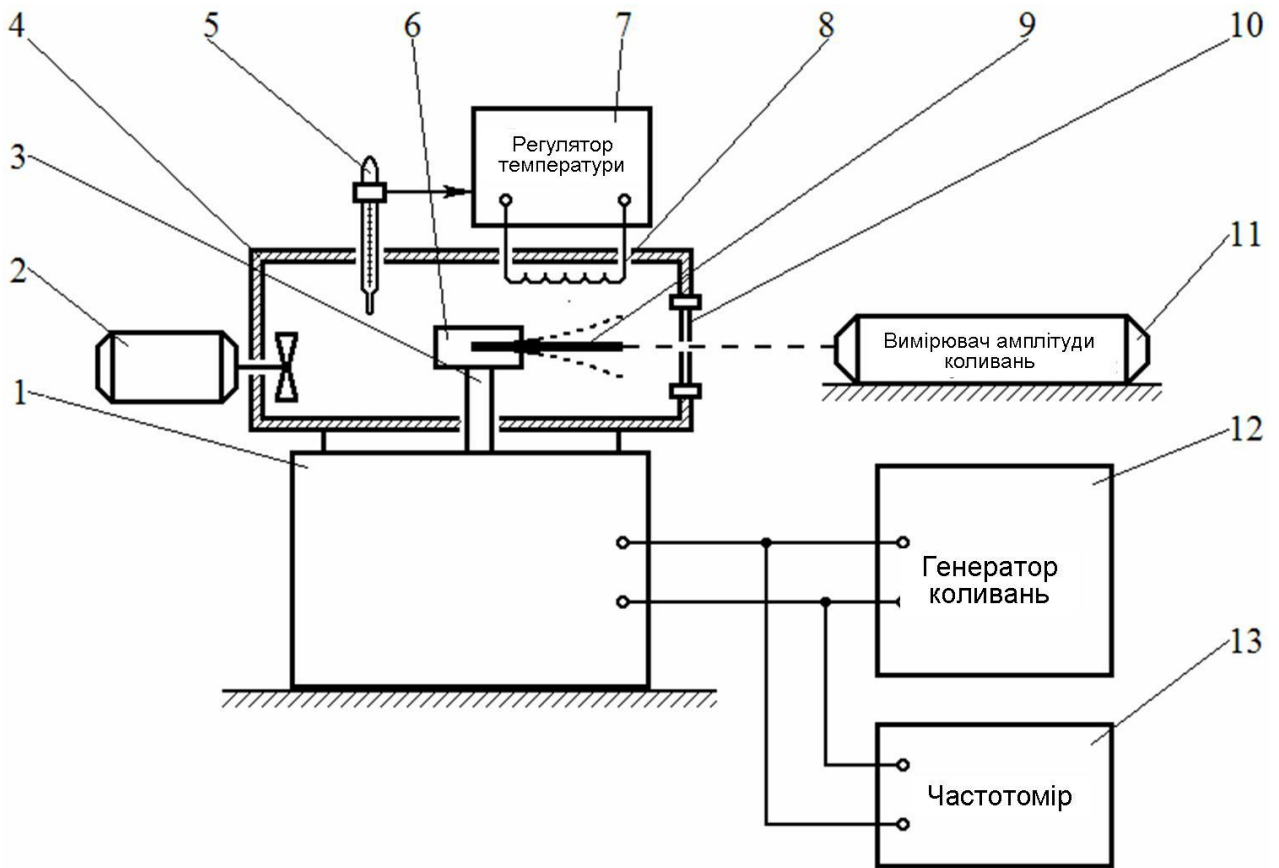


Рис. 2.3. Електромеханічна схема установки для дослідження динамічних характеристик матеріалів при різних температурах:

1 – електромагнітний вібратор; 2 – система перемішування повітря; 3 – стрижень вібратора; 4 – термокамера; 5 – контактний термометр; 6 – рухомий затискувач; 7 – блок живлення нагрівача; 8 – нагрівальна спіраль; 9 – зразок; 10 – оглядове вікно; 11 – оптична система катетометру В-630; 12 – генератор коливань; 13 – електронний частотомір

Установка складається з електромагнітного вібратора 1, коливання якого збуджують сигналом з генератора змінного напруження 12. Вимірювання частоти сигналу з генератора проводиться електронним частотоміром 13.

До вібратора прикріплений стрижень 3 та затискувач 6. Зразок 9 жорстко закріплений у затискувачі 6. Вимірювання амплітуди коливань зразка проводиться катетометром 11 через оглядове вікно 10.

Рухомий затискувач 6 зі зразком 9 поміщені в термокамеру 4 (фото 2). Як нагрівач 9 використаний керамічний резистор потужністю 10 Вт. Вентилятор 2 призначений для перемішування повітря у камері. Необхідну температуру підтримують за допомогою електроконтактного термометра 5 та блока автоматич-

ного підтримання температури 7.



Фото 2. Температурна камера для проведення випробувань при підвищених та знижених температурах.

За необхідністю проводити експеримент при знижених температурах використовується суміш сухого льоду та етилового спирту, яка поміщається на дно камери.

Методика випробувань та розрахункові формули повністю збігаються з наведеними у попередньому розділі.

2.3. ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПРИ РОБОТІ З ВИПРОБУВАЛЬНИМ ОБЛАДНАННЯМ

1. При проведенні лабораторних робіт:

- усі студенти знаходяться на місцях, визначених викладачем, і самостійну роботу виконують тільки під його наглядом;
- усі студенти дотримуються загальноприйнятих правил електробезпеки.

2. У лабораторії **ЗАБОРОНЯЄТЬСЯ:**

- перебувати у верхньому одязі, розвішувати одяг або класти речі на лабораторне обладнання;
- без дозволу викладача вмикати або вимикати випробувальні установки;
- працювати на установках при відкритих кришках та дверцятах установок;
- торкатися до рухомих частин випробувальних машин, затискувачів та об'єктів випробувань під час роботи установок;
- навантажувати установки вище максимально допустимих значень навантаження.

3. При випробуванні зразків з крихких матеріалів необхідно встановлювати захисні екрани, які виключають травмування осколками зразків при руйнуванні.

