

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

НОВІ МАТЕРІАЛИ

**ЧАСТИНА І: МІЦНІСТЬ І ДЕФОРМУВАННЯ
ПОЛІМЕРНИХ ТА КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ
ПРИ КОРОТКОЧАСНОМУ НАВАНТАЖЕННІ**

ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для студентів,
які навчаються за спеціальністю 131 «Прикладна механіка»
спеціалізацій «Динаміка і міцність машин»
та «Інформаційні системи та технології в авіабудуванні»*

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2018

Рецензент *Луговской Олександр Федорович, д-р. техн. наук, проф.*
Відповідальний редактор: *Пискунов Сергій Олегович, д-р. техн. наук, проф.*

*Гриф надано Методичною радою КПП ім. Ігоря Сікорського (протокол № 3 від 22.11.2018 р.)
за поданням Вченої ради Механіко Машинобудівного Інституту (протокол № 3 від 29.10.2018 р.)*

Електронне мережне навчальне видання

*Шидловський Микола Сергійович, кандидат техн. наук, с.н.с.,
Заховайко Олександр Панасович, кандидат техн. наук, доц.,
Тимошенко Олександр Вікторович, канд. техн. наук, ст. викл.
Мусієнко Ольга Станіславівна, асп.*

НОВІ МАТЕРІАЛИ

ЧАСТИНА І: МІЦНІСТЬ І ДЕФОРМУВАННЯ ПОЛІМЕРНИХ ТА КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ПРИ КОРОТКОЧАСНОМУ НАВАНТАЖЕННІ

ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ.

Нові матеріали. Частина І: Міцність і деформування полімерних та композиційних матеріалів при короткочасному навантаженні. Лабораторний практикум. [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» спеціалізацій «Динаміка і міцність машин» та «Інформаційні системи та технології в авіабудуванні» / КПП ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Шидловський М.С., Заховайко О.П., Тимошенко О.В., Мусієнко О.С. – Електронні текстові дані (1 файл: 11,2 Мбайт). – Київ : КПП ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 81 с.

Лабораторний практикум з дисципліни «Нові матеріали» розділу «Міцність і деформування полімерних та композиційних матеріалів при короткочасному навантаженні» містить теоретичні відомості з властивостей полімерних і композитних матеріалів, впливу на них різноманітних експлуатаційних факторів. Наведено описи типового обладнання, методів випробувань, реєстрації та обробки їх результатів. Приводяться правила техніки безпеки. Посібник містить приклади оформлення протоколів лабораторних робіт та запитання для самоконтролю знань. В додатках розміщені бланки протоколів для використання в якості роздаткового матеріалу. Посібник призначений для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» спеціалізацій «Динаміка і міцність машин» та «Інформаційні системи та технології в авіабудуванні»

© М. С. Шидловський, О. П. Заховайко, Тимошенко О.В., Мусієнко О.С., 2018

© КПП ім. Ігоря Сікорського, 2018

ЗМІСТ

	стор
ВСТУП	5
1. ОСНОВНІ ВІДОМОСТІ ПРО МІЦНІСТЬ І ДЕФОРМУВАННЯ ПОЛІМЕРНИХ ТА КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ПРИ КОРОТКОЧАСНОМУ НАВАНТАЖЕННІ	6
1.1. Деформування аморфних та кристалічних полімерів	6
1.2. Вплив тривалості навантаження на міцність полімерів	8
1.3. Вплив швидкості деформування на міцність полімерів.....	9
1.4. Властивості анізотропних матеріалів	10
1.5. Характеристики тертя полімерних плівок	11
2. СТАНДАРТНІ МЕТОДИ ВИПРОБУВАНЬ	13
2.1. Випробування матеріалів на розтяг	13
2.1.1. Вимоги до зразків	13
2.1.2. Проведення випробувань	14
2.1.3. Обробка результатів	17
2.2. Випробування матеріалів на стиск	18
2.2.1. Вимоги до зразків	18
2.2.2. Підготовка та проведення випробувань	19
2.2.3. Обробка результатів	19
2.3. Випробування матеріалів на згин	20
2.3.1. Вимоги до зразків	20
2.3.2. Вимоги до апаратури	20
2.3.3. Підготовка та проведення випробувань	21
2.3.4. Обробка результатів	22
2.4. Визначення модулів пружності	23
2.4.1. Визначення модуля пружності при розтягу	23
2.4.2. Визначення модуля пружності при стиску	23
2.4.3. Визначення модуля пружності при згині	24
2.5. Визначення коефіцієнтів початкового тертя і тертя ковзання	24
2.5.1. Вимоги до зразків	24
2.5.2. Вимоги до апаратури	25
2.5.3. Підготовка та проведення випробувань	26
2.5.4. Обробка результатів	27

2.6.	Обробка та реєстрація результатів випробувань	27
3.	ОПИС, БУДОВА ТА ПОРЯДОК РОБОТИ З УНІВЕРСАЛЬНОЮ ВИПРОБУВАЛЬНОЮ МАШИНОЮ СЕРІЇ TIRA-TEST	30
3.1.	Загальні відомості про випробувальну машину TIRAtest-2151	30
3.1.1.	Опис блок-схеми випробувальної машини TIRAtest-2151 .	31
3.1.2.	Пульти керування випробувальною машиною	32
3.1.3.	Регулювання швидкості переміщення рухомої траверси ...	34
3.1.4.	Перемикач режимів роботи випробувальної машини	35
3.1.5.	Клавіатура вводу даних у пам'ять процесора	36
3.1.6.	Функції програмних шаблонів задавання режиму випробувань	37
3.1.7.	Запис діаграм деформування за допомогою програмного забезпечення	41
3.2.	Дії оператора при роботі з випробувальною машиною	45
4	ПРАВИЛА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ	46
5	ПРИКЛАДИ ОФОРМЛЕННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ	47
	Лабораторна робота №1.1. Випробування матеріалів на розтяг. Побудова та обробка діаграм розтягу	47
	Лабораторна робота №1.2. Випробування матеріалів на стиск. Побудова та обробка діаграм стискування	49
	Лабораторна робота №1.3. Випробування матеріалів на згин. Побудова та обробка діаграм згину	51
	Лабораторна робота №1.4. Дослідження впливу структури полімеру та наповнювача на міцнісні та деформаційні характеристики матеріалів	53
	Лабораторна робота №1.5. Дослідження впливу температури та швидкості навантаження на механічні властивості полімерів	54
	Лабораторна робота №1.6. Визначення характеристик пружності та міцності анізотропного матеріалу	57
	Лабораторна робота №1.7. Визначення коефіцієнтів початкового тертя і тертя ковзання	60
6	ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ПРОТОКОЛІВ ВИПРОБУВАНЬ ТА ФОРМИ ПРОТОКОЛІВ	62
7	КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ	63
8	СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	64
	ДОДАТОК. ФОРМИ ПРОТОКОЛІВ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ	65

Вступ

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 на сьогодні досліджені недостатньо повно. Тому кваліфікованим спеціалістам в області міцності та надійності необхідно оволодіти сучасними методами досліджень з урахуванням супутніх факторів.

Навчальними програмами дисциплін «Механіка полімерних матеріалів» та «Нові матеріали» для студентів спеціальності «Прикладна механіка» спеціалізації «Динаміка і міцність машин» та «Інформаційні системи та технології в авіабудуванні» механіко-машинобудівного інституту КПІ ім. Ігоря Сікорського передбачене виконання комплексу лабораторних робіт. При проведенні лабораторних робіт студенти мають можливість оволодіти методами проведення механічних випробувань та визначення характеристик конструкційних матеріалів, поглибити та закріпити свої теоретичні знання з різних розділів курсу, ознайомитись з роботою сучасного випробувального устаткування, методами експериментальних досліджень та нормативно-технічною документацією на методи випробувань.

У більшій частині лабораторних робіт демонструється дія навантажень на зразки різноманітних матеріалів, вимірюються їх деформації та проводиться співставлення експериментальних даних з результатами теоретичних розрахунків. Це дає можливість закріпити знання та вміння, отримані студентами на лекційних і практичних заняттях.

В процесі самостійної підготовки до лабораторних робіт студенти вивчають відповідні розділи теоретичного курсу та рекомендовану викладачем літературу. Оформлення протоколів студенти проводять самостійно з використанням форм (бланків) протоколів, наданих в цих методичних вказівках.

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

1.1. Деформування аморфних та кристалічних полімерів

Однією з найхарактерніших властивостей більшості полімерних матеріалів є їх здатність до великих оборотних і необоротних деформацій. Зміна розмірів і форми зразків матеріалу характеризує внутрішню реакцію полімеру на зовнішній вплив.

Процеси деформації полімерів за відносно повільної зміни навантаження вивчають за діаграмами деформування, отриманими експериментально. Тобто залежностями між деформаціями ϵ і виникаючими при цьому напруженнями σ .

Ці діаграми отримують за допомогою розривних машин, обладнаних пристроєм для вимірювання і запису навантажень і видовжень зразків. Вигляд діаграми $\epsilon = f(\sigma)$ залежить від фазового та фізичного стану полімеру на момент випробувань.

Склоподібні полімери здатні деформуватися до декількох сотень відсотків (**рис. 1**), але не здатні самовільно відновлювати розміри.

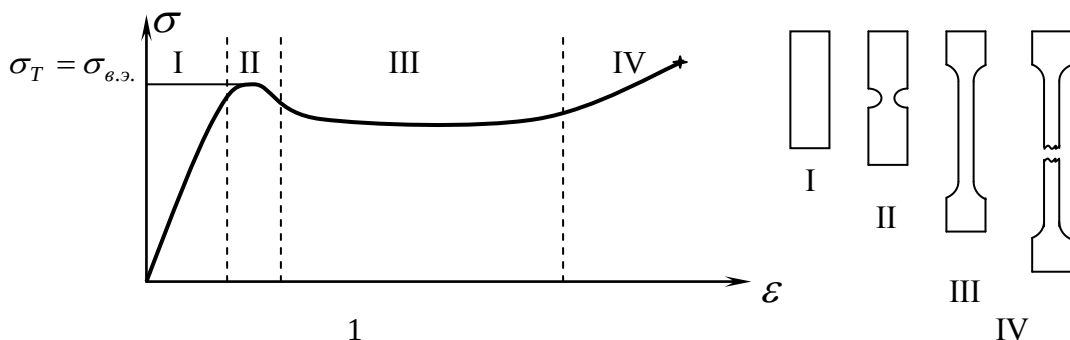


Рис. 1.1. Діаграма деформування полімеру та її області

На діаграмі деформування аморфного полімеру (рис. 1.1) виділяють чотири області:

I – пружна деформація полімеру. Змінюється міжмолекулярна відстань і валентні кути без зміщення сегментів і руйнування флуктуаційної сітки.

II – утворення шийки. Мікродфекти створюють концентратор напружень. Перенапруження σ' призводять до вимушених переміщень сегментів. Це орієнтує сегменти у напрямку сили. Наслідок – локальне ущільнення полімеру, його зміцнення. Тріщина не зростає, виникає шийка.

III – шийка розповсюджується на всю довжину зразка, і матеріал переходить в орієнтований стан. Після зняття навантаження розміри відновлюються

лише на величину пружної деформації. При нагріванні розміри частково відновлюються, сегменти набувають рухливості, і макромолекули переходять у вихідний, згорнутий, стан.

IV – незворотне зміщення сегментів аж до руйнування.

Зі зростанням температури зменшується межа вимушеної еластичності, оскільки за рахунок збільшення температури збільшується запас теплової енергії, і потрібна менша зовнішня енергія для розвитку вимушеної пружної деформації. Це відбивається на вигляді діаграм деформування (рис. 1.2). При підвищенні температури міцність полімеру і модуль пружності зменшуються, діаграми деформування розташовуються нижче, ніж при низьких температурах.

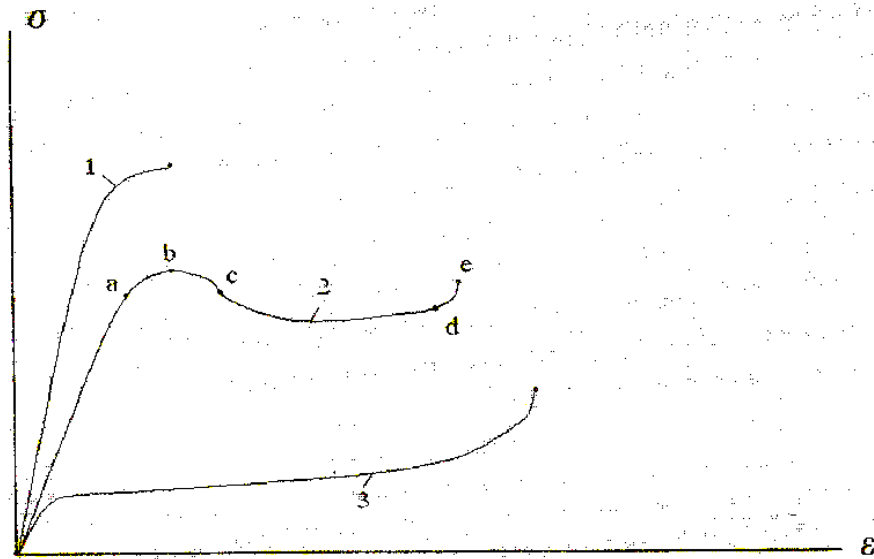


Рис. 1.2. Діаграми деформування полімеру в різних фізичних станах:
крива 1 - $T < T_{кр}$; крива 2 - $T_{кр} < T < T_C$; крива 3 - $T > T_C$

Лінійні аморфні полімери в залежності від температури можуть знаходитися в трьох фізичних станах: склоподібному, вискоеластичному і в'язко-текучому.

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. 2, крива 1). Подальше деформування зразка полімеру, що знаходиться в такому стані, призводить 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**. Зазначена деформація розвивається в температурному інтервалі

між $T_{кр}$ і температурою склування полімеру T_c . На рис. 2 крива 2 є типовою для склоподібного полімеру при $T > T_{кр}$.

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 $T > T_c$, називають **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. 2, 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 одна відносно 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.

1.2. Вплив тривалості навантаження на міцність полімерів

Міцність полімерних матеріалів суттєво залежить від часу перебування під навантаженням. Характеристики міцності зразків, розірваних швидко, виявляються вищими, ніж для тих самих зразків, розірваних повільно. Це явище (часова залежність міцності при статичному навантаженні) отримало назву **статичної втоми**.

Час від моменту прикладання навантаження до моменту руйнування називається **довговічністю** матеріалу.

У широкому діапазоні напружень залежність $\ln \tau_p$ від напружень σ носить лінійний характер, тобто:

$$\tau_p = A \cdot \exp(-\alpha \cdot \sigma) \quad (1.1)$$

де τ_p – тривкість зразка (час від моменту прикладення сили до моменту розриву зразка); A , α – константи; σ – діюче в зразку напруження.

На підставі численних експериментів, проведених при різних температурах, С. Журковим запропонована більш загальна залежність довговічності:

$$\tau = \tau_0 \cdot \exp \frac{U_0 - a \cdot \sigma}{R \cdot T} \quad (1.2)$$

де U_0 – енергія активації руйнування за відсутності напруження; τ_0 – тривалість одного теплового коливання атомів ($10^{-12} \dots 10^{-13}$ с); T – абсолютна температура в $^{\circ}\text{K}$; R – універсальна газова постійна (8,314 Дж/ (моль $\cdot^{\circ}\text{K}$); γ – структурно чутливий коефіцієнт, названий так тому, що він виявився сильно залежним від структури полімеру (ступінь кристалічності, пластифікація, орієнтація макромолекул, молекулярна вага, інші характеристики полімеру).

1.3. Вплив швидкості деформування на міцність полімерів

Механічні властивості полімерних матеріалів залежать від швидкості навантаження або деформування. Враховуючи, що елементи конструкцій, виготовлені з полімерів, піддаються механічним навантаженням, швидкість яких змінюються в широких межах, вивчення механічних характеристик цих матеріалів представляє значний практичний інтерес.

Зміна короткочасної міцності полімерів при зміні швидкості деформування пов'язана з часовою залежністю властивостей полімерів. Зменшення швидкості деформування при випробуваннях на розрив аналогічне збільшенню тривалості дії навантаження, що зменшує міцність матеріалу.

Залежності міцності і деформаційних характеристик від швидкості деформування, побудовані в подвійних логарифмічних координатах, в досліджених діапазонах швидкостей деформування та температур практично лінійні.

Отже, зазначені залежності можуть бути представлені у вигляді:

$$\sigma_p = a \cdot V^n; \quad (1.3)$$

$$\varepsilon_{\max} = b \cdot V^m, \quad (1.4)$$

де σ_p – руйнуюче напруження; $\varepsilon_{\max}$ – максимальна деформація; V – швидкість розтягу; a , n – константи.

1.4. Властивості анізотропних матеріалів

В різних галузях промисловості широкого 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 є ортотропні матеріали.