Лабораторна робота № 3.1

Виготовлення дослідних зразків, визначення геометричних характеристик зразків та густини матеріалу

Мета роботи:

- навчитися виготовлювати зразки для проведення дослідів;
- навчитися вимірювати геометричні характеристики та густину матеріалів.

Прилади та обладнання:

1. інструмент для виготовлення зразків;
2. штангенциркуль ціною поділки 0.05 мм;
3. мікрометр з ціною поділки 0.01 мм;
4. аналітичні ваги АДВ-200М з точністю зважування ± 0.0001 г.

Досліджувані матеріали:

- конструкційні пластмаси різних класів та марок;
- композиційні матеріали з різними типами наповнювачів;
- технічні гуми.

Зразки (тип та розміри):

- бруски прямокутного поперечного перерізу типу 3 за ГОСТ 11262-80 з шириною не більше 10 мм (рис. 3.1);
- смужки, вирізані з листових матеріалів за ГОСТ 14236-81.

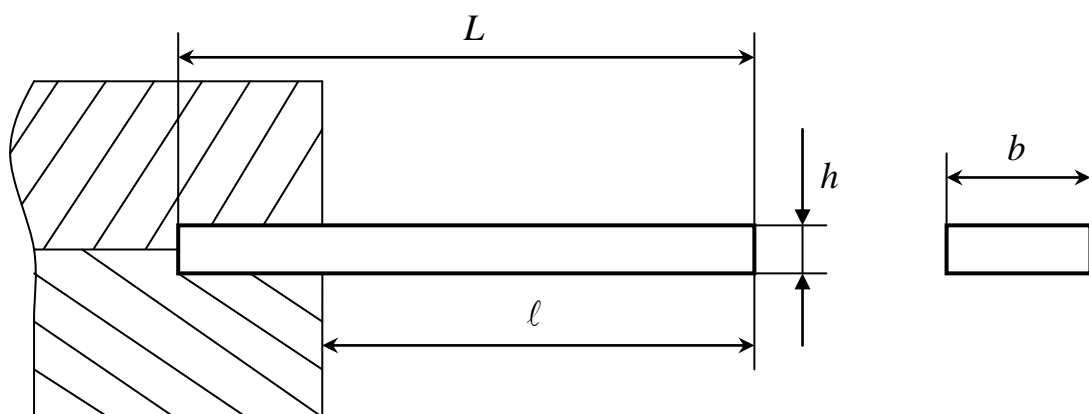


Рис. 3.1. Геометричні характеристики зразка

Примітка: робочу довжину зразка (відстань від торця до затискувача) вимірюємо при проведенні випробувань у наступних лабораторних роботах.

Методика проведення випробувань:

- виготовляємо зразки з паралельними сторонами за ГОСТ 12019-66, ГОСТ 26277-84, ГОСТ 12015-66 або згідно вказівок викладача;
- вимірюємо загальні розміри зразків за ГОСТ 17035-86 за допомогою штангенциркуля (загальна довжина) та мікрометра (розміри поперечних перерізів);
- вимірюємо масу зразків за допомогою ваг АДВ-200М.

Таблиця. 3.1 Розміри та маса зразків і густина матеріалу.

№ зразка	Назва матеріалу	L, мм	b, мм	h, мм	V, мм ³	m, г	ρ, г/см ³
1							
2							
3							
Середнє значення							

В таблиці записані такі дані:

L – загальна довжина зразка, мм;

b – ширина зразка, мм;

h – товщина (ширина зразка), мм;

Розраховані характеристики зразків та матеріалу:

$V = L \cdot b \cdot h$ – об'єм зразка, мм³;

m – маса зразка, г;

$\rho = (m / V) \cdot 10^3$ – густина матеріалу, г/см³.

Стислі відомості про випробувані матеріали (клас, фазовий та фізичний стан, галузі застосування, методи отримання та режим обробки):

Додаткові дані про випробувані матеріали (з довідників):

Висновки по роботі:

Випробування виконані _____ 201__ р.

Лабораторна робота № 3.2

Визначення динамічного модуля пружності при поперечних коливаннях

Мета роботи:

- навчитися користуватися обладнанням для вимірювання динамічного модуля пружності матеріалів;
- визначити модулі пружності матеріалів при коливаннях.

Прилади та обладнання:

1. електродинамічний вібраційний стенд ВЕДС-10 для синусоїдальних коливань (описаний в розділі 2.2);
2. частотомір ЧЗ-33;
3. генератор синусоїдальних коливань ГЗ-18;
4. катетометр В-630.

Досліджувані матеріали:

- конструкційна пластмаса за вибором керівника робіт.

Зразки (тип та розміри):

- застосовуються зразки, що підготовлені в лабораторній роботі 3.1.

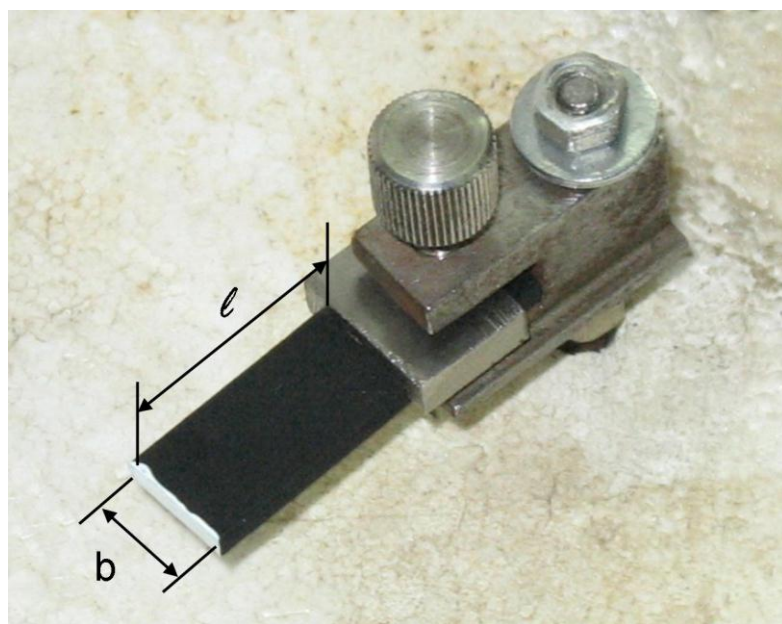


Фото 3. Закріплення зразка в затискувачах установки

Методика проведення випробувань:

- визначаємо густину зразка ρ (г/см³) згідно лабораторної роботи 3.1;
- закріплюємо зразок у затискувач вібратора і встановлюємо резонансну частоту ν_r (по максимуму амплітуди коливань), яку вимірюємо частотоміром або за шкалою генератора ГЗ-18;
- динамічний модуль пружності (МПа) розраховуємо за формулою

$$E_1 = 38.3 \frac{\rho l^4}{h^4} \left[\nu_r^2 + \frac{1}{8} (\Delta \nu_r)^2 \right] \cdot 10^{-9},$$

Таблиця. 3.2 Результати визначення динамічного модуля пружності матеріалу

№ зразка	Назва матеріалу	l, мм	h, мм	ρ , г/см ³	ν_r , Гц	E_1 , МПа
1						
2						
3						
Середнє значення						

В таблиці записані такі дані:

l – робоча довжина зразка, мм;

h – товщина (ширина зразка), мм;

ρ – густина матеріалу (дані лабораторної роботи 3.1)

Розраховані характеристики зразків та матеріалу:

E_1 – динамічний модуль пружності.

Додаткові дані про випробувані матеріали (значення статичних та динамічних модулів пружності):

Висновки по роботі:

Випробування виконані _____ 201__ р.

Лабораторна робота № 3.3

Визначення характеристик розсіювання енергії при поперечних коливаннях

Мета роботи:

- навчитися користуватися обладнанням для вимірювання характеристик розсіювання енергії при коливаннях;
- визначити характеристики розсіювання енергії матеріалу.

Прилади та обладнання:

аналогічно описаному в лабораторній роботі 3.2.

Досліджувані матеріали:

- конструкційна пластмаса за рекомендацією керівника робіт.

Зразки (тип та розміри):

- застосовуються зразки, що підготовлені в лабораторній роботі 3.1.

Методика проведення випробувань:

- визначаємо густину зразка ρ , г/см³ згідно лабораторної роботи 3.1;
- закріплюємо зразок у затискувачі вібратора і встановлюємо резонансну частоту ν_r (по максимуму амплітуди коливань), яку вимірюємо частотоміром. При використанні частотоміра ЧЗ-33 зручніше (для скорочення часу вимірювань) визначати період коливань T . У цьому випадку частота коливань дорівнює величині, що є зворотною до періоду коливань. Звертаємо увагу, що період коливань вимірюється у мілісекундах;
- вимірюємо ширину резонансної кривої $\Delta\nu_r$, зменшуючи амплітуду коливань приблизно на 30% від максимальної амплітуди по обидві сторони від резонансу (рис.3.3);

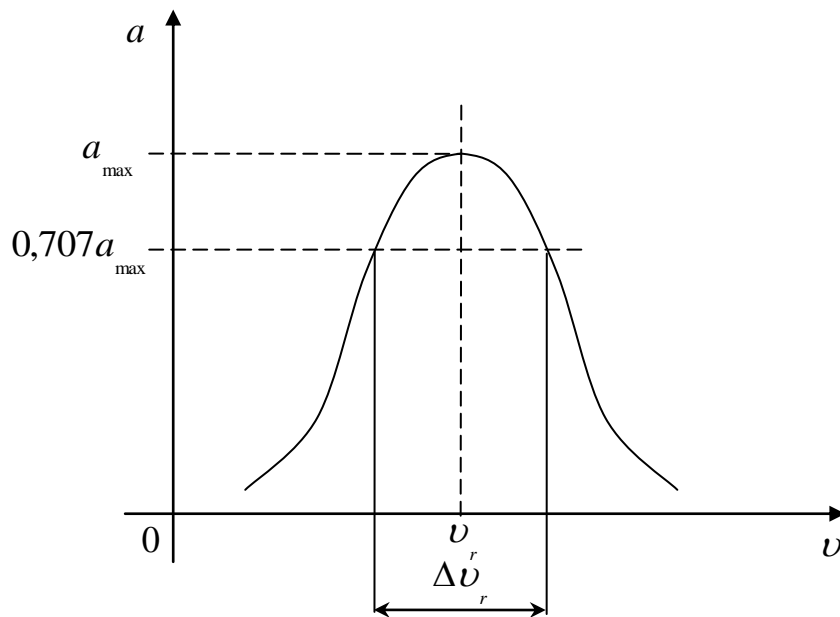


Рис. 3.3. Резонансна крива поперечних коливань зразка полімерного матеріалу.

– розраховуємо характеристики розсіювання енергії:

модуль втрат або модуль розсіювання (МПа)

$$E_2 = 38,3 \frac{\rho \cdot \ell^4}{h^2} \cdot \nu_r \cdot \Delta \nu_r \cdot 10^{-9}, \text{ МПа};$$

коефіцієнт динамічної в'язкості (МПа·с)

$$\eta = \frac{E_1}{2\pi\nu_r}, \text{ МПа} \cdot \text{с};$$

тангенс кута механічних втрат (%)

$$\text{tg } \delta = \frac{E_2}{E_1} \cdot 100\%;$$

– результати вимірювань заносимо до табл. 3.3а, б.

Таблиця. 3.3а Результати вимірювань

№ зразка	Назва матеріалу	l, мм	h, мм	ρ, г/см ³	ν _г , Гц	Δν _г , Гц
1						
2						
3						

Таблиця. 3.3б Результати розрахунку характеристик розсіювання матеріалу при коливаннях

№ зразка	Назва матеріалу	E_1 , МПа	E_2 , МПа	η , г/см ³	$\text{tg}\delta$, %
1					
2					
3					
Середні значення					

В таблиці записані такі дані:

l – робоча довжина зразка, мм;

h – товщина (ширина зразка), мм;

ρ – густина матеріалу (дані лабораторної роботи 3.1)

Розраховані характеристики зразків та матеріалу:

E_1 – динамічний модуль пружності (дані лабораторної роботи 3.2)

E_2 – динамічний модуль втрат (модуль розсіювання);

η – коефіцієнт динамічної в'язкості;

$\text{tg}\delta$ – тангенс кута механічних втрат.