Ортотропний матеріал, який має три площини симетрії пружних властивостей, в загальному випадку характеризується дев'ятьма незалежними пружними константами. Для дослідження напруженого стану в умовах пружності необхідно знати чотири характеристики, в якості яких можна вибрати модуль пружності E_0 у напрямі основи; модуль пружності E_{90} у напрямі утка (поперечних ниток у основі), 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 пружної симетрії матеріалу:

$$E(\varphi) = \frac{\lambda \cdot E_0}{\lambda \cdot \cos^4 \varphi + 2B \cos^2 \varphi \cdot \sin^2 \varphi + \sin^4 \varphi}; \quad (1.5)$$

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

$$G(\varphi) = \frac{G_0}{1 - (1 - C) \sin^2 2\varphi}; \quad (1.6)$$

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

$$\mu(\varphi) = \frac{\mu_{90} - \frac{1}{4}(1 + \lambda - 2B) \cdot \sin^2 2\varphi}{\lambda \cdot \cos^4 \varphi + 2B \cos^2 \varphi \cdot \sin^2 \varphi + \sin^4 \varphi}; \quad (1.7)$$

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

$$\sigma_p = \frac{\lambda_\sigma \cdot \sigma_{p(0)}}{\lambda_\sigma \cdot \cos^4 \varphi + 2B_\sigma \cos^2 \varphi \cdot \sin^2 \varphi + \sin^4 \varphi}, \quad (1.8)$$

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

Аналогічно для $\varepsilon_{\max}$:

$$\varepsilon_{\max}(\varphi) = \frac{\lambda_{\varepsilon} \cdot \varepsilon_{\max(0)}}{\lambda_{\varepsilon} \cdot \cos^4 \varphi + 2B_{\varepsilon} \cos^2 \varphi \cdot \sin^2 \varphi + \sin^4 \varphi}; \quad (1.9)$$

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

1.5. Характеристики тертя полімерних плівок

Окрім міцності та пружності, що вимірюються вищезазначеними методами, полімерні матеріали мають відповідати певним вимогам щодо інших експлуатаційних характеристик, зокрема коефіцієнтів тертя. Ці характеристики, поряд з характеристиками міцності та пружності, можуть бути визначальними при виборі матеріалів для виготовлення, наприклад, деталей для роботи у динамічному контакті з іншими матеріалами (втулки, прокладки, манжети, підшипники ковзання та інше). Для плівкових та листових полімерів, зокрема, від характеристик тертя залежить їх здатність до технологічних операцій (пресування, витяжка, формоутворення та інше).

Тертя – це сила опору, що виникає при ковзанні одного матеріалу поверхні по другому.

Ковзання – це здатність до змащування двох дотичних поверхонь, що ковзають в контакті один з одним.

Коефіцієнт тертя – це відношення сили тертя до сили (зазвичай силі тяжіння), що діє перпендикулярно до поверхні, що знаходяться в контакті. Цей коефіцієнт є мірою відносного зусилля, з яким поверхня одного матеріалу ковзає по дотичній поверхні такого ж або іншого матеріалу.

Статичний або початковий коефіцієнт тертя (μ_s) пов'язаний з силою, необхідною для початку руху однієї поверхні по іншій. Кінетичний коефіцієнт тертя або коефіцієнт тертя ковзання (μ_k) пов'язаний з силою, необхідної для підтримки такого руху.

Значення коефіцієнтів тертя одержують експериментальним шляхом (ГОСТ 27492). Отримані дані можуть суттєво залежати від віку плівки або листів і стану їх поверхонь. Властивістю багатьох добавок є здатність утворювати ковзний поверхневий наліт, який залежить від часу. Тому іноді не має сенсу

порівнювати характеристики тертя і ковзання плівок або листів, виготовлених в різний час, якщо тільки не стоїть завдання спеціально досліджувати такий ефект.

Здатність до ковзання в деяких полімерах зумовлюється добавками, наприклад у поліетилені. Ці добавки мають різну ступінь сумісності з матричним матеріалом плівки. Деякі з них виступають на поверхню, змочуючи її і роблячи більш слизькою. Оскільки поверхневий наліт може бути неоднорідним на поверхні плівки, то результати можуть мати обмежену відтворюваність.

Полімерні плівки і листові матеріали можуть мати різні характеристики тертя в залежності від напрямку вироблення внаслідок анізотропії властивостей або ефекту екструзії.

Фрикційні властивості полімерних плівок і листів можуть залежати від сталості швидкості ковзання двох дотичних поверхонь. Необхідно ретельно контролювати швидкість переміщення. Якщо матеріали виготовлялися за різною технологією або навіть за однаковою технологією, але на різних машинах, то якість їх поверхні може залежати від типу обладнання або його стану. Ці фактори необхідно враховувати при оцінці даних, отриманих цими методами.

На результати визначення статичного коефіцієнту тертя суттєво впливає перевищення нормального значення сили, що стискає поверхні, які труться, і час з моменту прикладення цієї сили до моменту початку випробувань.

2. СТАНДАРТНІ МЕТОДИ ВИПРОБУВАНЬ

2.1. Випробування матеріалів на розтяг.

2.1.1. Вимоги до зразків

Для випробувань за ГОСТ 11262-80 застосовують зразки типів 1-3, форма і розміри яких вказана на рис. 2.1–2.3 і в табл. 2.1.

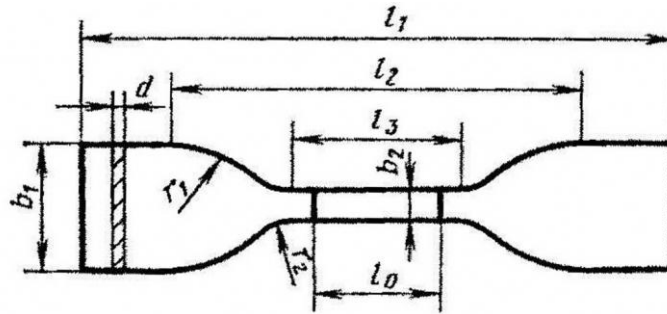


Рис. 2.1. Зразок типу 1 з пластмаси для випробування на розтяг

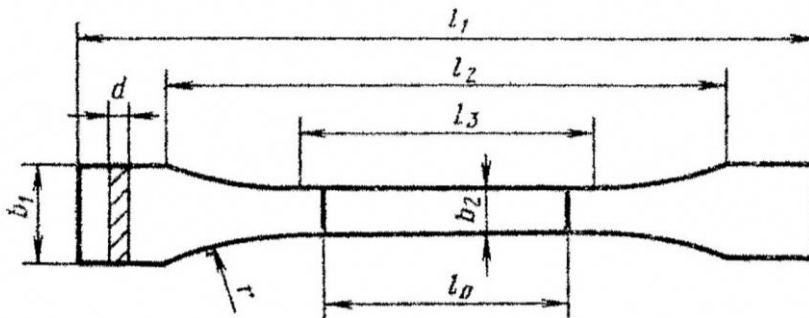


Рис. 2.2. Зразок типу 2 з пластмаси для випробування на розтяг

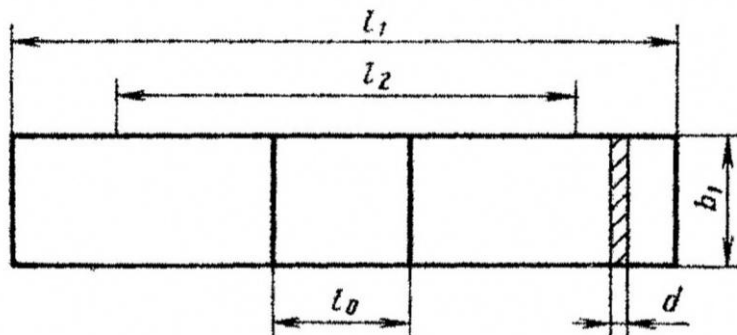


Рис. 2.3. Зразок типу 3 з пластмаси для випробування на розтяг

Таблиця 2.1. Розміри зразків типів 1, 2 та 3 (мм) для випробування на розтяг

Параметр	Тип зразка		
	1	2	3
Загальна довжина l_1 , не менше	115	150	250
Відстань між мітками, що визначають положення країв затискувачів на зразку l_2	80 ± 5	115 ± 5	170 ± 5
Довжина робочої частини l_3	33 ± 1	$60 \pm 0,5$	–
Розрахункова довжина l_0	25 ± 1	$50 \pm 0,5$	50 ± 1
Ширина головки b_1	25 ± 1	$20 \pm 0,5$	$25 \pm 0,5$
Ширина робочої частини b_2	$6 \pm 0,4$	$10 \pm 0,5$	–
Товщина d	$2 \pm 0,2$ (від 1 до 3)	$4 \pm 0,4$ (від 1 до 10)	$2 \pm 0,2$ (від 1 до 6)
Більший радіус закруглення r_1	25 ± 1	–	–
Менший радіус закруглення r_2	$14 \pm 0,5$	–	–
Радіус закруглення r , не менше	–	60	–

Зразки повинні мати гладку рівну поверхню без здуттів, сколів, тріщин, раковин та інших видимих дефектів.

Для випробування ізотропних матеріалів використовують не менше п'яти зразків, для випробування анізотропних матеріалів не менше п'яти зразків, відібраних в місцях і напрямках, які повинні відповідати нормативно-технічній документації на матеріал.

Зразки кондиціонують не менше 16 год. при температурі $(296 \pm 2)^\circ\text{K}$ $((23 \pm 2)^\circ\text{C})$ і відносній вологості $(50 \pm 5)\%$, якщо в нормативно-технічній документації на матеріал немає інших вказівок.

2.1.2. Проведення випробувань

Товщину і ширину зразків вимірюють в трьох місцях, в середині і на відстані 5 мм від міток. З отриманих значень обчислюють середні арифметичні величини, за якими знаходять початковий поперечний переріз F_0 .

Зразки закріплюють в затискувачі випробувальної машини по мітках, що визначають положення крайок затискувачів так, щоб подовжні осі затискувачів

і вісь зразка збігалися між собою і напрямом руху затискувача. Затискувачі рівномірно зтягують, щоб виключалося ковзання зразка в процесі випробування, але при цьому не відбувалося його руйнування в місці закріплення.

Випробування проводять при температурі $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ і відносній вологості $(50 \pm 5)\%$, якщо в нормативно-технічній документації на матеріал немає інших вказівок.

Випробування проводять при швидкості розходження затискувачів випробувальної машини, передбаченої в нормативно-технічній документації на матеріал, яка має відповідати одній з вказаних в табл. 2.2. При цьому вибирають максимальну з приведених в табл. 2.2 швидкість так, щоб час від моменту прикладення до зразка навантаження до його руйнування складав не менше 1 хв. при випробуванні матеріалів, що мають границю текучості, і не менше 30 с для матеріалів, що не мають границі текучості.

Таблиця 2.2. Рекомендовані швидкості руху затискувача та допустимі погрішності

Швидкість, мм/хв	Допустима похибка, мм/хв
2 (2.5)	± 0.4
5	± 1.0
10	± 1.0
20 (25)	± 2.0
50	± 5.0
100	± 10.0
200 (250)	± 20.0
500	± 50.0

При випробуванні вимірюють навантаження і видовження зразка безперервно або у момент досягнення границі текучості, максимального навантаження, і навантаження у момент руйнування зразка. При записі кривої «навантаження – видовження» визначають характеристики відповідно до рис. 2.4.

Допускається визначати видовження зразка за зміною відстані між затискувачами, якщо це передбачено в нормативно-технічній документації на матеріал.

Зразки, які в процесі випробування руйнуються за межами робочої частини (l_0), або у яких в процесі випробування виявлені дефекти (пухирі, чужорідні для матеріалу включення, внутрішні тріщини і тому подібне), не враховують.

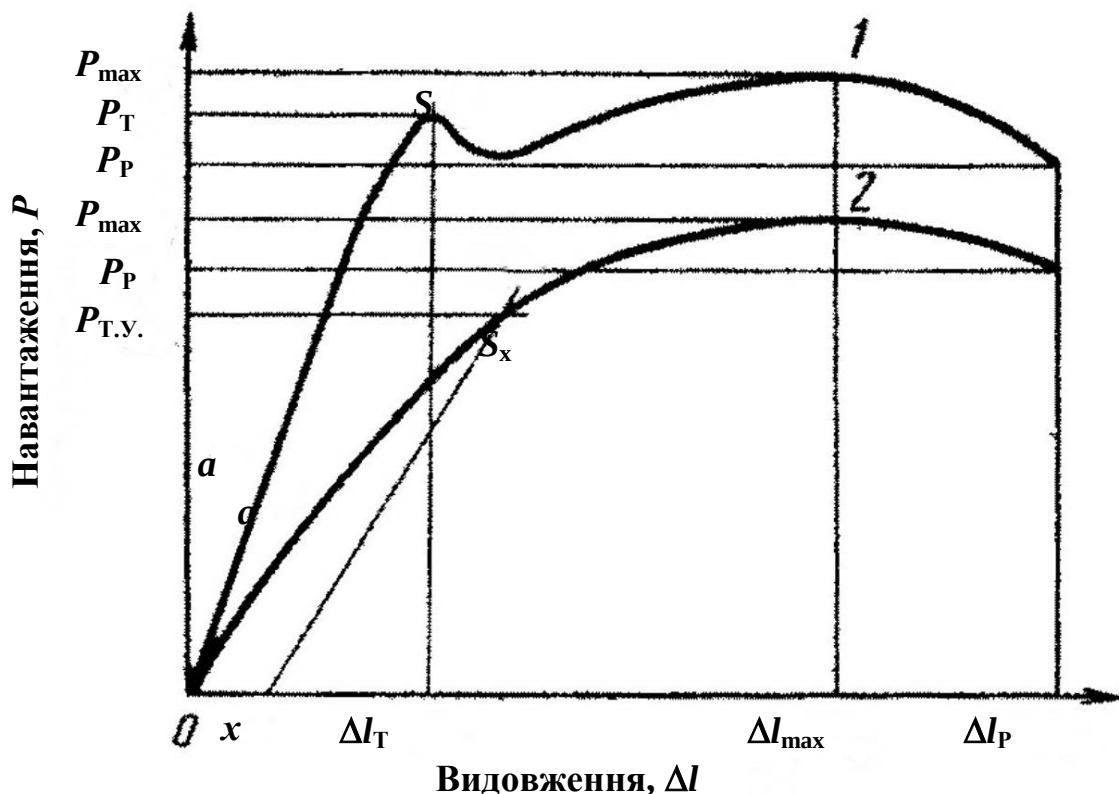


Рис. 2.4. Діаграми розтягу полімерних матеріалів та їх обробка: 1 – матеріал має границю текучості; 2 – матеріал не має границі текучості; *a* – прямолінійні ділянки на початку кривої «навантаження - видовження»; *S* – границя текучості; *x* – відрізок на осі видовження для визначення умовної границі текучості; *S_x* – умовна границя текучості

У випадках застосування стандарту в договірно-правових і торговельних стосунках в рамках економічного співробітництва не враховують зразки, які в процесі випробування руйнуються за межами розрахункової довжини (l_0) або у яких в процесі випробування виявлені дефекти (пухирі, чужорідні для матеріалу включення, внутрішні тріщини і тому подібне).

Для зразків, що подовжуються з утворенням шийки, слід враховувати також результати, отримані на зразках, у яких шийка поширилася за межі робочої частини зразка, але руйнування його сталося не в місці кріплення в затискувачі.

До протоколу випробувань заносять 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 – навантаження при досягненні границі текучості;
- $P_{T.Y.}$ – навантаження при досягненні умовної границі текучості (рис. 2.4);
- $\Delta l_{\max}$ – 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.

2.1.3. Обробка результатів

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

- міцність за розтягу

$$\sigma_{\max} = P_{\max} / F_0; \quad (2.1)$$

- міцність при розриві

$$\sigma_p = P_p / F_0; \quad (2.2)$$

- границя текучості за розтягу

$$\sigma_T = P_T / F_0; \quad (2.3)$$

- умовна границя текучості

$$\sigma_{T.Y.} = P_{T.Y.} / F_0. \quad (2.4)$$

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

- відносне видовження при максимальному навантаженні

$$\epsilon_{\max} = (\Delta l_{\max} / l_0) \cdot 100\%; \quad (2.5)$$

- відносне видовження при розриві

$$\epsilon_p = (\Delta l_p / l_0) \cdot 100\%; \quad (2.6)$$

- відносне видовження при границі текучості

$$\epsilon_T = (\Delta l_T / l_0) \cdot 100\%; \quad (2.7)$$

– відносне видовження при умовній границі текучості

$$\varepsilon_{T.Y.} = (\Delta l_{T.Y.}/l_0) \cdot 100\% . \quad (2.8)$$

За результат випробування приймають середнє арифметичне не менше п'яти визначень, закруглене до двох значущих цифр.

Для кожного показника обчислюють величину стандартного відхилення за [ГОСТ 14359] з точністю, передбаченою для обчислення середнього арифметичного, якщо в нормативно-технічній документації на матеріал немає інших вказівок.

2.2. Випробування матеріалів на стиск

2.2.1. Вимоги до зразків

Зразки для випробування [ГОСТ 4651] мають форму прямокутної призми, прямого циліндра або прямої трубки. Опорні площини зразка мають бути перпендикулярними до напрямку прикладення навантаження при стисканні і паралельними між собою в межах 0,1% від висоти зразка.

Висоту зразків (h) в міліметрах розраховують в залежності від відношення коефіцієнту гнучкості до найменшого радіуса інерції за формулами:

- для прямокутної призми з квадратною або прямокутною основою:

$$h = i \cdot \lambda = \frac{\lambda}{3,46} a ; \quad (2.9)$$

- для прямого циліндра:

$$h = i \cdot \lambda = \frac{\lambda}{4} d ; \quad (2.10)$$

де λ – коефіцієнт гнучкості; i – мінімальний радіус інерції площі основи, мм; a – мінімальний розмір основи призми, мм; d – діаметр прямого циліндра, мм.

Коефіцієнт гнучкості зразка має дорівнювати 10, якщо в нормативно-технічній документації на конкретну продукцію нема інших вказівок. В тих випадках, коли в процесі випробування зразок втрачає стійкість, коефіцієнт гнучкості зменшують до 6.

Висоту зразка встановлюють від 10 до 40 мм. Переважна висота зразка 30 мм.

Режим та метод виготовлення зразків вказують в нормативно-технічній документації на конкретну продукцію. Зразки повинні мати чисту, гладку, рівну поверхню без здуттів, сколов, тріщин, раковин та інших видимих дефектів.

2.2.2. Підготовка та проведення випробувань

Висоту, ширину, товщину або діаметр зразка вимірюють з похибкою, не більшою ніж 0,01 мм, і не менше ніж в трьох місцях. За мінімальними значеннями розраховують поперечний перетин зразка.

Швидкість випробування V (мм/хв) розраховують, в залежності від висоти зразка, за формулою:

$$V = 0,03 \frac{h}{t}, \quad (2.11)$$

де h – висота зразка, мм; t – стала, яка дорівнює 1 хв.

Випробування проводять при температурі $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ і відносній вологості $(50 \pm 5)\%$, якщо в нормативно технічній документації на конкретну продукцію нема інших вказівок.

Встановлюють зразок між опорними площадками, так щоб вертикальна вісь зразка збігалася з напрямком дії навантаження. Регулюють машину до досягнення контакту між зразком і площадкою.

Встановлюють обрану швидкість зближення опорних площадок. Машину приводять в дію і записують значення показників, що визначаються, або криву «навантаження – деформація» при стисканні.

2.2.3. Обробка результатів

Руйнівне напруження при стисканні (σ_p), напруження стиску на границі текучості (σ_T), напруження стиску на умовній границі текучості (σ_{Ty}) і напруження стиску при встановленій умовній деформації в МПа розраховують за формулою

$$\sigma = \frac{P}{F}, \quad (2.12)$$

де P – навантаження, що відповідають зазначеним точкам діаграми деформування; F – площа мінімального початкового перетину зразка, мм^2 .

За результат випробувань приймають середнє арифметичне усіх паралельних визначень, розраховане до другої значущої цифри.

Відносну деформацію стиску при руйнуванні і відносну деформацію стиску на границі текучості розраховують у відсотках за формулою:

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{h_0} \cdot 100\%, \quad (2.13)$$

де Δh – зменшення висоти зразка в момент руйнування або на границі текучості, мм; h_0 – початкова висота зразка, мм.

За результат випробувань приймають середнє арифметичне усіх паралельних визначень, розраховане до другої значущої цифри.

2.3. Випробування матеріалів на згин

2.3.1. Вимоги до зразків

Стандартний зразок має такі розміри:

- довжина (l) – не менше 80 мм;
- ширина (b) – $(10,00 \pm 0,50)$ мм;
- товщина (h) – $(4,00 \pm 0,20)$ мм.

Зразки повинні мати гладку рівну поверхню без здуттів, сколів, тріщин, раковин та інших видимих дефектів. Випробовують п'ять зразків, а для анізотропних матеріалів по п'ять зразків для кожного з головних напрямів.

2.3.2. Вимоги до апаратури

Випробування проводять на випробувальних машинах, що забезпечують рівномірну швидкість V відносного руху навантажувального наконечника і опор і дозволяють вимірювати навантаження з похибкою $\pm 1\%$, а прогину – з похибкою $\pm 2\%$. Застосовують випробувальні машини, в яких зміщення динамометру у всьому діапазоні навантажень складає не більше 2 мм. Відстань між опорами регулюється.

На випробувальній машині розміщені пристрої з навантажувальним наконечником і опорами. Їх зближення відбувається з постійною швидкістю.

Радіуси наконечника (r_1) і країв опор (r_2) (рис. 2.5) має такі розміри в міліметрах:

- $r_1 = (5 \pm 0,1)$;
- $r_2 = (0,5 \pm 0,2)$ (при товщині зразка до 3 мм);
- $r_2 = (2,0 \pm 0,2)$ (при товщині зразка понад 3 мм).

Пристрій з опорами забезпечує можливість їх установки і закріплення на потрібній між ними відстані.

Прилад для вимірювання зразків має забезпечувати визначення їх розмірів з похибкою $\pm 0,02$ мм.

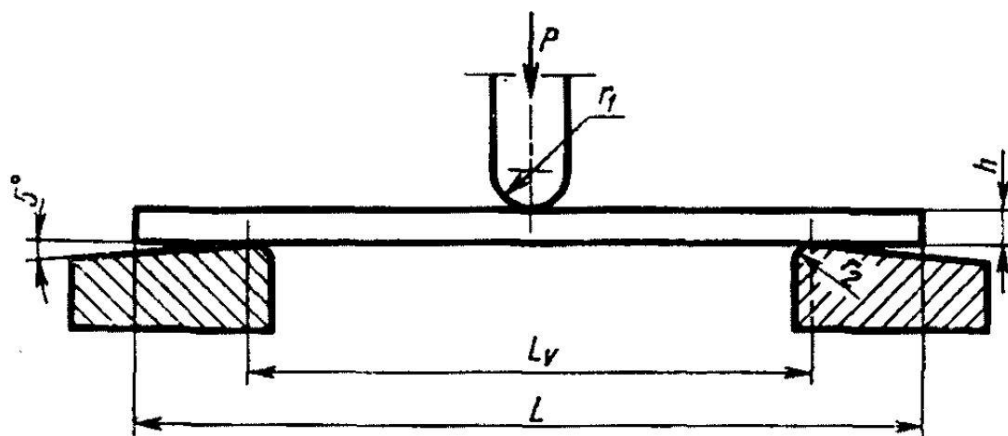


Рис. 2.5. Пристрій для випробування зразків полімерного матеріалу на згин

2.3.3. Підготовка та проведення випробувань

Перед випробуванням в середній третині довжини зразка вимірюють ширину зразка з похибкою $\pm 0,1$ мм і товщину – з похибкою $\pm 0,02$ мм.

Відстань між опорами l_v дорівнює $(15 \dots 17)h$. Цю відстань вимірюють з похибкою $\pm 0,5$ %.

Зразок встановлюють на опори широкою стороною (рис. 2.5). Якщо зразок піддавався механічній обробці з одного боку, то його кладуть на опори тією стороною, яка не піддавалася механічній обробці. Навантаження зразка проводять посередині між опорами плавно, без поштовхів.

Швидкість відносного переміщення навантажувального наконечника і опор V має бути встановлена в нормативно-технічній документації на матеріал. За відсутності таких вказівок швидкість V в мм/хв. обчислюють за формулою:

$$V = 0,01 \frac{l_v^2}{6h}, \quad (2.14)$$

де l_v – відстань між опорами, мм; h – товщина зразка, мм.

Швидкість відносного переміщення навантажувального наконечника (V) при $l_v/h = (16 \pm 1)$ дорівнює $h/2$. Допускається при контролі якості матеріалів використовувати швидкість 10 мм/хв.

Можливі два випадки деформування та руйнування зразка:

1. Зразок руйнується при заданій величині прогину або до досягнення цієї величини. При цьому визначають навантаження і прогин при руйнуванні.

2. Зразок не руйнується при заданій величині прогину або до досягнення цієї величини. Навантаження визначають у момент досягнення заданого прогину.

Випробування продовжують до руйнування зразка або до досягнення заданого максимального навантаження. У будь-якому з цих випадків визначають навантаження і прогин.

Якщо при випробуванні зразка максимальне значення навантаження спостерігається до досягнення заданої величини прогину, то визначають максимальне навантаження і відповідне йому значення прогину.

Якщо зразок руйнується поза середньою третиною відстані між опорами, то отриманий результат не зараховують і проводять повторне випробування на новому зразку.

2.3.4. Обробка результатів

Згинальне напруження (σ_z) в МПа при навантаженні обчислюють за формулою

$$\sigma_z = \frac{M}{W}, \quad (2.15)$$

де M – згинальний момент, Н·мм; W – момент опору поперечного перерізу зразка, мм³.

Згинальний момент (M) в Н·мм обчислюють за формулою

$$M = \frac{Pl_v}{4}, \quad (2.16)$$

де P – навантаження, Н; l_v – відстань між опорами, мм.

Момент опору поперечного перерізу зразка (W) в мм³ обчислюють за формулою

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6}, \quad (2.17)$$

де b – ширина зразка, мм; h – товщина зразка, мм.

Звідси

$$\sigma_z = \frac{3Pl_V}{2bh^2}. \quad (2.18)$$

Максимальне напруження у зразку, з врахуванням горизонтальної складової згинального моменту, обчислюють за формулою:

$$\sigma_z = \frac{Pl_V}{2bh^2} \left(1 + \frac{4Z^2}{l_V^2} \right), \quad (2.19)$$

де Z – прогин зразка посередині між опорами, мм.

2.4. Визначення модулів пружності

2.4.1. Визначення модуля пружності при розтягу

За діаграмою деформування визначають величини навантаження, що відповідають величинам відносного видовження 0,1 и 0,3%. Допускаються менші значення відносного видовження для зразків, якщо зразки руйнуються при відносних деформаціях, менших 0,5%.

Модуль пружності за розтягу (E_p) в МПа розраховують за формулою:

$$E_p = \frac{(P_2 - P_1) \cdot l_0}{F_0 \cdot (\Delta l_2 - \Delta l_1)}, \quad (2.20)$$

де P_2 – навантаження, що відповідає відносному видовженню 0,3%, Н; P_1 – навантаження, що відповідає відносному видовженню 0,1%, Н; l_0 – розрахункова довжина зразка, мм; F_0 – площа початкового поперечного перерізу зразка, мм²; Δl_2 – видовження, що відповідає навантаженню P_2 , мм; Δl_1 – видовження, що відповідає навантаженню P_1 , мм.

2.4.2. Визначення модуля пружності при стиску

За діаграмою деформування визначають величини навантаження, що відповідають відносним деформаціям 0,1 та 0,3%.

Допускаються менші значення відносної деформації при стиску зразків, що мають менші деформації при руйнуванні.

Модуль пружності при стиску (E_c) в МПа розраховують за формулою

$$E_c = \frac{(P_2 - P_1) \cdot h_0}{F_0 (\Delta h_2 - \Delta h_1)}, \quad (2.21)$$

де P_2 – навантаження, що відповідає відносному видовженню 0,3%, Н; P_1 – навантаження, що відповідає відносному видовженню 0,1%, Н; h_0 – початкова (базова) висота зразка, мм; F_0 – площа початкового поперечного перерізу зразка, мм²; Δh_2 – зміна висоти або бази, що відповідає навантаженню P_2 , мм; Δh_1 – зміна висоти або бази, що відповідає навантаженню P_1 , мм.

2.4.3. Визначення модуля пружності при згині

За діаграмою визначають значення навантаження і прогину, що відповідають значенням відносної деформації крайніх волокон 0,1 і 0,3%.

Модуль пружності при згині (E_{32}) в МПа обчислюють за формулою:

$$E_{32} = \frac{l_V^2 (P_2 - P_1)}{4bh^3 (Z_2 - Z_1)}, \quad (2.22)$$

де l_V – відстань між опорами, мм; P_2 – навантаження за відносної деформації крайніх волокон 0,3% , Н; P_1 – навантаження за відносної деформації крайніх волокон 0,1% , Н; b – ширина зразка, мм; h – товщина зразка, мм; Z_2 – прогин зразка, за відносної деформації крайніх волокон 0,3%, мм; Z_1 – прогин зразка, за відносної деформації крайніх волокон 0,1%, мм.

2.5. Визначення коефіцієнтів початкового тертя і тертя ковзання

Даний метод використовується для визначення коефіцієнтів початкового тертя і тертя ковзання полімерних плівок і листів при ковзанні їх один по одному при певних умовах випробування.

Метод дозволяє отримувати емпіричні дані, необхідні для контролю якості плівки при її виробництві.

2.5.1. Вимоги до зразків

Зразки для випробування [ГОСТ 27492], які розміщуються на площині, вирізують в машинному напрямку так, щоб їх довжина в цьому напрямку становила 250 мм, а ширина 130 мм. Зразок плівки, призначений для фіксації на полозках, повинен мати номінальну товщину не більше 0,25 мм і форму квадрата зі стороною 120 мм. Зразки листового полімерного матеріалу мають бути

плоскими і не мати слідів викривлення. Краї зразків повинні бути гладко закруглені. Випробовують по 5 зразків кожної проби.

Потрібно дотримуватися особливої обережності при роботі зі зразками. На поверхні випробувального зразка не повинно бути слідів пилу, пуху, відбитків пальців і будь-яких сторонніх речовин, що можуть змінити поверхневі характеристики зразка.

Перед початком випробувань, при необхідності, зразки піддають кондиціюванню при температурі $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ і відносній вологості $(50 \pm 5)\%$ протягом 40 год.

Випробування необхідно проводити в стандартній лабораторній атмосфері, при температурі $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ і відносній вологості $(50 \pm 5)\%$,

2.5.2. Вимоги до апаратури

Полозки. Використовується металева квадратна пластина зі стороною 65 мм, товщиною близько 6 мм із закріпленням на одному кінці рим-болтом. Для закріплення полімерного листа використовується двостороння липка стрічка. Загальна маса полозків і зразка має становити (200 ± 5) г.

Несуча площа. Полірований пластмасовий, дерев'яний або металевий лист 150×300 мм.

Нейлонова мононитка діаметром $(0,33 \pm 0,05)$ мм, здатна витримувати вантаж не менше 3,6 кг.

Блоки з малим тертям. Блок з матеріалу типу фенопласт, змонтований з кульковим підшипником.

Основа. Для підтримки несучої площини необхідна дерев'яна або металева основа розміром 200×380 мм.

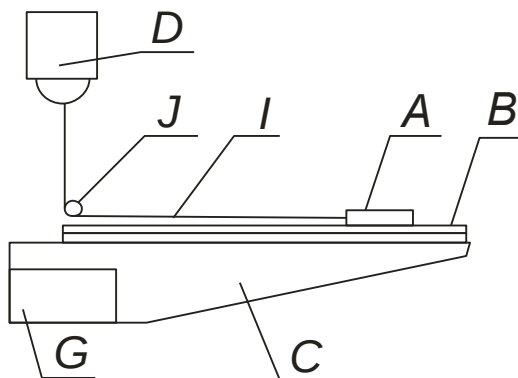


Рис. 2.6. Пристрій для визначення коефіцієнтів полімерних плівок: *A* – полозки, *B* – несуча площа, *C* – основа, *D* – динамометр, *I* – нейлонова нитка, *J* – блок з малим тертям, *G* – затискач випробувальної машини

Прикріплюють один кінець нейлонової нитки до динамометру, пропускають нитку через блок і підвішують до її кінця вантаж відомої маси.

Встановлюють швидкість руху затискувача (150 ± 30) мм/хв. Попередньо протирають основу для видалення сторонніх речовин і накладають уздовж основи дві смуги двосторонньої липкої стрічки так, щоб відстань між центральними осями стрічок було близько 100 мм.

Кладуть несучу площину на смуги клейкої стрічки і щільно притискають.

2.5.3. Підготовка та проведення випробувань

Полоски необхідно встановити на несучій площині дуже обережно і м'яко так, щоб не виникало додаткового зчеплення з поверхнею площини. Високий початковий коефіцієнт тертя може бути викликаний надмірним тиском на полоски при їх установці на несучій площині.

Відзначають на шкалі діаграми середнє значення сили при рівномірному русі поверхонь одна відносно одної на відстані 130 мм. Ця сила дорівнює кінетичній силі і зазвичай нижча, ніж статична сила, яка необхідна для початку руху.

Для кожного наступного випробування використовують новий комплект зразків.

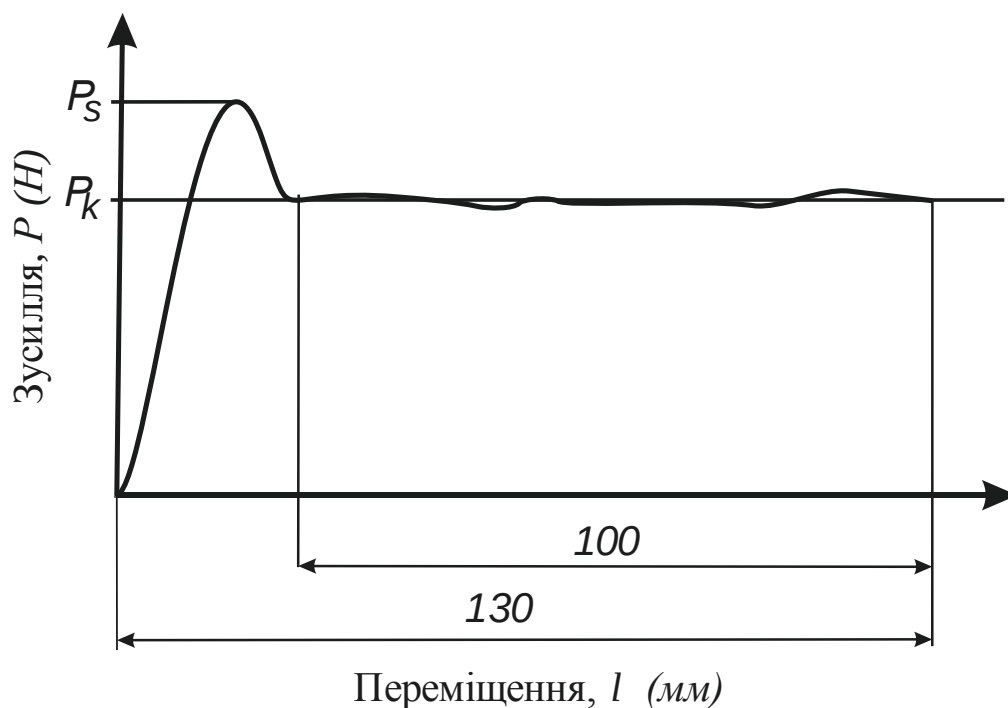


Рис. 2.7. Діаграма залежності зусилля від переміщення та її обробка

2.5.4. Обробка результатів

Переводимо величину зусилля ($1\text{Н} = 101.97\text{ г}$) та підставляємо у рівняння. Статичний коефіцієнт тертя

$$\mu_s = \frac{P_s}{m}, \quad (2.23)$$

де P_s – максимальне значення сили, г; m – вага полозків, г.