Додаткові дані про випробувані матеріали (значення характеристик розсіювання енергії):

Висновки по роботі:

Випробування виконані _____ 201__ р.

Лабораторна робота № 3.4

Визначення динамічних характеристик різних класів конструкційних пластмас

Мета роботи:

– визначити динамічні характеристики різних класів конструкційних пластмас.

Прилади та обладнання:

аналогічно описаному в лабораторній роботі 3.2.

Досліджувані матеріали:

– конструкційні пластмаси різних класів та марок за рекомендацією керівника робіт;

– композиційні матеріали з різними типами наповнювачів за рекомендацією керівника робіт;

– технічні гуми за рекомендацією керівника робіт.

Зразки (тип та розміри):

– застосовуються зразки, що описані в лабораторній роботі 3.1.

Методика проведення випробувань:

– проводимо випробування згідно лабораторних робіт 3.1-3.3;

– результати вимірювань заносимо до табл. 3.4а, б.

Таблиця. 3.4а Результати вимірювання характеристик

№ зразка	Назва матеріалу	l, мм	h, мм	ρ , г/см ³	$\nu_{г}$, Гц	$\Delta\nu_{г}$, Гц
1						
2						
3						

Таблиця. 3.4б Результати розрахунку характеристик розсіювання матеріалу при коливаннях

№ зразка	Назва матеріалу	E_1 , МПа	E_2 , МПа	η , г/см ³	$\text{tg}\delta$, %
1					
2					
3					

В таблиці записані такі дані:

l – робоча довжина зразка, мм;

h – товщина (ширина зразка), мм;

ρ – густина матеріалу (дані лабораторної роботи 3.1)

Розраховані характеристики зразків та матеріалу:

E_1 – динамічний модуль пружності;

E_2 – динамічний модуль втрат (модуль розсіювання);

η – коефіцієнт динамічної в'язкості;

$\text{tg}\delta$ – тангенс кута механічних втрат.

Додаткові дані про випробувані матеріали (значення характеристик розсіювання енергії):

Висновки по роботі:

Випробування виконані _____ 201__ р.

Лабораторна робота № 3.5

Вивчення впливу структури та умов зберігання на динамічні характеристики пластмас

Мета роботи:

– вивчити вплив структури та умов зберігання на динамічні характеристики пластмас.

Прилади та обладнання:

аналогічно описаному в лабораторній роботі 3.2.

Досліджувані матеріали:

– конструкційні пластмаси з різними структурами (пластмаса одного класу, виготовлена за різними технологіями або зі штучно зміненою структурою за рахунок наповнювача), за рекомендацією керівника робіт;

– конструкційні пластмаси, піддані старінню за рахунок довготривалої дії підвищеної температури, агресивного середовища або інших експлуатаційних умов, за рекомендацією керівника робіт.

Зразки (тип та розміри):

– застосовуються зразки, що описані в лабораторній роботі 3.1.

Методика проведення випробувань:

– проводимо випробування згідно лабораторних робіт 3.1-3.3;

– результати вимірювань заносимо до табл. 3.5а, б.

Таблиця. 3.5а Результати вимірювання характеристик

№ зразка	Структура матеріалу	l, мм	h, мм	ρ , г/см ³	$\nu_{г}$, Гц	$\Delta\nu_{г}$, Гц
1						
2						
3						

Таблиця. 3.5б Результати розрахунку характеристик розсіювання матеріалу при коливаннях

№ зразка	Структура матеріалу	E_1 , МПа	E_2 , МПа	η , г/см ³	$\text{tg}\delta$, %
1					
2					
3					

В таблиці записані такі дані:

l – робоча довжина зразка, мм;

h – товщина (ширина зразка), мм;

ρ – густина матеріалу (дані лабораторної роботи 3.1)

Розраховані характеристики зразків та матеріалу:

E_1 – динамічний модуль пружності;

E_2 – динамічний модуль втрат (модуль розсіювання);

η – коефіцієнт динамічної в'язкості;

$\text{tg}\delta$ – тангенс кута механічних втрат.

Додаткові дані про випробувані матеріали (значення характеристик розсіювання енергії):

Висновки по роботі:

Випробування виконані _____ 201__ р.

Лабораторна робота № 3.6

Визначення динамічних характеристик композиційних анізотропних матеріалів

Мета роботи:

– вивчити динамічних характеристик композиційних анізотропних матеріалів.

Прилади та обладнання:

аналогічно описаному в лабораторній роботі 3.2.

Досліджувані матеріали:

– анізотропний матеріал (склопластик, вуглепластик, орієнтований полімерний листовий або плівковий матеріал) за рекомендацією керівника робіт.

Зразки (тип та розміри):

– зразки анізотропного матеріалу, вирізані у напрямках головних осей та під кутом 45° до поздовжньої осі (до напрямку армування).

Методика проведення випробувань:

– проводимо випробування згідно лабораторних робіт 3.1-3.2;

– результати вимірювань заносимо до табл. 3.6а.

В таблиці записані такі дані:

l – робоча довжина зразка, мм;

h – товщина (ширина зразка), мм;

ρ – густина матеріалу (метод лабораторної роботи 3.1)

За результатами випробувань визначено характеристики

- у напрямку головних осей (E_0 , E_{90});

- під кутом 45° до головних осей (E_{45}):

$E_0 =$ _____ МПа; $E_{90} =$ _____ МПа; $E_{45} =$ _____ МПа;

Таблиця. 3.6а. Результати вимірювання характеристик

№ зразка	Назва матеріалу	Кут на- прямку	l, мм	h, мм	ρ, г/см ³	ν _Г , Гц
1		0°				
2						
3						
1		45°				
2						
3						
1		90°				
2						
3						

Розраховуємо коефіцієнти, що входять в рівняння

$$E(\varphi) = \frac{\lambda \cdot E_0}{\lambda \cdot \cos^4 \varphi + 2B \cdot \cos^2 \varphi \cdot \sin^2 \varphi + \sin^4 \varphi}, \quad (3.6a)$$

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

$$G(\varphi) = \frac{G_0}{1 - (1 - C) \cdot \sin^2 2\varphi}, \quad (3.6б)$$

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

$$\mu(\varphi) = \frac{\mu_{90} - \frac{1}{4}(1 + \lambda - 2B) \cdot \sin^2 2\varphi}{\lambda \cos^4 \varphi + 2B \cos^2 \varphi \cdot \sin^2 \varphi + \sin^4 \varphi}; \quad (3.6в)$$

Таким чином,

$\lambda =$ _____ ;

$2B =$ _____ ;

$C =$ _____ ;

$G_0 =$ _____ МПа .