Динамічний коефіцієнт тертя

$$\mu_k = \frac{P_k}{m}$$

де P_k – значення рушійної сили при ковзанні, г.

2.6. Обробка та реєстрація результатів випробувань

При числовому вираженні результатів випробувань визначають середнє значення визначеного показника та показники статистичної обробки.

Припустимо, що в ході випробувань отриманий ряд окремих експериментальних значень якої-небудь характеристики матеріалу

$$X_1, X_2, X_3, \dots, X_i, \dots, X_N, \quad (2.24)$$

де N – загальна кількість окремих значень показника, що визначаються та беруться до розрахунку.

Визначають такі статистичні характеристики:

1. Середнє арифметичне (математичне очікування) показника, що визначається за формулою:

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{N}. \quad (2.25)$$

2. Середнє логарифмічне значення (при обробці результатів, коли має місце великий розкид результатів).

Розраховувати середнє логарифмічне показника, що визначається, рекомендується, наприклад, при визначенні довговічності (витривалості) – статичної, динамічної (втома) і т.п. В цих випадках замість вихідних чисел Y_i оперують з їх логарифмами, враховуючи як індивідуальне значення $X_i = \lg Y_i$.

В кінці розрахунку знаходять $\bar{Y} = 10^{\bar{X}}$.

3. Стандартне відхилення окремих значень визначається за формулою:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{N - 1}}. \quad (2.26)$$

4. Стандартне відхилення середнього значення визначають таким чином:

$$\bar{S} = \frac{S}{\sqrt{N}}.$$

5. Границі довірчого інтервалу $2\Delta X$, в яких знаходиться значення показника X , визначається таким чином:

- для нижньої границі $\bar{X} - \Delta X$,
- для верхньої границі $\bar{X} + \Delta X$,

де ΔX – ймовірне відхилення показника X від отриманого середнього значення $\bar{X}$,

ΔX вираховують за формулою:

$$\Delta X = \frac{t \cdot S}{\sqrt{N}} = t \cdot \bar{S} = Q \cdot S, \quad (2.27)$$

де $Q = \frac{t}{\sqrt{N}}$; t - критерій точності за табл.7 (визначають, виходячи з заданої точності і кількості експериментів N).

6. Коефіцієнт варіації

$$V = \frac{\bar{S}}{\bar{X}} \cdot 100\%.$$

7. Відносна помилка

$$\varepsilon = \frac{\Delta X}{\bar{X}} \cdot 100\%.$$

Таблиця 2.3. Значення критерію t розподілення нормованих відхилень в малій вибірці для трьох величин ймовірності α і Q (при двосторонній довірчій ймовірності)

Кількість зразків N	Q для $\alpha = 0,95$	t для величин ймовірності α		
		0,90	0,95	0,99
2	8,98	6,314	12,71	63,66
3	2,48	2,920	4,303	9,925
4	1,59	2,353	3,182	5,841
5	1,24	2,132	2,776	4,604
6	1,05	2,015	2,571	4,032
10	0,715	1,833	2,262	3,250
15	0,554	1,761	2,145	2,977
20	0,455	1,725	2,086	2,845
25	0,413	1,711	2,064	2,797

3. ОПИС, БУДОВА ТА ПОРЯДОК РОБОТИ З УНІВЕРСАЛЬНОЮ ВИПРОБУВАЛЬНОЮ МАШИНОЮ СЕРІЇ TIRA-TEST

3.1. Загальні відомості про випробувальну машину TIRAtest-2151

Універсальна випробувальна машина TIRAtest-2151 (рис.3.1) призначена для визначення механічних властивостей металів, пластмас, волокон, композиційних матеріалів тощо.

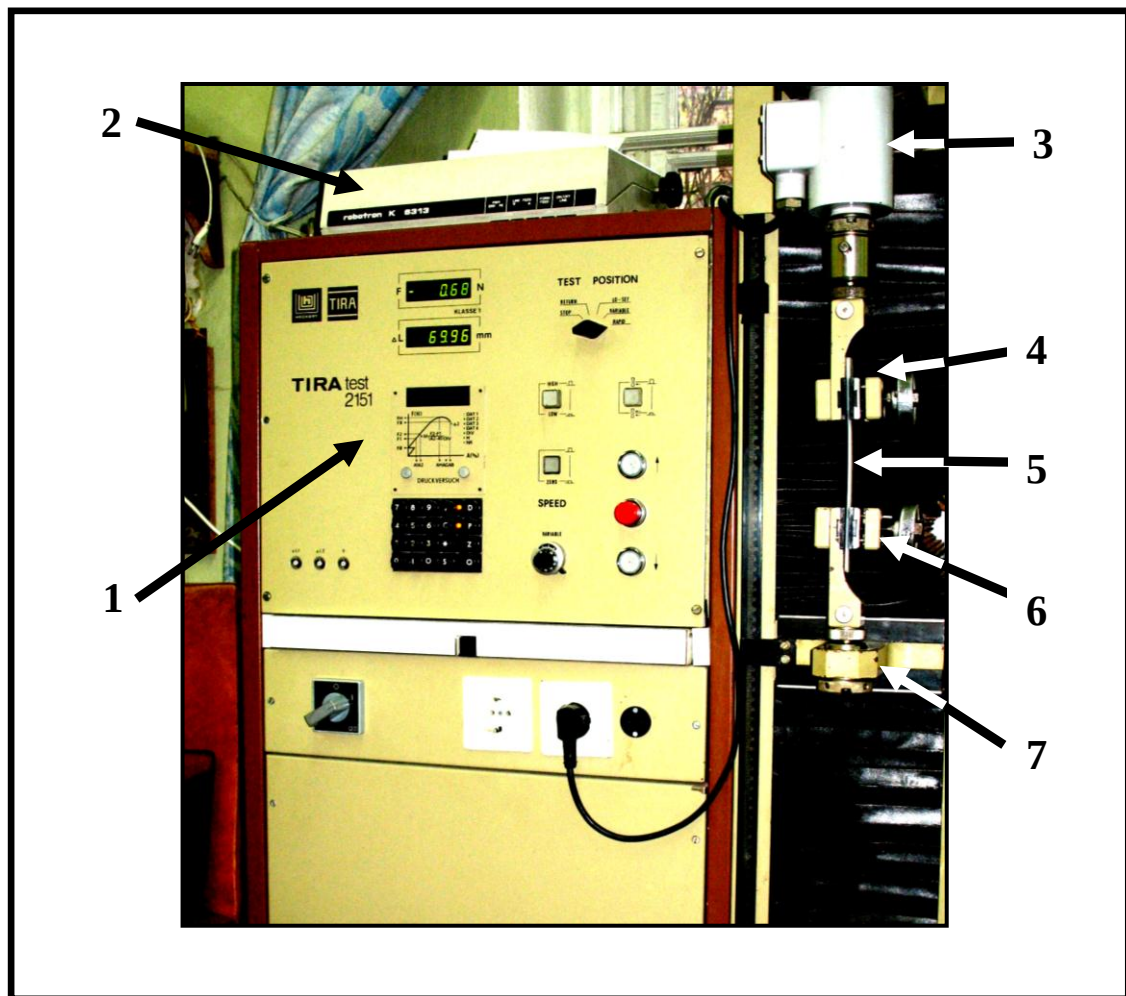


Рис. 3.1. Загальний вигляд випробувальної машини TIRAtest-2151:

1 – пульт керування; 2 – пристрій для друкування ROBOTRON K6313;
3 – динамометр; 4 – нерухомий (верхній) затискувач; 5 – випробувальний зразок; 6 – рухомий (нижній) затискувач; 7 – рухома траверса.

За допомогою універсальної випробувальної машини TIRAtest-2151 визначаються характеристики міцності і деформації матеріалів з максимальним зусиллям до 5 кН.

Режими навантаження та деформування		
1). Розтяг, стиск або згин із заданою постійною швидкістю деформування	2). Випробування на повзучість при постійному або циклічному навантаженні	3). Вимірювання релаксації напружень при постійній або циклічній деформації

Особливості випробувальної машини TIRAtest-2151		
1). Реєстрація та обробка результатів вимірювань за допомогою мікропроцесора	2). Можливість здійснювати повні цикли випробувань, що керуються процесором	3). Автоматичне визначення характеристик з друкуванням протоколу та статистики
4). Встановлена система виявлення помилок, що можуть бути допущені при вводі даних	5). Простий ввід даних, що керується оператором, за допомогою клавіатури та застосуванням світлодіодів	6). Автоматичне повернення затискувачів після руйнування зразків або при досягненні заданої деформації

Технічні дані випробувальної машини TIRAtest-2151			
За навантаженням		За деформацією	
Максимальне випробувальне навантаження, кН	5.0	Максимальне переміщення траверси, мм	800
Межі зміни навантаження, кН	від 0.01 до 5.0	Діапазон зміни швидкостей траверси, мм/хв	від 0.5 до 1000
Похибка вимірювання навантаження, %	не більше 1,0	Точність вимірювання переміщень мм	0.01
Пружність (питома деформація) випробувальної системи $8.0 \cdot 10^{-5}$ мм/Н			

3.1.1. Опис блок-схеми випробувальної машини TIRAtest-2151

Загальна блок-схема універсальної випробувальної машини **TIRAtest-2151** зображена на рис. 3.2.

Через пульт керування (поз.1 на рис.3.1) здійснюється введення попередніх даних в обчислювальну машину (режим навантаження, довжина зразка та інші параметри).

Мікропроцесор K1520 за допомогою блока керування регулює роботу вузла навантаження (електромеханічного редуктора), який через механічний зв'язок (черв'ячну передачу) здійснює переміщення рухомої траверси (поз.7 на рис. 3.1) разом із закріпленим на ній рухомим затискувачем 6 та навантажує зразок 5.

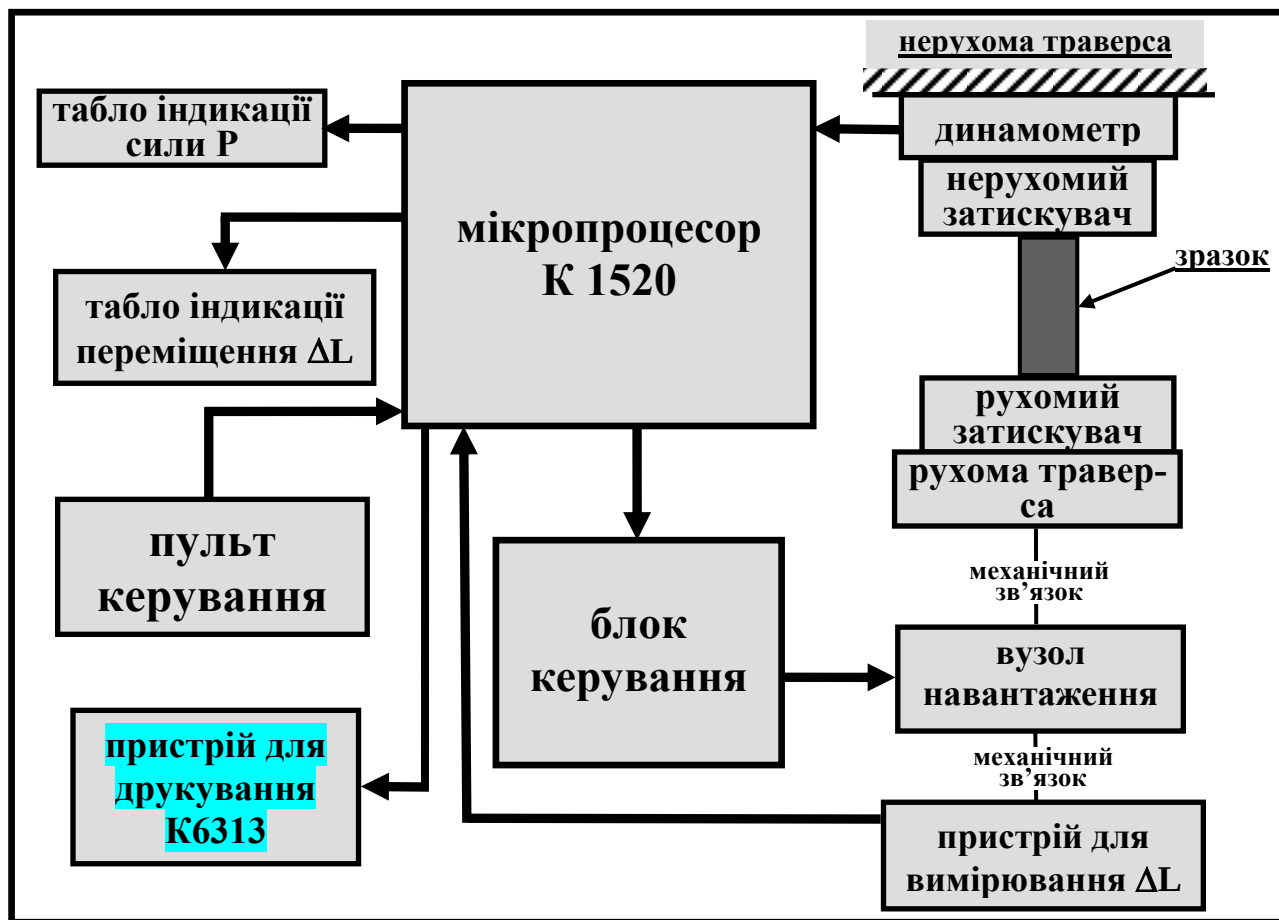


Рис. 3.2. Блок-схема випробувальної машини TIRAtest-2151

Динамометр 3 через нерухоми́й затискувач 4 вимірює силу P . Пристрій для вимірювання деформацій ΔL , закріплений на електродвигуні, що здійснює навантаження, фіксує переміщення рухомої траверси разом з рухоми́м затискувачем. Дані про силу P та деформацію ΔL надходять до мікропроцесора.

Останній запам'ятовує всю інформацію про процес деформування і в ході випробування передає ці дані на індикатори P та ΔL . По закінченні випробування мікропроцесор через пристрій для друкування ROBOTRON K6313 (поз. 2 на рис. 3.1) здійснює виведення на папір діаграми деформування та протоколу випробування.

3.1.2. Пульт керування випробувальною машиною

Пульт керування (поз.1 на рис. 3.1) універсальної випробувальної машини TIRAtest-2151 зображений на рис. 3.3.

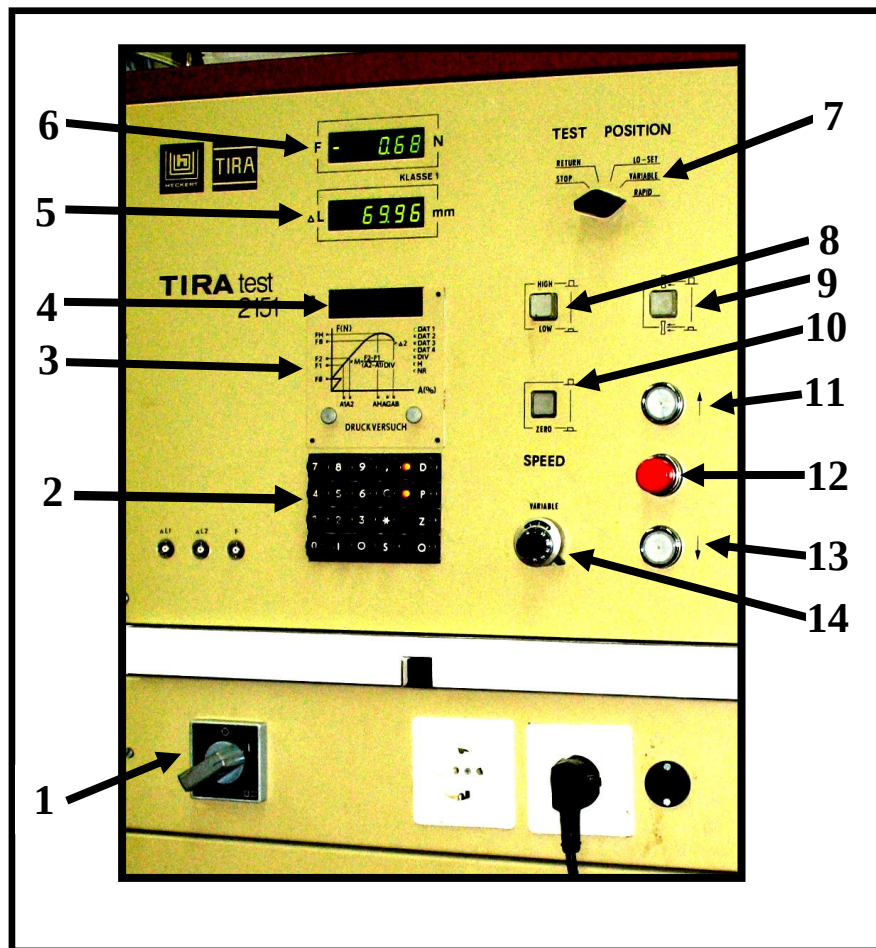


Рис. 3.3. Пульт керування випробувальною машиною TIRAtest-2151: 1 – ручка для вмикання та вимикання випробувальної машини; 2 – клавіатура вводу даних; 3 – програмний шаблон; 4 – табло індикації даних вводу та виводу; 5 – табло індикації деформації ΔL ; 6 – табло індикації сили P ; 7 – перемикач режиму роботи; 8 – клавіша зниження швидкості переміщення рухомого затискувача у 40 разів (при натиснутій клавіші); 9 – клавіша підключення екстензометра; 10 – клавіша ZERO (тимчасова зупинка роботи машини); 11, 13 – клавіші переміщення рухомого затискувача вгору або вниз відповідно; 12 – клавіша зупинки роботи машини; 14 – ручка регулювання швидкості.

Ручкою 1 здійснюють загальне вмикання та вимикання машини. Клавіатура 2 призначена для вводу даних, необхідних для роботи, для виводу даних, що накопичуються у процесорі під час випробувань, та для керування протоколами випробувань.

За допомогою програмних шаблонів 3, що вибираються у залежності від конкретних цілей випробувань, задаються ті або інші режими роботи машини. Інформація про значення величин, що вводяться у мікропроцесор або утворюються у процесі випробування, поступає на табло індикації даних 4.

На два табло індикації сили та переміщення (поз. 5 та 6) безперервно надходить інформація про силу P , що прикладена до динамометра (поз. 3 на рис. 3.1).

Перемикачем 7 встановлюють необхідні режими роботи машини, як описано нижче. Натискання клавіші 8 ("**HIGH – LOW**") зменшує швидкість переміщення рухомої траверси 7 (рис. 3.1) у 40 разів (при натиснутій клавіші) у порівнянні зі швидкістю, що встановлена ручкою регулювання швидкості 14.

Клавіша 9 керує (у разі необхідності) роботою екстензометрів, що можуть бути підключені до випробувальної машини. Клавішею 10 можна здійснити тимчасову зупинку роботи випробувальної машини із зберіганням усіх введених даних та даних, що знаходяться у мікропроцесорі на даний час. Після відтиснення цієї клавіші робота машини продовжиться.

За допомогою клавіш (кнопок) 11, 12 та 13 здійснюється керування переміщенням робочої траверси ("вгору", "стоп", "вниз" відповідно) та починається (клавіші 11, 12) або припиняється (клавіша 12) в автоматичному режимі.

3.1.3. Регулювання швидкості переміщення рухомої траверси

Швидкість деформування зразків під час випробувань встановлюють за допомогою регулятора 14 (рис. 3.4), що знаходиться на пульті керування та зображений на рис. 3.3. Регулятор має дві шкали відліку швидкостей переміщення рухомої траверси: внутрішня шкала з ціною поділки 1 мм/хв (шкала 2 на рис. 3.4) та зовнішня шкала з ціною поділки 100 мм/хв (шкала 3).

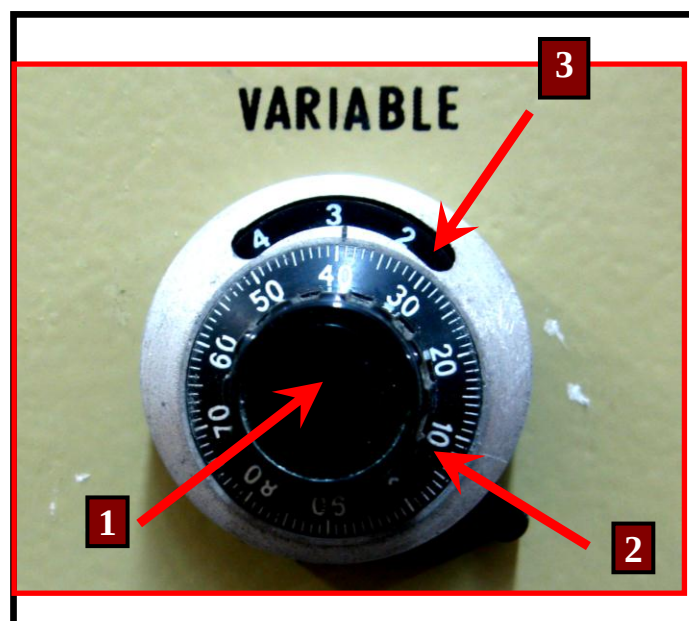


Рис. 3.4. Регулятор швидкості переміщення рухомої траверси випробувальної машини TIRAtest-2151: 1– ручка регулятора; 2 – шкала з ціною поділки 1 мм/хв; 3 – шкала з ціною поділки 100 мм/хв.

Таким чином, для встановлення швидкості деформування (швидкості рухомого затискувача) необхідно виконати такі дії:

- представити значення швидкості у вигляді $V = 100A + B$ (мм/хв);
- проти відлікової риски, що нанесена на корпусі регулятора, шляхом обертання ручки 1 розташувати на зовнішній шкалі значення A ;
- таким же чином розташувати на внутрішній шкалі значення B .

3.1.4. Перемикач режимів роботи випробувальної машини

Режими роботи машини встановлюють перемикачем (поз. 7 на рис. 3.3), що знаходиться на пульті керування та зображений на рис. 3.5.

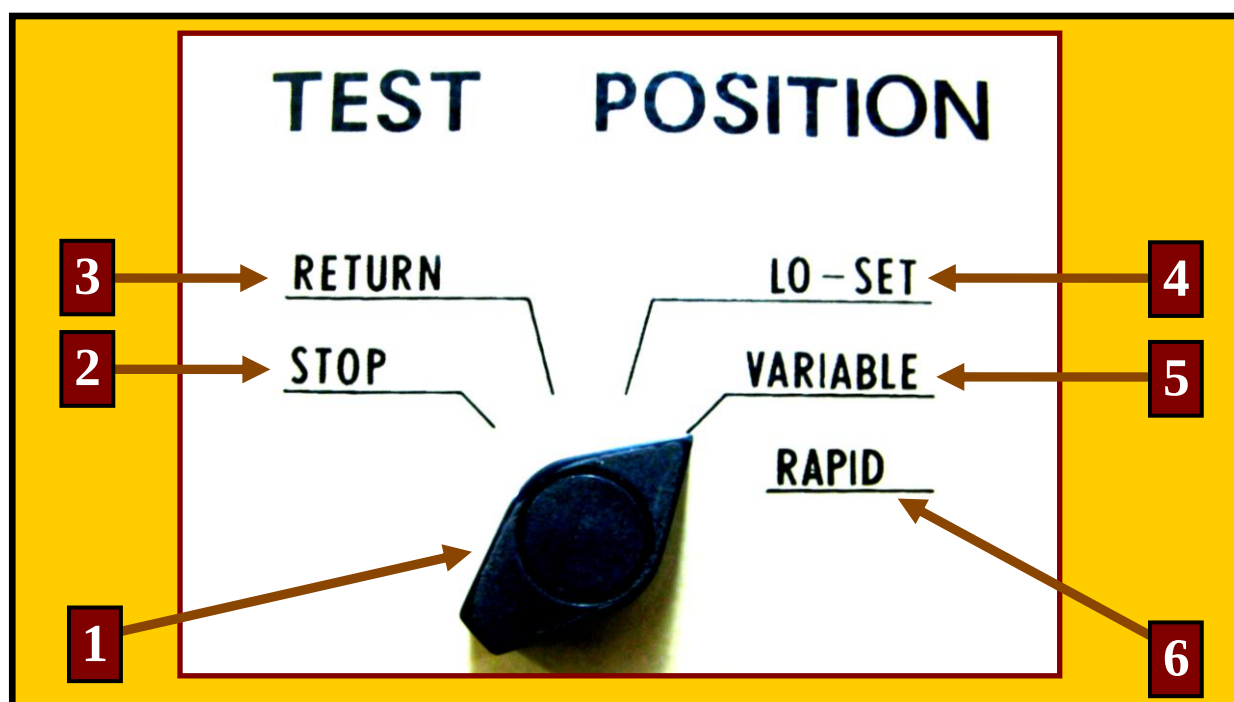


Рис. 3.5. Перемикач режимів роботи машини TIRAtest-2151: 1 – ручка перемикача; 2 – положення (режим) "TEST-STOP"; 3 – положення "TEST-RETURN"; 4 – положення "POSITION-LO-SET"; 5 – положення "POSITION-VARIABLE"; 6 – положення "POSITION-RAPID".

При розташуванні ручки перемикача 1 у лівому положенні (положення "TEST") робота машини відбувається у автоматичних режимах, що здійснюються за допомогою мікропроцесора:

- режим "TEST-STOP" (поз. 2 на рис. 3.5): після закінчення роботи активний затискувач зупиняється і повертається у вихідне положення лише після натискання клавіш переміщення рухомого затискувача вгору або вниз (поз. 11 або 13 на рис. 3.3);

– режим **"TEST-RETURN"** (поз. 3 на рис. 3.5): після закінчення випробування (наприклад, руйнування зразка) активний затискувач автоматично повертається у вихідне положення з наступним записом діаграми деформування та (або) протоколу випробування.

При розташуванні ручки перемикача 1 у правому положенні (положення **"POSITION"**) робота машини відбувається у мануальних режимах, що здійснюються оператором:

– режим **"POSITION-L0-SET"** (поз. 4) – встановлення рухомого затискувача на задану відстань від нерухомого (її потрібно попередньо задати при загальному вводі даних);

– режим **"POSITION-VARIABLE"** (поз. 5) – переміщення рухомої траверси із заданою швидкістю (швидкість можливо змінювати у процесі переміщення траверси регулятором (рис. 3.4);

– режим **"POSITION-RAPID"** (поз. 6) – переміщення траверси з максимальною швидкістю (прискорене встановлення рухомого затискувача).

3.1.5. Клавіатура вводу даних у пам'ять процесора

Дані у мікропроцесор випробувальної машини вводять за допомогою клавіатури (поз. 2 на рис. 3.3), що знаходиться на пульті керування та зображена на рис. 3.6.

Клавіатура вводу даних містить такі клавіші:

"0"..."9" – клавіші вводу чисел;

"," – десяткова кома;

C (поз. 1) – клавіша анулювання неправильно введених даних;

D (поз. 2) – клавіша включення та виключення друку діаграми (якщо індикатор поблизу клавіші світиться, то діаграму буде надруковано);

P (поз. 3) – включення та виключення друку протоколу (якщо індикатор поблизу клавіші світиться, то протокол буде надруковано);

Z (поз. 4) – друкування сертифіката випробування (результатів статистичної обробки);

Q (поз. 5) – анулювання недійсного випробування (наприклад, зразок вислизнув із затискувача);

"*" (поз. 6) – команда введення даних та їх друкування (подається після набору даних у режимі **"INPUT"** та їх індикації на табло 4, рис. 3.3);

I (поз. 9) – клавіша **"INPUT"** (введення даних);

O (поз. 8) – клавіша **"OUTPUT"** (виведення даних);

S (поз. 7) – клавіша виділення тих характеристик, для яких потрібно провести статистичну обробку (кількість характеристик для статистичної обробки – не більше 3).

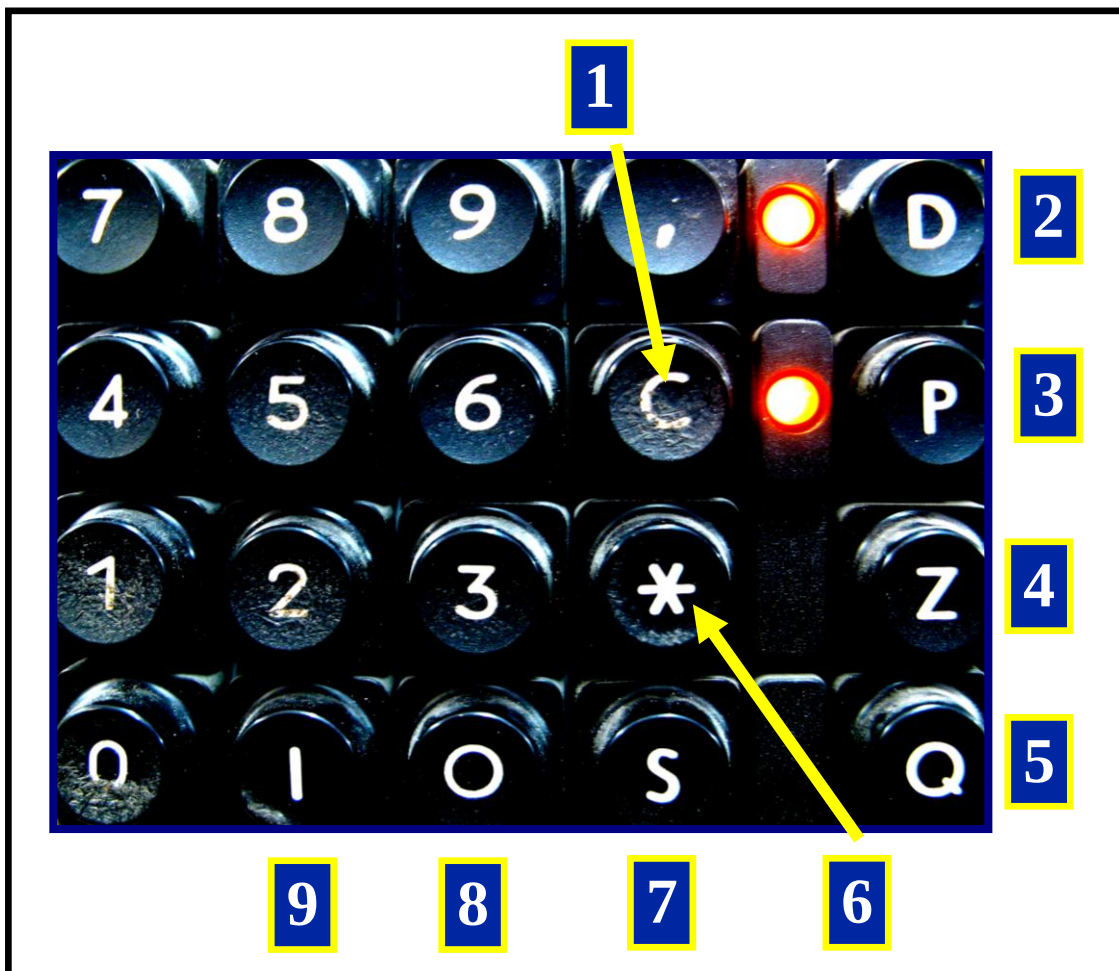


Рис. 3.6. Клавіатура вводу даних випробувальної машини TIRAtest-2151:

1 – анулювання неправильно введених даних; 2 – включення та виключення друку діаграми; 3 – включення та виключення друку протоколу; 4 – друкування сертифіката випробування; 5 – анулювання недійсного випробування; 6 – введення та друкування даних; 7 – виділення тих характеристик, для яких потрібно провести статистичну обробку; 8 – клавіша **"OUTPUT"** (виведення даних); 9 – клавіша **"INPUT"** (введення даних).

3.1.6. Функції програмних шаблонів задавання режиму випробувань

Програмні шаблони дають можливість здійснювати різні режими навантаження та деформування зразків. Для вводу вхідних даних слід виконати такі дії:

1. Відповідний шаблон встановлюють на пульті керування (поз. 3 на рис. 3.3) та активізують натисканням клавіші введення даних "I" (поз. 9 на рис. 3.6).

2. Після натискання клавіші "I" на шаблоні загоряється зелений індикатор напроти параметра, значення якого потрібно ввести за допомогою клавіатури вводу даних у вигляді набору цифр від 0 до 9 (у разі потреби використовується кома).

3. Після набору даних, їх індикації на табло 4 (рис. 3.3) та перевірки правильності введення натискають клавішу " * " (поз. 6 на рис. 3.6), і дані надходять у мікропроцесор.

4. У разі помилки при введенні, дані видаляють натисканням клавіші "C" (поз. 1) та вводять повторно.

5. Після вводу автоматично відбувається перехід на наступний параметр.

Коротко про порядок введення:

"I" → введення числа → " * " → друкування.

Невірно введені дані анулюються натисненням клавіші "C".

Програмний шаблон "**Druckersuch**" для вводу даних у процесор випробувальної машини TIRAtest-2151 та параметри, що вводять та отримують за його допомогою, зображені на рисунках 3.7 і 3.8. Цей шаблон дає можливість випробувати зразки на розтяг та стиск із заданою швидкістю деформування, проводити розрахунок механічних характеристик зразків та друкувати діаграми деформування і протоколи випробувань.