При цьому прийнято $\mu_{90} = 0,25$.

За формулами (3.6а) - (3.6в) обчислено значення E , G , μ в напрямках під кутами $\varphi = 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 135, 150, 165, 180^0$ відносно повздовжньої осі листа. Результати заносимо до табл. 3.6б.

Таблиця 3.6б. Залежності механічних характеристик від напрямку.

φ , град	E , МПа	G , МПа	μ
0			
15			
30			
45			
60			
75			
90			
105			
120			
135			
150			
165			
180			

Результати відображаємо на рис.3.6а - 3.6в у вигляді кругових діаграм (залежності вказаних механічних характеристик від кута φ).

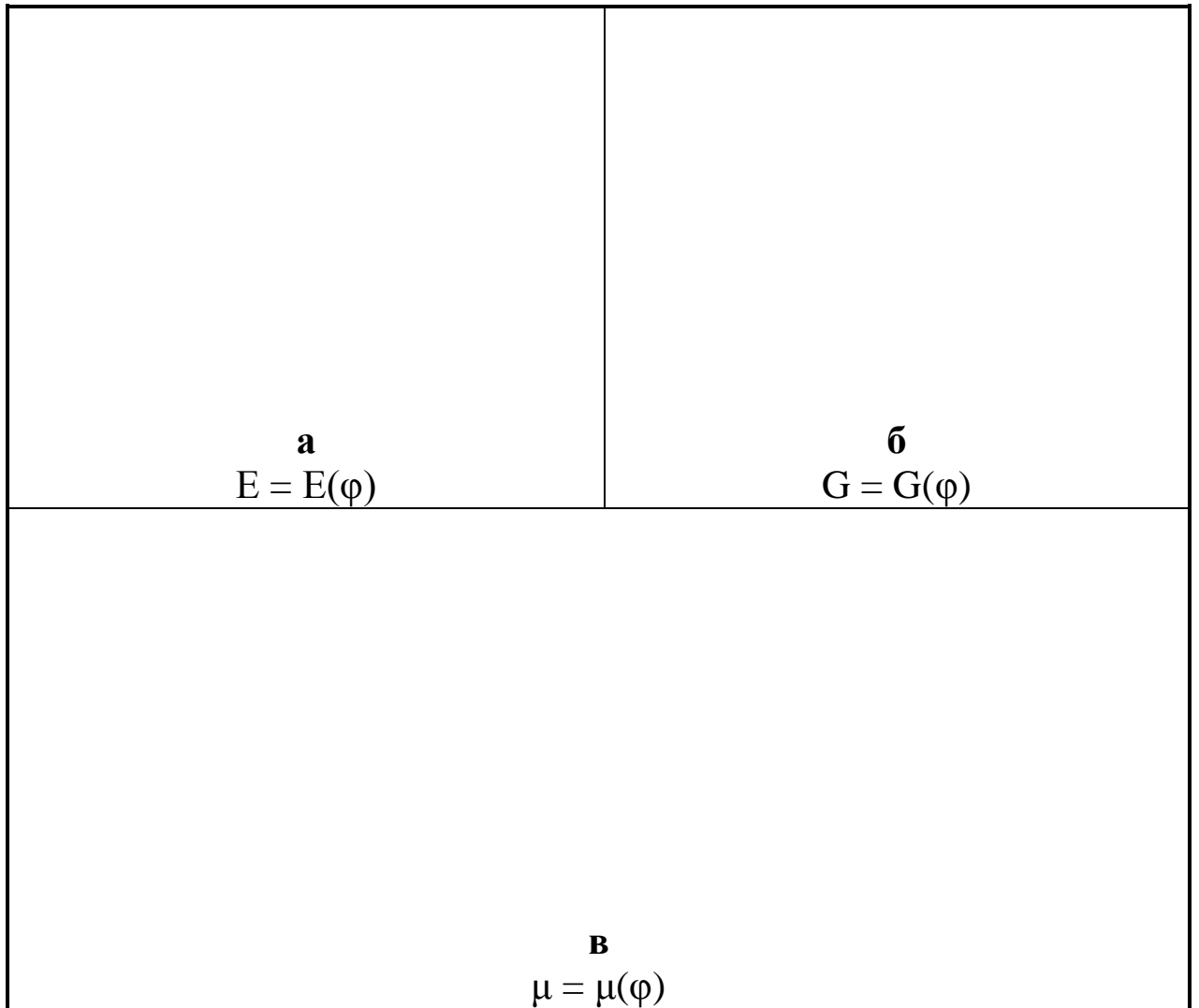


Рис. 3.6. Залежності механічних властивостей матеріалу від кута відносно головної осі симетрії (кругові діаграми). Матеріал _____.

Додаткові дані про випробуваний матеріал (значення характеристик розсіювання енергії):

Висновки по роботі:

Випробування виконані _____ 201__ р.

Лабораторна робота № 3.7

Вивчення впливу температури на динамічні характеристики пластмас

Мета роботи:

– вивчити вплив температури на динамічні характеристики пластмас.

Прилади та обладнання:

аналогічно описаному в лабораторній роботі 3.2.

Досліджувані матеріали:

- конструкційні пластмаси різних класів та марок за рекомендацією керівника робіт;
- композиційні матеріали зрізними типами наповнювачів за рекомендацією керівника робіт;
- технічні гуми за рекомендацією керівника робіт.

Зразки (тип та розміри):

– застосовуються зразки, що описані в лабораторній роботі 3.1.