Введення даних (режим "INPUT", рис. 3.7):

DAT1 ... DAT4 (поз. 1) – довільні числа (дата проведення випробування, номер випробуваного зразка, номер випробування і т.д.);

DIV (поз. 2) – площа поперечного перерізу зразка, мм²;

H (поз. 3) – робоча довжина зразка, мм;

AG (поз. 4) – гранична відносна деформація, при досягненні якої деформування зразку припиняється, %;

F0 (поз. 5) – сила, з якої починається запис діаграми деформування, Н;

F1, F2 (поз. 6, 7) – значення сил для визначення модуля пружності, Н;

Δ2 (поз. 8) – спад сили (Н) для розпізнання процесором моменту розриву зразка.

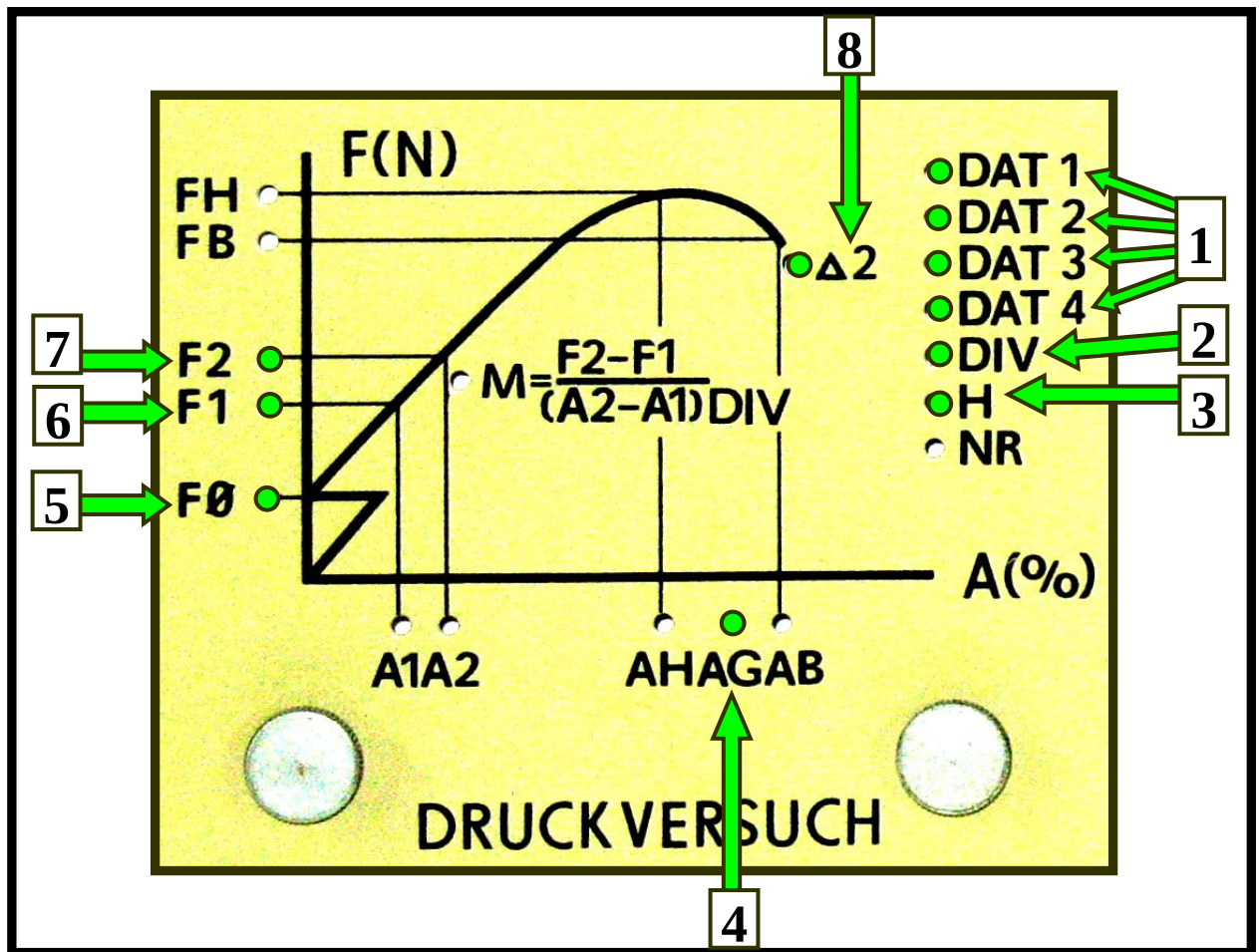


Рис. 3.7. Вхідні дані програмного шаблону "Druckersuch": 1 – довільні числа; 2 – площа поперечного перерізу зразка; 3 – робоча довжина (висота) зразка; 4 – гранична відносна деформація; 5 – початкова сила; 6, 7 – значення сил для визначення модуля пружності; 8 – спад сили.

Виведення даних (режим "OUTPUT", рис. 3.8):

NR (поз. 1) – номер випробування;

AB (поз. 2) – деформація (%), що відповідає силі F_B ;

AH (поз. 3) – деформація (%), що відповідає силі F_H ;

A1, A2 (поз. 4 та 5) – деформації (%), що відповідають силам F_1 та F_2 ;

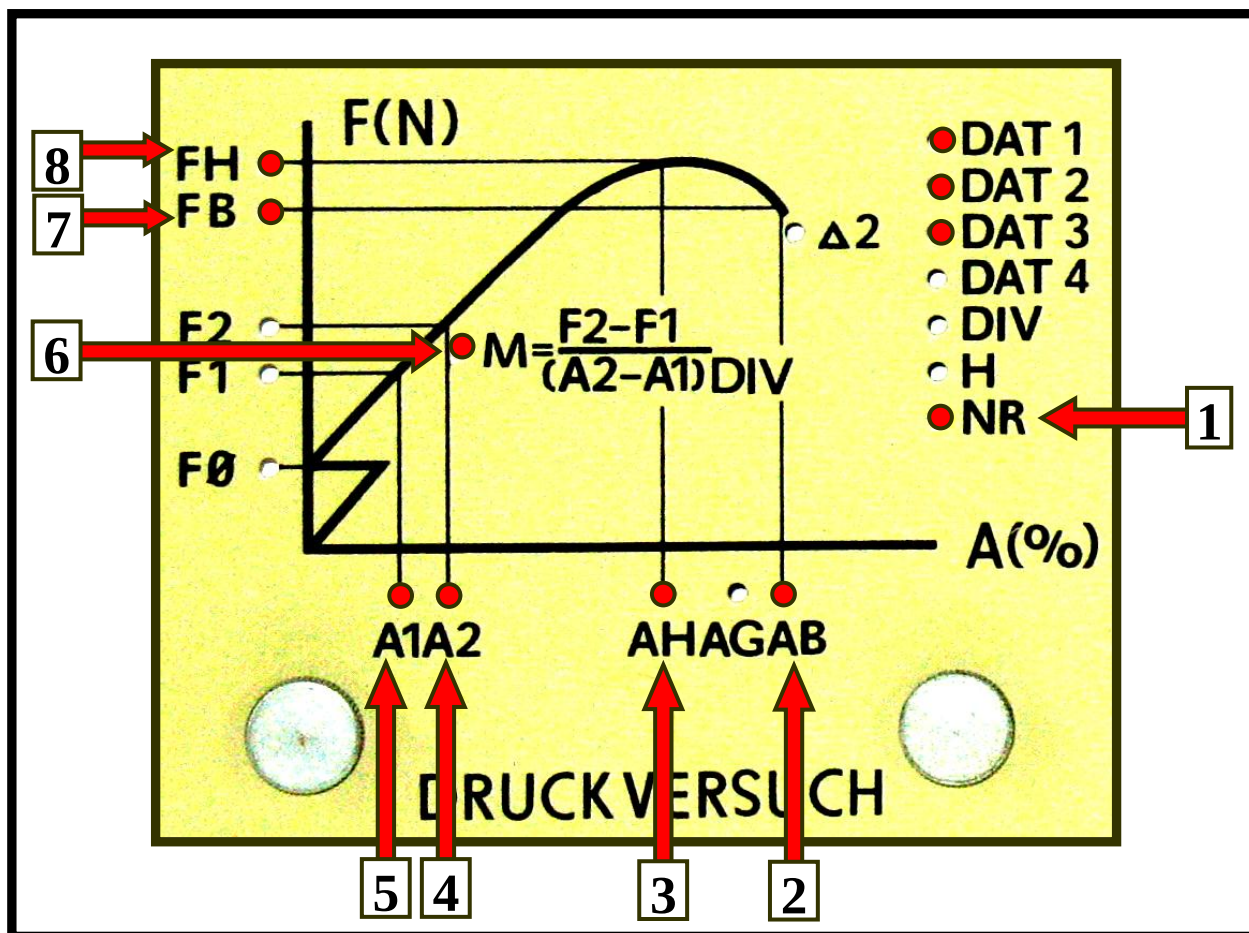


Рис. 3.8. Вихідні дані програмного шаблону "DRUCKERSUCH": 1 – номер випробування; 2,3 – деформації, що відповідають силам F_B та F_H ; 4, 5 – деформації, що відповідають силам F_2 та F_1 ; 6 – модуль пружності; 7 – сила при розриві; 8 – максимальна сила.

M (поз. 6) – модуль пружності (МПа), який обчислюється за формулою:

$$M = (F_2 - F_1) / [(A_2 - A_1) \cdot DIV].$$

F_B (поз. 7) – сила при розриві, Н;

F_H (поз. 8) – максимальна сила, Н;

Ці дані виводяться на папір разом з протоколом або на табло 4 (рис. 3.3) при натисненні клавіші "O".

3.1.7. Запис діаграм деформування за допомогою програмного забезпечення

Програмне забезпечення розроблене спеціально для реєстрації експериментальних даних основних видів випробувань при програмному та ручному керуванні, для яких і розроблено випробувальні установки. Підключення здійснюють до аналогових виходів, що знаходяться на пульті керування випробувальною машиною TIRAtest-2151 та TIRAtest-2300.

Основна керуюча програма побудована як послідовність діалогів, що дають можливість здійснювати контроль над процесом та встановлювати параметри реєстрації даних і зберігати дані експерименту в електронному вигляді для подальшого оброблення. Будова інтерфейсу програмного забезпечення дозволяє наочно спостерігати за перебігом експерименту.

Робота програми починається з запуску і на екрані монітора відображається перша вкладка **"ПОЧАТКОВІ УСТАНОВКИ"** діалогу спілкування з користувачем (рис. 3.9.).

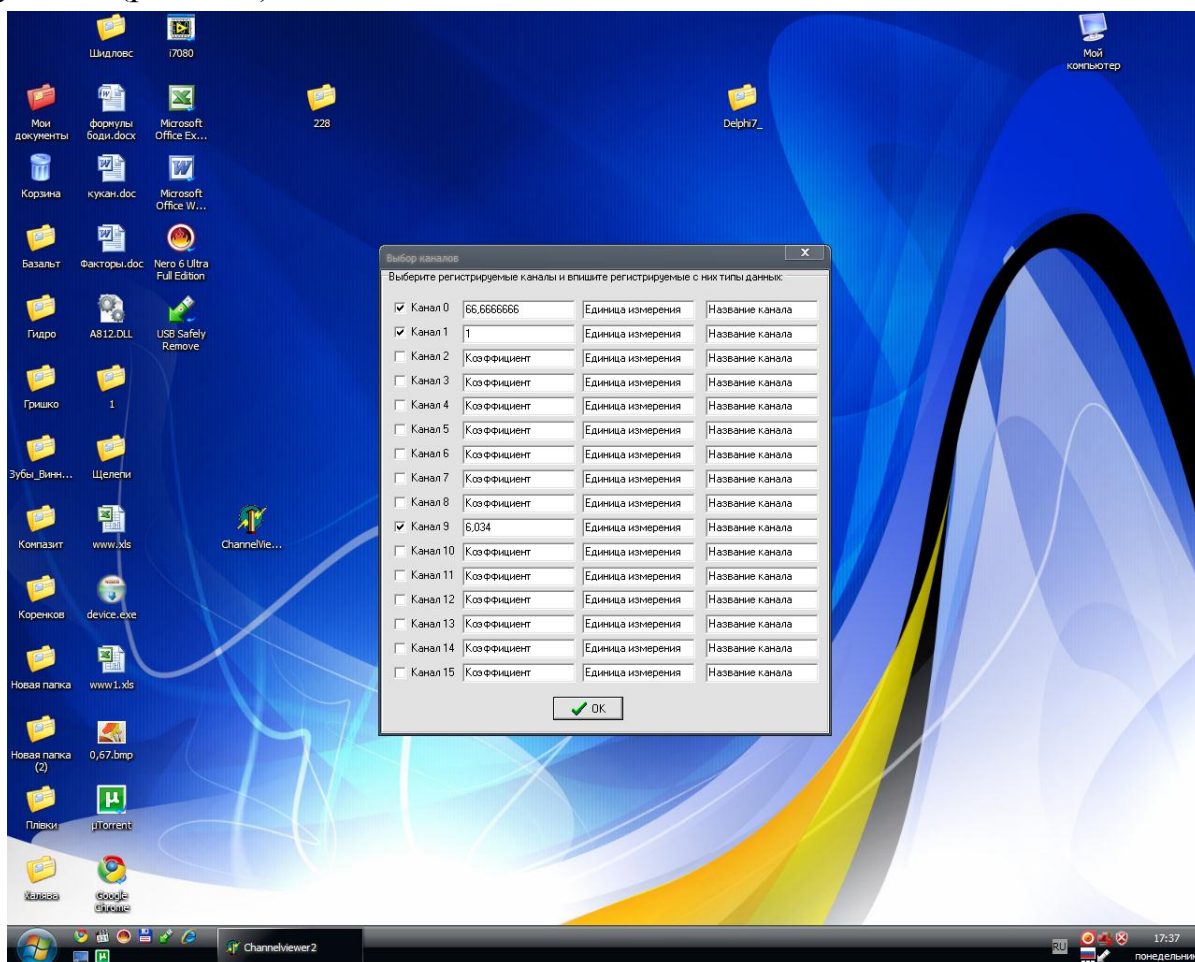


Рис. 3.9. Перша вкладка **"ПОЧАТКОВІ УСТАНОВКИ"** при запуску програми

Користувачу необхідно вибрати канали, які задіяні для реєстрації даних та обов'язково вказати коефіцієнт для переведу аналогового сигналу (від 0 до 10 В) у величину параметру, який буде реєструватися. Якщо коефіцієнт невідомий, то рекомендовано ставити «1». Без вводу коефіцієнтів наступне виконання програми неможливе. В наступних колонках вводимо назву параметру та одиницю вимірювання. Характерною особливістю є те, що при зберіганні даних назви та визірності будуть відповідати назвам, які введені у вкладці «**ПОЧАТКОВІ УСТАНОВКИ**» з врахуванням коефіцієнту.

Після закриття діалогу з'являються вкладки з графіками і панель управління (рис. 3.10.). Користувач у будь-який момент може запустити процес реєстрації даних, зупинити його, провести необхідні маніпуляції вручну.

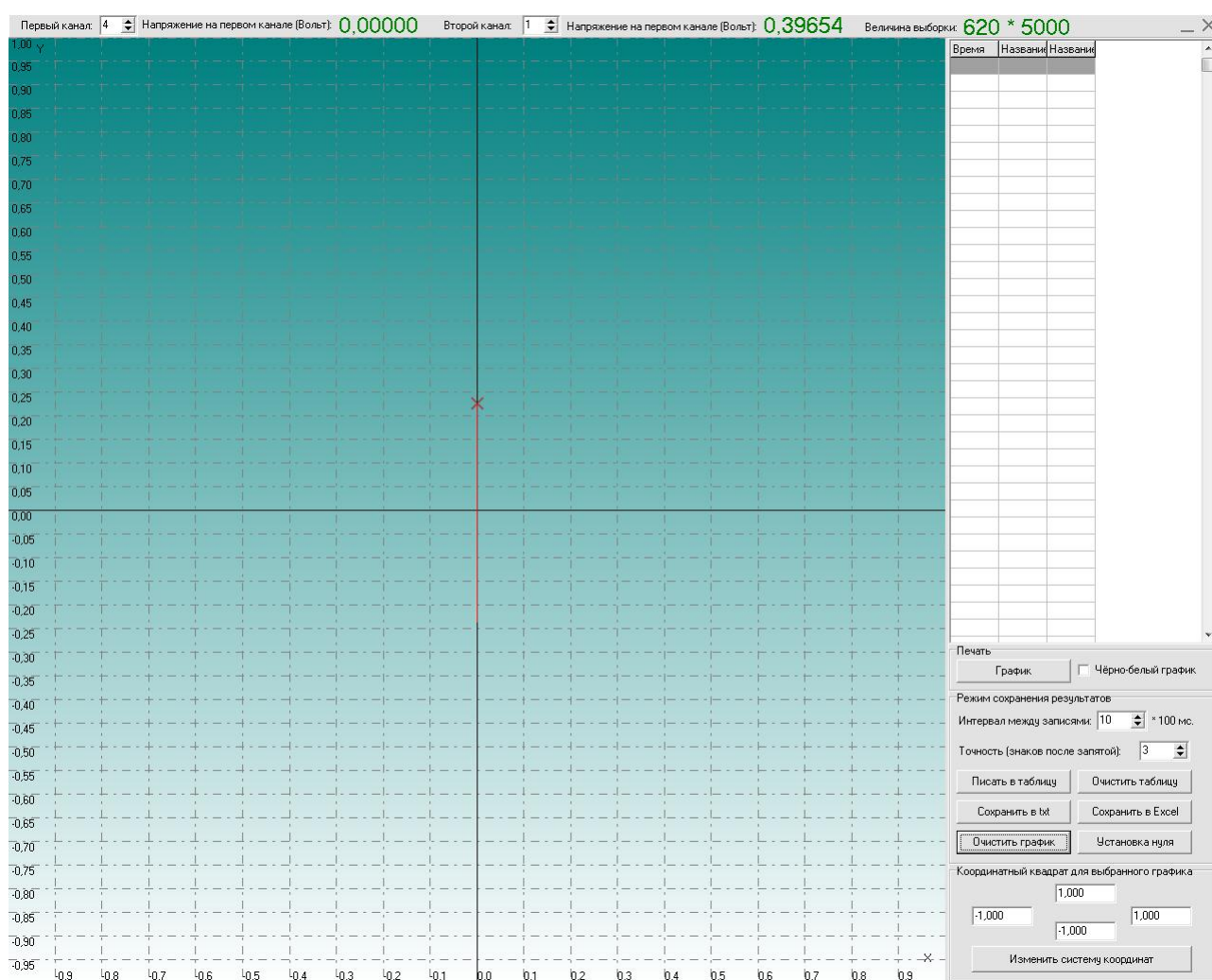


Рис. 3.10. Вкладка з графіками і панель управління

Програма може побудувати графіки залежності одного каналу відносно іншого (першого відносно четвертого або навпаки). Канали переключаються відповідними ярличками в верхній частині вкладки, де також відображається поточна зміна напруг, які надходять на даний канал.