Методика проведення випробувань:

- проводимо випробування згідно лабораторних робіт 3.1-3.3 при різних температурах;
- результати вимірювань заносимо до табл. 3.7а, б;
- будуємо графіки залежностей динамічних характеристик матеріалів від температури.

В таблиці записані такі дані:

l – робоча довжина зразка, мм;

h – товщина (ширина зразка), мм;

ρ – густина матеріалу (дані лабораторної роботи 3.1)

Таблиця. 3.7а Результати вимірювання характеристик

№ зразка	Температура, °С	l, мм	h, мм	ρ, г/см ³	ν _{ГЦ} , Гц	Δν _{ГЦ} , Гц
1	20					
2	30					
...	...					
8	90					
9	100					

Таблиця. 3.7б Результати розрахунку характеристик розсіювання матеріалу при коливаннях

№ зразка	Температура, °С	E ₁ , МПа	E ₂ , МПа	η, г/см ³	tgδ, %
1	20				
2	30				
...	...				
8	90				
9	100				

Розраховані характеристики зразків та матеріалу:

E₁ – динамічний модуль пружності;

E₂ – динамічний модуль втрат (модуль розсіювання);

η – коефіцієнт динамічної в'язкості;

tgδ – тангенс кута механічних втрат.

Додаткові дані про випробуваний матеріал (значення динамічних характеристик при різних температурах):

Висновки по роботі:

Випробування виконані _____ 201__ р.

4. ПРИКЛАДИ ПРОТОКОЛІВ ВИПРОБУВАНЬ

Лабораторна робота № 3.1

Виготовлення дослідних зразків, визначення геометричних характеристик зразків та густини матеріалу

Мета роботи:

- навчитися виготовлювати зразки для проведення дослідів;
- навчитися вимірювати геометричні характеристики та густину матеріалів.

Прилади та обладнання:

1. інструмент для виготовлення зразків;
2. штангенциркуль ціною поділки 0.05 мм;
3. мікрометр з ціною поділки 0.01 мм;
4. аналітичні ваги АДВ-200М з точністю зважування ± 0.0001 г.

Досліджуваний матеріал: поліпропілен (ПП).

Зразки: бруски прямокутного поперечного перерізу

- загальна довжина $L = 118$ мм;
- розміри поперечного перерізу 10.0 мм \times 4.0 мм .

Методика проведення випробувань:

- виготовляємо зразки з паралельними сторонами за ГОСТ 12019-66, ГОСТ 26277-84, ГОСТ 12015-66 або згідно вказівок викладача;
- вимірюємо загальні розміри зразків за ГОСТ 17035-86 за допомогою штангенциркуля (загальна довжина) та мікрометра (розміри поперечних перерізів);
- вимірюємо масу зразків за допомогою ваг АДВ-200М.

Таблиця. 3.1 Розміри та маса зразків і густина матеріалу.

№ зразка	Назва матеріалу	L, мм	b, мм	h, мм	V, мм ³	m, г	ρ , г/см ³
1	поліпропілен	118	10.0	4.0	4.72	5.792	1.227
2		118	10.0	4.0	4.72	5.789	1.226
3		118	10.0	4.0	4.72	5.795	1.228
Середнє значення							<u>1.227</u>

В таблиці записані такі дані:

L – загальна довжина зразка, мм;

b – ширина зразка, мм;

h – товщина (ширина зразка), мм;

Розраховані характеристики зразків та матеріалу:

$V = L \cdot b \cdot h$ – об'єм зразка, мм³;

m – маса зразка, г;

$\rho = (m / V) \cdot 10^3$ – густина матеріалу, г/см³.

Стислі відомості про випробувані матеріали

Будова поліпропілену.

Поліпропілен являє собою високомолекулярний продукт, отриманий методом стереорегулярної полімеризації пропілена при низькому тиску на катализаторах Циглера-Натта.

Стереорегулярний полімер може мати ізотактичну структуру (всі метилові групи розташовані по одну сторону від умовної площини). Наряду з стереорегулярною структурою в ПП є атактична частина (поліпропілен з неупорядкованим розташуванням бічних метилових груп), стереоблочний полімер, ланцюг якого має як ізотактичні, так і атактичні ділянки.

Полімер, що випускають в промисловості, являє собою суміш різних структур, співвідношення яких залежить від умов проведення процесу.

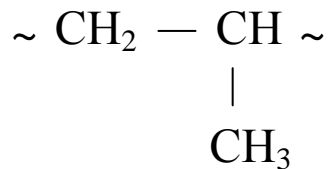
Найбільш цінним є полімер з низьким складом домішок атактичних і стереоблочних структур.

ПП – термопластичний полімер пропілену.

1. Структура: лінійний термопластичний матеріал зі ступенем кристалічності 50-75%.

2. Спосіб отримання: полімеризації пропілену в присутності катализатора при тиску $P = 0,5 \dots 1,0$ МПа и температурі $T=70 - 80$ °С.

3. Хімічна будова:



Додаткові дані про випробуваний матеріал

Фізико-механічні властивості поліпропілену.

Поліпропілен значно більш жорсткий матеріал, ніж поліетилен. Крім того, його поведінка при розтягу ще в більшій мірі, ніж у поліетилену залежить від швидкості прикладання навантаження і від температури. Чим нижча швидкість розтягу поліпропілену, тим вище значення показників механічних властивостей. При великих швидкостях розтягу межа міцності ПП значно нижче його межі текучості при розтягу.

Фізико-механічні характеристики:

Характеристики міцності	міцність при розтягу σ_p , МПа	29 ... 40
	при стиску $\sigma_{ст}$, МПа	38 ... 46
	при згині $\sigma_{зг}$, МПа	42 ... 49
	границя текучості σ_T , МПа	27 ... 35
	максимальна деформація ϵ_{max} , %	200 ... 800
	деформація на межі текучості ϵ_T , %	10 ... 20
Модулі пружності	при розтягу E_p , МПа	1080 ... 1540
	при згині $E_{зг}$, МПа	1050 ... 1900
Ударна в'язкість, твердість	ударна в'язкість $a_{б.н}$, кДж/м ²	не руйнується
	ударна в'язкість a_n , кДж/м ²	5 ... 8
	твердість за Брінелем H_B , МПа	40 ... 70
Температурні характеристики	температура експлуатації T_{max} , °С	65 ... 95
	температура розм'якшення за Віка, °С	140 ... 155
	температура плавлення, °С	160 ... 172
	температура крихкості, °С	-8 ... -15
Інші характеристики	густина ρ , г/см ³	0.90 ... 0.91
	водопоглинання за 24 години, %	0,01 ... 0.09
	деформація литтєвої усадки, %	1.0 ... 2.5

Теплофізичні властивості поліпропілену.