Верхня права частина вкладки повністю присвячена збору інформації. Тут знаходиться основна таблиця, у яку програма заносить інформацію та час реєстрації цих параметрів.

У правій частині екрану знаходиться панель управління, на якій (на відповідних вкладках) містяться основні засоби налаштування, контролю і документування процесів (рис. 3.11.).

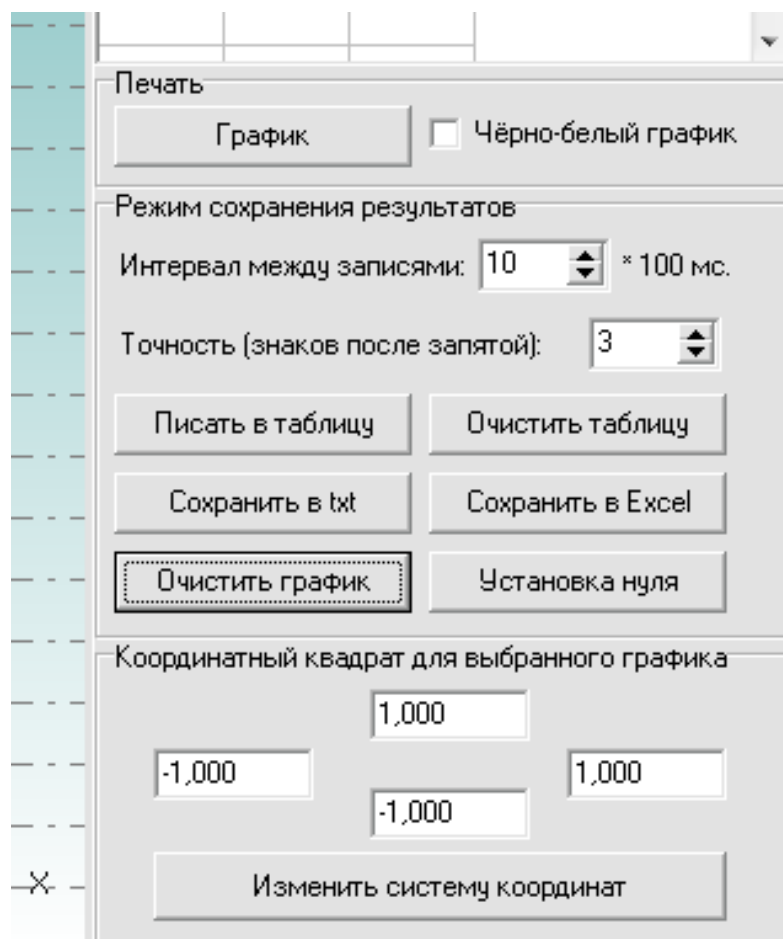


Рис. 3.11. Панель керування

Кількість знаків у числах після коми в таблицях і частота занесення даних може бути задана. *Режим збереження результатів* (на панелі керування «*Режим сохранения результатов*») необхідний для вибору інтервалу між записами («*Интервал между записями*») та точності («*Точность*» – лежить в межах від 3 до 6). Для крихких матеріалів краще приймати точність 5-6 знаків після коми («*Точність*» 5-6 знаков после запятой).

Параметр інтервалу між записами («*Интервала между записями*») містить значення інтервалу часу між фіксуванням даних (10*100 мс відповідає реєстрації даних в таблицю один раз на секунду), що надалі можна буде зберегти і проаналізувати. Значення за замовчуванням 0,1 с – мінімальне, за якого дані

фіксуються що циклу. При тривалих експериментах не рекомендується ставити мале значення даного параметра, оскільки це може привести до переповнення даними. Якщо експеримент проводитиметься на протязі значного відрізка часу, то допускається збільшення значення даного параметра на 0,5 с чи на 1 с (можна і більше).

Перед початком запису даних у таблиці необхідно натиснути на кнопку *«Установка нуля»*, що перемістить курсор у початок системи координат, при цьому затискачі повинні бути вільні від зразка.

Вибрати необхідні розміри системи координат можна, ввівши потрібні значення до відповідної комірки та натиснувши кнопку *«Изменить систему координат»*. У разі невірної введення значень, програма видає повідомлення про помилку.

Графіки можна окремо роздрукувати як кольорові або чорно-білі малюнки.

«Очистить график» – очистити графік від попереднього переміщення курсору або графік попередньо проведеного експерименту.

«Писать в таблицу» – натиснути для реєстрації даних у таблицю, які потім будуть збережені. В таблиці з'являться дані тільки обраних каналів. Користувач не може власноруч змінювати дані у цій таблиці.

«Очистить таблицу» – очищає таблицю від записаних даних попереднього експерименту.

При натисканні на кнопку *«Сохранить»* виконується експорт даних у форматі *.xls або в *.txt, та з'являється меню збереження файлу, у який будуть записані дані. Цей файл має текстовий формат і може у подальшому бути відкритим і відкоректованим редактором в одному з компонентів Microsoft Office (Word, Excel і т.д.). Це дозволяє аналізувати і статистично обробляти дані, отримані в результаті експерименту. Слід зазначити, що зберегти дані можна тільки після завершення експерименту. На практиці рекомендується зберігати дані в двох форматах: *.txt та *.xls, що забезпечує можливість подальшої ефективної роботи з результатами експерименту.

Важливою особливістю програми є те, що у будь-який момент можна зупинити процес реєстрування даних, натиснувши на кнопку *«Остановить запись»*, яка висвічується на місці *«Писать в таблицу»* після її натиснення.

Як зазначалося вище, керуюча програма може представити результати експерименту у графічно-чисельному форматі, що значно полегшує проведення статистичної обробки результатів випробування.

3.2. Дії оператора при роботі з випробувальною машиною

У табл. 3.1 наведено послідовність дій для роботи з випробувальною машиною у різних режимах (розтяг, стиск, згин та циклічне навантаження).

Таблиця 3.1. Порядок роботи при випробуваннях на розтяг та стиск

№ п/п	Дія оператора	
1	Увімкнути випробувальну машину	
2	Встановити потрібну швидкість переміщення траверси	
3	Встановити потрібний програмний шаблон	
4	За допомогою клавіатури ввести вхідні дані	
5	Встановити робочу відстань між затискувачами у режимі "POSITION-L0-SET"	
6	Закріпити зразок у затискувачах	
7	Почати випробування	на розтяг
		на стиск або згин
8	Записати діаграму деформування	

Після закінчення випробування слід повернути затискувачі у вихідне положення (клавіша 11, рис. 3.3 після випробування на розтяг або клавіша 13 після випробування на стиск та згин).

4. ПРАВИЛА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

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.

4. На першому лабораторному занятті викладач знайомить студентів з правилами поведінки в випробувальній лабораторії, з загальними правилами користування обладнанням та проводить інструктаж з техніки безпеки.

Студенти, що не пройшли інструктаж та не розписалися в журналі з техніки безпеки, до виконання лабораторних робіт не допускаються.

5. ПРИКЛАДИ ОФОРМЛЕННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Лабораторна робота № 1.1

ВИПРОБУВАННЯ МАТЕРІАЛІВ НА РОЗТЯГ. ПОБУДОВА ТА ОБРОБКА ДІАГРАМ РОЗТЯГУ.

Мета роботи:

- навчитися користуватися випробувальною машиною;
- одержати криві «навантаження-видовження» при розтязі зразків;
- визначити механічні характеристики матеріалу при розтязі.

Прилади та обладнання:

- випробувальна машина TIRA-test 2151;
- штангенциркуль з ціною поділки 0,05 мм;
- товщиномір з ціною поділки 0.001 мм.

Досліджуваний матеріал: ПВХ-полівінілхлорид

Тип зразка: смужка

Розміри зразка: товщина $b = 1$ мм, ширина $h = 15$ мм, робоча довжина зразка $L_0 = 100$ мм, початкова площа поперечного перерізу $F_0 = b \times h = 15$ мм²

Порядок випробувань:

1. Ввести в машину необхідні дані.
2. Закріпити зразок у затискувачі розривної машини, встановити швидкість деформування $V = 50$ мм / хв.
3. Навантажити зразок до руйнування і записати криву деформування в координатах «навантаження - видовження».
4. Провести обробку кривої деформування.

За діаграмою деформування одержані такі дані:

найбільше навантаження зразка	$P_{\max} = 755.7$ Н;
видовження при найбільшому навантаженні	$\Delta L_{\max} = 4.074$ мм;
навантаження в момент розриву зразка	$P_P = 640.1$ Н;
видовження в момент розриву	$\Delta L_P = 5.278$ мм;
навантаження на границі лінійної ділянки	$P_{\text{пл}} = 577.9$ Н;
видовження на границі лінійної ділянки	$\Delta L_{\text{пл}} = 2.778$ мм;
навантаження при досягненні границі текучості	$P_T = 755.7$ Н;
видовження при досягненні текучості	$\Delta L_T = 4.074$ мм;
навантаження при досягненні умовної границі текучості	$P_{Ty} -$ відсутнє;
видовження при досягненні умовної границі текучості	$\Delta L_{Ty} -$ відсутнє.

Характеристики міцності та пластичності:

міцність при розтягу	$\sigma_{\max} = P_{\max} / F_0 = 50.4$ МПа;
відносне видовження при максимальному навантаженні $\epsilon_{\max}$	$= (\Delta L_{\max} / L_0) \cdot 100\% = 4.07 \%$;
міцність при розриві	$\sigma = P_P / F_0 = 42.7$ МПа;
відносне видовження при розриві	$\epsilon_P = (\Delta L_P / L_0) \cdot 100\% = 5.28 \%$;
границя пропорційності	$\sigma_{\text{пл}} = P_{\text{пл}} / F_0 = 38.5$ МПа;
відносне видовження на границі пропорційності	$\epsilon_{\text{пл}} = (\Delta L_{\text{пл}} / L_0) \cdot 100\% = 2.78 \%$;
границя текучості при розтягу	$\sigma_T = P_T / F_0 = 50.4$ МПа;
відносне видовження при границі текучості	$\epsilon_T = (\Delta L_T / L_0) \cdot 100\% = 4.07 \%$;

умовна границя текучості

σ_{Ty} - відсутнє;

відносне видовження при умовній границі текучості

ϵ_{Ty} - відсутнє.

модуль пружності матеріалу $E = (\sigma_2 - \sigma_1) / (\epsilon_2 - \epsilon_1) = \sigma_{пл} / \epsilon_{пл} = 38.5 / 0.0278 = 1385$ МПа ,
де σ_1 і σ_2 – напруження (МПа) в межах лінійної ділянки; ϵ_1 і ϵ_2 – деформації (відносні одиниці), що відповідають напруженням σ_1 і σ_2 .

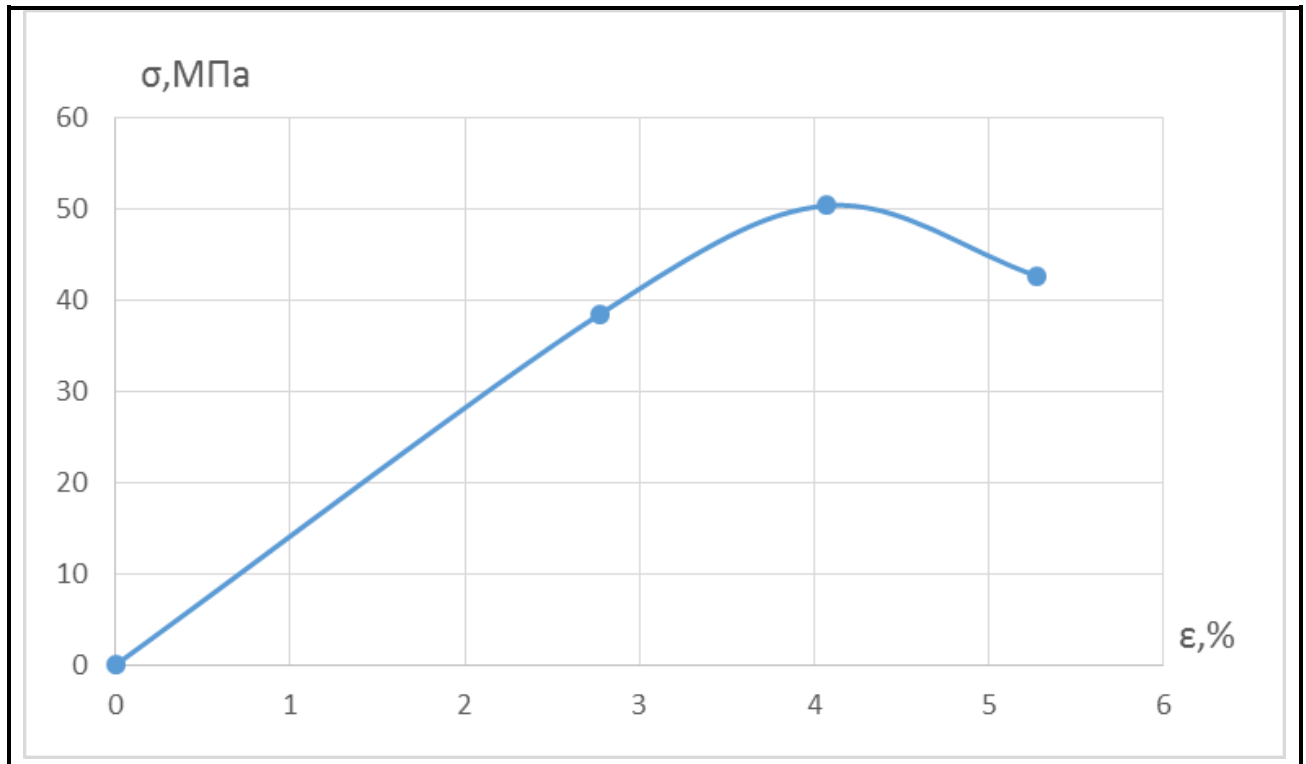


Рис.1.1. Діаграми деформування матеріалу ПВХ-полівінілхлорид в координатах «напруження σ - відносна деформація ϵ » при розтягу.

Вихідні діаграми деформування, одержані за допомогою випробувальної машини, додаються до протоколу.

Лабораторна робота № 1.2

ВИПРОБУВАННЯ МАТЕРІАЛІВ НА СТИСК. ПОБУДОВА ТА ОБРОБКА ДІАГРАМ СТИСКУВАННЯ.

Мета роботи:

- одержати криві «навантаження-скорочення» при стисканні зразків;
- визначити міцнісні та деформаційні характеристики матеріалу.;

Прилади та обладнання:

- випробувальна машина TIRATEST-2151;
- штангенциркуль з ціною поділки 0,05 мм.

Досліджувані матеріали:

1. ПП-суцільний;
2. ПП-пінопласт.

Типи зразків:

1. прямий циліндр;
2. паралелепіпед.

Розміри зразка 1:

- початкова висота $h_0 = 15$ мм, діаметр $D_0 = 9$ мм,
- початкова площа поперечного перерізу $F_0 = \pi \cdot D_0^2 / 4 = 63,6$ мм².

Розміри зразка 2:

- початкова висота $h_0 = 15$ мм, розміри поперечного перерізу $b = 10$ мм ,
 $h = 14,74$ мм
- початкова площа поперечного перерізу $F_0 = b \times h = 147,4$ мм².

Порядок випробувань:

1. Ввести в машину необхідні вхідні дані.
2. Встановити зразок між платформами випробувальної машини, встановити швидкість деформування $V = 5$ мм / хв в залежності від жорсткості матеріалу.
3. Стиснути зразок до руйнування і записати криву деформування в координатах «навантаження - скорочення». Якщо зразок не зруйнувався, навантаження припинити по досягненні відносної деформації зразка 25%.
4. Провести обробку кривої деформування.