Поліпропілен має більш високу температуру плавлення, ніж поліетилен. Чистий ізотактичний поліпропілен плавиться при 176 °С. Максимальна темпе-

ратура, при якій поліпропілен може застосовуватися, досягає 120-140 °С. Всі вироби з ПП не тільки витримують кипіння води, та й можуть підвергтися стерилізації паром без якої-небудь зміни їх форми чи механічних властивостей.

Температура хрупкості поліпропілену лежить в межах від -5 до -15 °С.

ПП - хімічно-стійкий матеріал. Помітний вплив на нього оказують тільки окисники.

Висновки по роботі:

Виготовлені зразки для дослідження механічних властивостей при поперечних коливаннях. Виміряні геометричні характеристики зразків, їхня вага та розрахована густина матеріалу. Розглянуто додаткові дані про досліджений матеріал.

Випробування виконані 16 березня 2016 р.

Лабораторна робота № 3.2

Визначення динамічного модуля пружності при поперечних коливаннях

Мета роботи:

- навчитися користуватися обладнанням для вимірювання динамічного модуля пружності матеріалів;
- визначити модулі пружності матеріалів при коливаннях.

Прилади та обладнання: електродинамічний вібраційний стенд для синусоїдальних коливань; частотомір; генератор синусоїдальних коливань; катетометр В-630.

Досліджувальний матеріал: поліпропілен (ПП).

Зразки (тип та розміри):

- застосовуються зразки, що підготовлені в лабораторній роботі 3.1.

Методика проведення випробувань:

- визначаємо густину зразка ρ (г/см³) згідно лабораторної роботи 3.1;
- закріплюємо зразок у затискувач вібратора і встановлюємо резонансну частоту ν_r (по максимуму амплітуди коливань), яку вимірюємо частотоміром або за шкалою генератора ГЗ-18;
- динамічний модуль пружності (МПа) розраховуємо за формулою

$$E_1 = 38.3 \frac{\rho l^4}{h^4} \left[\nu_r^2 + \frac{1}{8} (\Delta \nu_r)^2 \right] \cdot 10^{-9},$$

Таблиця. 3.2 Результати визначення динамічного модуля пружності матеріалу

№ зразка	Назва матеріалу	l, мм	h, мм	ρ , г/см ³	ν_r , Гц	E_1 , МПа
1	поліпропілен	106.5	4.0	1.227	88.8	2898
2					88.2	2860
3					87.9	2841
Середнє значення						2866

В таблиці записані такі дані:

l – робоча довжина зразка, мм;

h – товщина (ширина зразка), мм;

ρ – густина матеріалу (дані лабораторної роботи 3.1).

Розраховані характеристики зразків та матеріалу:

E_1 – динамічний модуль пружності.

Додаткові дані про випробуванні матеріали (наведені у протоколі до лабораторної роботи 3.1):

Висновки по роботі:

1. Ознайомились з резонансними методами вимірювання модуля пружності матеріалів.
2. Модуль пружності при вимірюванні динамічним методом має значення приблизно в 1.5 разів більше, ніж при квазістатичних випробуваннях (див. лабораторну роботу № 1.3).

Випробування виконані 18 березня 2016 р.

Лабораторна робота № 3.3

Визначення характеристик розсіювання енергії при поперечних коливаннях

Мета роботи: навчитися користуватися обладнанням для вимірювання характеристик розсіювання енергії при коливаннях; визначити характеристики розсіювання енергії матеріалу.

Прилади та обладнання:

аналогічно описаному в лабораторній роботі 3.2.

Досліджувані матеріали: поліпропілен (ПП).

Зразки (тип та розміри):

– застосовуються зразки, що підготовлені в лабораторній роботі 3.1.

Методика проведення випробувань:

– визначаємо густину зразка ρ , г/см³ згідно лабораторної роботи 3.1;

– закріплюємо зразок у затискувачі вібратора і встановлюємо резонансну частоту ν_r (по максимуму амплітуди коливань), яку вимірюємо частотоміром. При використанні частотоміра ЧЗ-33 зручніше (для скорочення часу вимірювань) визначати період коливань T . У цьому випадку частота коливань дорівнює величині, що є зворотною до періоду коливань. Звертаємо увагу, що період коливань вимірюється у мілісекундах;

– вимірюємо ширину резонансної кривої $\Delta\nu_r$, зменшуючи амплітуду коливань приблизно на 30% від максимальної амплітуди по обидві сторони від резонансу;

– розраховуємо характеристики розсіювання енергії:

модуль втрат або модуль розсіювання (МПа)

$$E_2 = 38,3 \frac{\rho \cdot \ell^4}{h^2} \cdot \nu_r \cdot \Delta\nu_r \cdot 10^{-9}, \quad \text{МПа};$$

коефіцієнт динамічної в'язкості (МПа·с)

$$\eta = \frac{E_1}{2\pi\nu_r}, \quad \text{МПа} \cdot \text{с};$$

тангенс кута механічних втрат (%)

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{E_2}{E_1} \cdot 100\% ;$$

– результати вимірювань заносимо до табл. 3.3а, б.

Таблиця. 3.3а Результати вимірювань

№ зразка	Назва матеріалу	l, мм	h, мм	ρ, г/см ³	v _г , Гц	Δv _г , Гц
1	поліпропілен	106.5	4.0	1.227	88.8	9.2
2					88.2	10.2
3					87.9	10.7

Таблиця. 3.3б Результати розрахунку характеристик розсіювання матеріалу при коливаннях

№ зразка	Назва матеріалу	E ₁ , МПа	E ₂ , МПа	η, г/см ³	tgδ, %
1	поліпропілен	2898	300	5.19	10.4
2		2860	330	5.15	11.5
3		2841	345	5.13	12.1
Середні значення		2866	325	5.16	13.3

В таблиці записані такі дані:

l – робоча довжина зразка, мм;

h – товщина (ширина зразка), мм;

ρ – густина матеріалу (дані лабораторної роботи 3.1)

Розраховані характеристики зразків та матеріалу:

E₁ – динамічний модуль пружності (дані лабораторної роботи 3.2)

E₂ – динамічний модуль втрат (модуль розсіювання);

η – коефіцієнт динамічної в'язкості;

tgδ – тангенс кута механічних втрат.

Додаткові дані про випробувані матеріали (наведені у протоколі до лабораторної роботи 3.1).

Висновки по роботі:

1. Ознайомились з резонансними методами вимірювання пружних та в'язкопружних характеристик матеріалів.
2. Модуль пружності при вимірюванні динамічним методом має значення приблизно в 1.5 разів більше, ніж при квазістатичних випробуваннях (див. лабораторну роботу № 1.3).
3. Відмітимо суттєво менший розкид результатів вимірювання динамічного модуля пружності (+1.12%...–0.87% від середнього значення) в порівнянні з розкидом результатів квазістатичних вимірювань (див. лабораторну роботу № 1.1).
4. Дещо більший розкид спостерігається у значень динамічних характеристик (до 7.7% від середнього). Це пояснюється меншою точністю вимірювання ширини резонансної кривої $\Delta\nu_r$ ніж самої резонансної частоти ν_r .

Випробування виконані 23 березня 2016 р.

Протокол лабораторної роботи № 3.4 **Визначення динамічного модуля пружності пластмас різних класів.**

Мета роботи: виміряти модулі пружності пластмас динамічним методом і зіставити отримані значення.

Прилади та обладнання аналогічні описаним в протоколі виконання лабораторної роботи № 3.1-3.3.

Досліджувані матеріали:

поліамід ПА 66;

полівінілхлорид ПВХ (дані взяті з лабораторної роботи № 3.1);

полістірол ПС (дані взяті з лабораторної роботи № 3.1).

Зразки: поліаміду ПА-66 у вигляді смужок з розмірами:

загальна довжина $L = 119.5$ мм;

площа поперечного перерізу $F_0 = 2.5 \times 1.8 = 22.5$ мм².

Результати розрахунків:

Густина матеріалу ПА-66 $\rho = 3.7805 / (11.95 \cdot 0.225) = 1.406 \text{ г/см}^3$.

Значення вимірної резонансної частоти ν_r та динамічного модуля пружності E_1 (розраховано за формулою, що наведена в протоколі проведення лабораторної роботи № 3.1 дані в таблиці 4.3. Величиною $\Delta\nu_r$ нехтуємо, оскільки $\frac{1}{8}(\Delta\nu_r)^2 \ll \nu_r^2$.

Табл. 4.3. Результат вимірів та розрахунків динамічних характеристик зразків поліпропілену.

№	l, мм	h, мм	ν_r , Гц	E_1 , МПа
1	107.0	1.8	47.3	4874
2	107.0	1.8	47.6	4936
3	107.0	1.8	47.5	4915
Середнє				4908

Таким чином, при кімнатній температурі $(20 \pm 3)^\circ\text{C}$ динамічні модулі пружності:

для поліаміда ПА 66 $E_1 = 4908 \text{ МПа}$,

для полівінілхлориду $E_1 = 2866 \text{ МПа}$,

для полістірола $E_1 = 2210 \text{ МПа}$.

Висновки по роботі: наявність в молекулярному ланцюжку угруповань $-\text{NH}-$ суттєво збільшує жорсткість поліаміду ПА-66; аморфні карбоцепні полівінілхлорид та полістірол мають значно менші модулі пружності, ніж ПА-66. Це обмежує галузі застосування ПВХ та ПС як конструкційних матеріалів.

Випробування виконані 25 березня 2016 р.

Протокол лабораторної роботи № 3.7

Вивчення впливу температури на динамічні характеристики полімерів

Мета роботи:

навчитись визначати динамічні характеристики матеріалів при різних температурах;

знайти залежність динамічного модуля пружності полімеру від температури..

Прилади та обладнання

аналогічні описаним в протоколі виконання лабораторної роботи № 3.1. Рухомий захват разом зі зразком розміщені в температурній камері, яку обладнано нагрівачем, термометром та джерелом живлення нагрівача. Точність вимірювання температури $\pm 0.5^\circ\text{C}$.

Досліджуваний матеріал: ударостійкий полістірол (ПС).

Зразки:

у вигляді смужок з такими розмірами: загальна довжина $L = 69.6$ мм; робоча довжина $l = 58.7$ мм; площа поперечного перерізу $F_0 = 9.0 \times 2.15 = 19.35$ мм².

Методика проведення випробувань.

Визначаємо густину зразка $\rho = 1.3093 / (6.96 \cdot 0.1935) = 0.972$ г/см³.

Після витримки зразка при заданій температурі вимірюємо його резонансну частоту поперечних коливань ν_r .

Перший дослід проводимо при кімнатній температурі (в нашому випадку $T = 17^\circ\text{C}$). Далі – від 20°C до 100°C через кожні 10°C .

Результати вимірів та розрахунків (E_1 визначаємо за формулою з лабораторної роботи № 3.1) заносимо в табл. 4.4.

Табл. 4.4. Залежність динамічних характеристик полістиролу від температури

$T, ^\circ\text{C}$	17	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$\nu_r, \text{Гц}$	152.5	152.0	150.0	148.5	147.0	145.5	143.0	141.5	139.0	136.0
$E_1, \text{МПа}$	2224	2209	2151	2109	2066	2024	1955	1914	1847	1769

Висновки по роботі:

- підвищення температури викликає розм'якшення матеріалу і відповідне зниження динамічного модуля пружності;
- зменшення модуля з ростом температури відбувається практично за лінійним законом за винятком інтервалу (80...100)°С.

Випробування виконані 30 березня 2016 р.