За діаграмою деформування одержуємо такі дані:

найбільше навантаження зразка

1. $P_{\max} = 2700$ Н;
2. $P_{\max} = 2000$ Н;

скорочення при найбільшому навантаженні

1. $\Delta h_{\max} = 3,658$ мм;
2. $\Delta h_{\max} = 3,704$ мм;

відносне видовження при максимальному навантаженні

1. $\varepsilon_{\max} = (\Delta h_{\max} / L_0) \cdot 100\% = 24,39\%$;
2. $\varepsilon_{\max} = (\Delta h_{\max} / L_0) \cdot 100\% = 24,69\%$;

навантаження на границі лінійної ділянки

1. $P_{\text{пл}} = 1933$ Н;
2. $P_{\text{пл}} = 1367$ Н;

скорочення на границі лінійної ділянки

1. $\Delta h_{\text{пл}} = 0,995$ мм;
2. $\Delta h_{\text{пл}} = 0,695$ мм.

відносне видовження на границі пропорційності

1. $\varepsilon_{\text{пл}} = (\Delta h_{\text{пл}} / L_0) \cdot 100\% = 6,633\%$;

$$2. \varepsilon_{\text{пл}} = (\Delta h_{\text{пл}} / L_0) \cdot 100\% = 4,633\%;$$

Характеристики міцності та пружності:

міцність при стиску

$$1. \sigma_c = P_{\text{max}} / F_0 = 42,45 \text{ МПа};$$

$$2. \sigma_c = P_{\text{max}} / F_0 = 13,57 \text{ МПа};$$

границя пропорційності

$$1. \sigma_{\text{пл}} = P_{\text{пл}} / F_0 = 30,4 \text{ МПа};$$

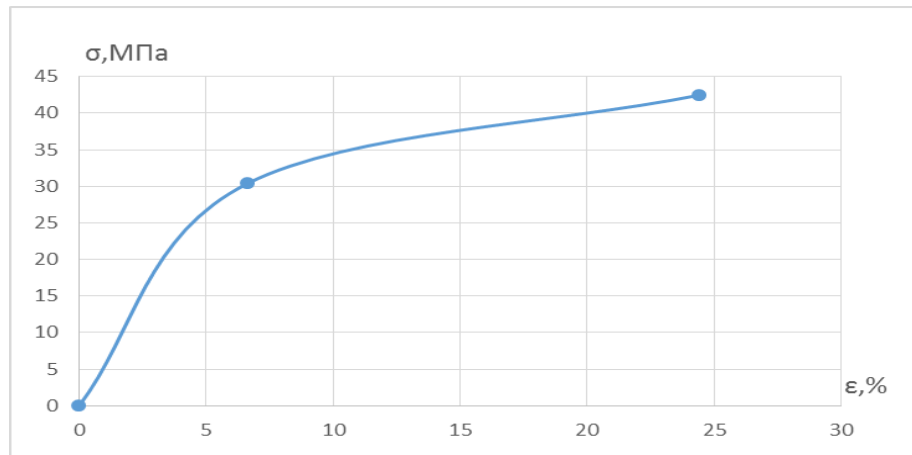
$$2. \sigma_{\text{пл}} = P_{\text{пл}} / F_0 = 9,271 \text{ МПа};$$

модуль пружності матеріалу

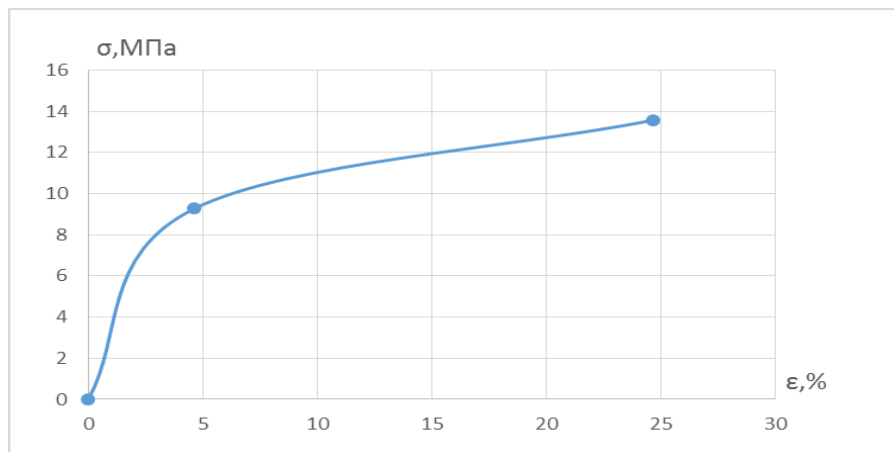
$$1. E_{\text{ст}} = (\sigma_2 - \sigma_1) / (\varepsilon_2 - \varepsilon_1) = 463,1 \text{ МПа};$$

$$2. E_{\text{ст}} = (\sigma_2 - \sigma_1) / (\varepsilon_2 - \varepsilon_1) = 216,2 \text{ МПа};$$

де σ_1 і σ_2 – напруження (МПа) в межах лінійної ділянки; ε_1 і ε_2 – деформації (відносні одиниці), що відповідають напруженням σ_1 і σ_2 .



Матеріал ПП-суцільний



Матеріал ПП-пінопласт

Рис. 2.1. Діаграми деформування матеріалів в координатах «напруження σ - відносна деформація ε » при стиску

Завдання:

- одержати діаграми стискування матеріалу;
- розрахувати характеристики міцності та пружні характеристики при стиску;
- порівняти експериментальні та довідникові характеристики матеріалу.

Лабораторна робота № 1.3

ВИПРОБУВАННЯ МАТЕРІАЛІВ НА ЗГИН. ПОБУДОВА ТА ОБРОБКА ДІАГРАМ ЗГИНУ.

Мета роботи:

- одержати криві «навантаження-прогин» при згині зразків;
- визначити характеристики матеріалу при згині.

Прилади та обладнання:

- випробувальна машина TIRATEST-2151;
- пристрій для триточкового згину зразків;
- штангенциркуль з ціною поділки 0.05 мм.

Досліджуваний матеріал – ПП-поліпропілен.

Тип зразка: брусок прямокутного поперечного перерізу.

Розміри зразка (рис. 3.1):

- | | |
|-------------------------------|-------------------------|
| – загальна довжина | $L = \text{— мм};$ |
| – відстань між опорами | $L_v = 100 \text{ мм};$ |
| – ширина поперечного перерізу | $b = 15 \text{ мм};$ |
| – висота поперечного перерізу | $h = 10 \text{ мм}.$ |

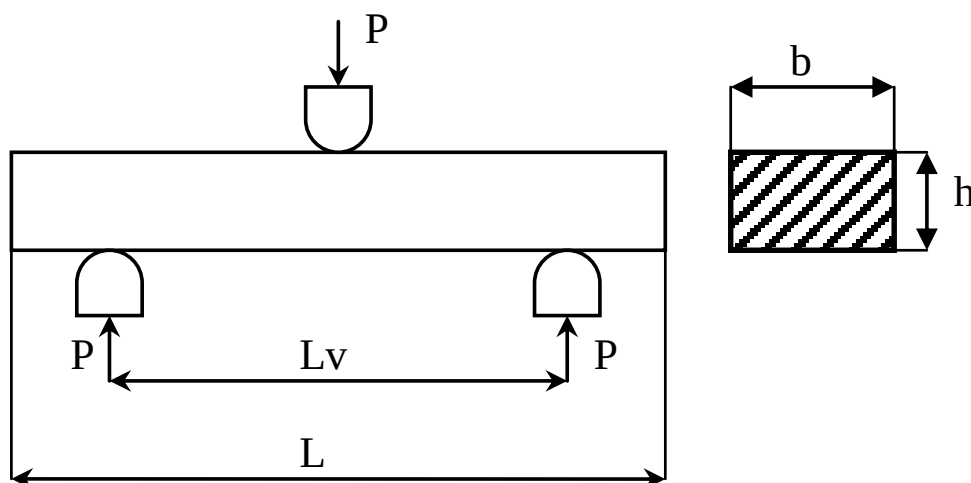


Рис. 3.1. Схема навантаження зразка при згині

Порядок випробувань:

1. Ввести в машину необхідні вхідні дані.
2. Встановити на пристрої для триточкового згину задану відстань між опорами.
3. Встановити зразок на опори широкою стороною.
4. Встановити швидкість деформування $V = (L_v)^2 / (6 \cdot h)$, мм / хв;
5. Провести навантаження зразка до руйнування та записати криву деформування в координатах «навантаження-прогин». Якщо зразок не руйнується, навантаження припинити при прогині $Z = (2.5 \dots 5.0) \cdot h$.

За діаграмою деформування одержати такі дані:

навантаження, що відповідає границі пропорційності

$$P_{\text{пц}} = 182,04 \text{ Н};$$

прогин при навантаженні, що відповідає границі пропорційності

$$Z_{\text{пц}} = 1,529 \text{ мм};$$

найбільше навантаження зразка

$$P_{\text{max}} = 392,9 \text{ Н};$$

прогин при найбільшому навантаженні зразка

$$Z_{\text{max}} = 9,591 \text{ мм};$$

навантаження при заданому прогині

$$P_f = \text{— Н}.$$

Характеристики міцності та пружності:

границя пропорційності

$$\sigma_{\text{проц}} = \frac{3 P_{\text{проц}} \cdot L_v}{2 b h^2} = 18,204 \text{ МПа};$$

відносне видовження на границі пропорційності

$$\varepsilon_{\text{проц}} = (Z_{\text{проц}} / L_v) \cdot 100\% = 1,529\%;$$

міцність при згині

$$\sigma_{\text{зг}} = \frac{3 P_{\text{MAX}} \cdot L_v}{2 b h^2} = 39,29 \text{ МПа};$$

відносне видовження при максимальному навантаженні

$$\varepsilon_{\text{max}} = (Z_{\text{max}} / L_v) \cdot 100\% = 9,591\%;$$

напруження при заданому прогині

$$\sigma_f = \frac{3 P_f \cdot L_v}{2 b h^2} = \text{— МПа};$$

модуль пружності при згині

$$E_{\text{зг}} = \frac{L_v^3 (P_2 - P_1)}{4 b h^3 (Z_2 - Z_1)} = 2398 \text{ МПа},$$

де P_1 і P_2 – навантаження (Н) в межах лінійної ділянки діаграми деформування;
 Z_1 і Z_2 – прогини (мм), що відповідають навантаженням P_1 і P_2 .

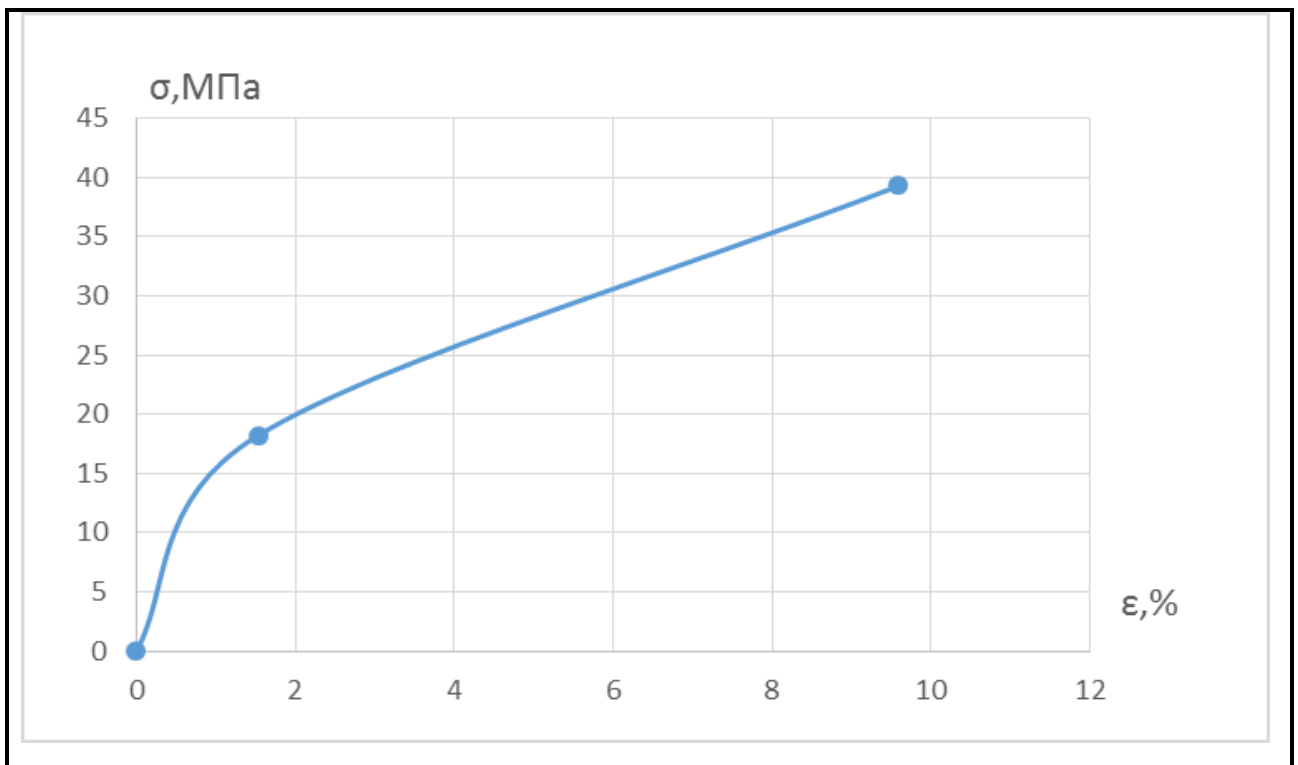


Рис.3.2. Діаграми деформування матеріалу ПП-поліпропілен в координатах «напруження σ - відносна деформація ε » при згині

Лабораторна робота № 1.4

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СТРУКТУРИ ПОЛІМЕРУ ТА НАПОВНЮВАЧА НА МІЦНІСТЬ ТА ДЕФОРМАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРІАЛІВ

Мета роботи:

- визначити міцність та деформаційні характеристики матеріалів різних класів;
- 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: поліетилен високого тиску (низької густини), поліетилен низького тиску (високої густини), поліпропілен, полівінілхлорид, полістирол, поліметілметакрилат, полікарбонат, інші матеріали

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

Результати випробувань матеріалів різних класів заносимо в табл. 1.4.

Таблиця 1.4. Механічні характеристики матеріалів при розтязі

№ п/п	Матеріал	σ_{MAX} МПа	σ_p МПа	σ_T МПа	ε_{MAX} %	ε_p %	ε_T %	E МПа
1	Поліетилен ВТ	10.7	10.2	9.8	314	322	5.65	120
2	Поліетилен НТ	20.8	19.7	12.4	527	540	4.19	760
3	Поліпропілен	51.4	40.2	52.6	96	103	4.12	1790
4	Полівінілхлорид	50.6	40.5	36.9	68.9	73.1	3.83	2330
5	Полістирол	43.2	41.0	38.1	12.5	16.2	4.00	3230
6	Поліметіл- метакрилат	66.1	65.2	62.0	23.8	24.1	3.70	2460
7	Полікарбонат	66.1	65.7	58.0	65.2	67.5	4.03	2260

Лабораторна робота № 1.5

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕМПЕРАТУРИ ТА ШВИДКОСТІ ДЕФОРМУВАННЯ НА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПОЛІМЕРІВ

Мета роботи:

- визначити міцність та деформаційні характеристики полімерів при різних температурах та при різних швидкостях деформування;
- дослідити вплив температури та швидкості деформування на механічні властивості полімерів.

Прилади та обладнання: аналогічні описаним у лабораторній роботі 1.1 із застосуванням термокамери.

Досліджувані матеріали: полівінілхлорид (аморфний полімер), поліетилентерефталат (кристалічний полімер) або інші матеріали.

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

1. Провести випробування на розтяг при температурах $T = 20, 40, 60, 70, 80, 90$ та 100°C .

Результати випробувань матеріалів різних класів занести до табл. 1.5.1-1.5.2.

Таблиця 1.5.1. Механічні характеристики матеріалу _____ПВХ_____ при розтязі
(Робоча довжина зразка $L_0 = 100$ мм, ширина зразків, $b = 10$ мм, товщина $\delta = 0,20$ мм)

$T, ^\circ\text{C}$	$\sigma_p, \text{МПа}$	$\sigma_T, \text{МПа}$	$\varepsilon_{\text{MAX}}, \%$	$\varepsilon_T, \%$	$E, \text{МПа}$
20	66	58	114	7.55	1840
40	56	51	119	5.14	1520
60	52	38	253	3.82	1290
70	33	28	281	3.47	1110
80	21	6.1	301	3.15	340
90	5.4	—	322	—	27
100	4.0	—	340	—	12

Таблиця 1.5.2. Механічні характеристики матеріалу _____ПЕТФ_____ при розтязі
Робоча довжина зразка $L_0 = 100$ мм, ширина зразків, $b = 10$ мм, товщина $\delta = 0,10$ мм

$T, ^\circ\text{C}$	$\sigma_p, \text{МПа}$	$\sigma_T, \text{МПа}$	$\varepsilon_{\text{MAX}}, \%$	$\varepsilon_T, \%$	$E, \text{МПа}$
20	206	47	77	0.93	5000
40	199	41	81	0.95	4900
60	186	36	83	0.99	4300
70	178	32	86	1.03	4100
80	174	25	90	1.05	3800
90	170	27	93	1.07	3400
100	165	25	98	1.12	3000

Побудувати графічні залежності механічних характеристик досліджених матеріалів від температури (рис. 1.5.1-1.5.4)

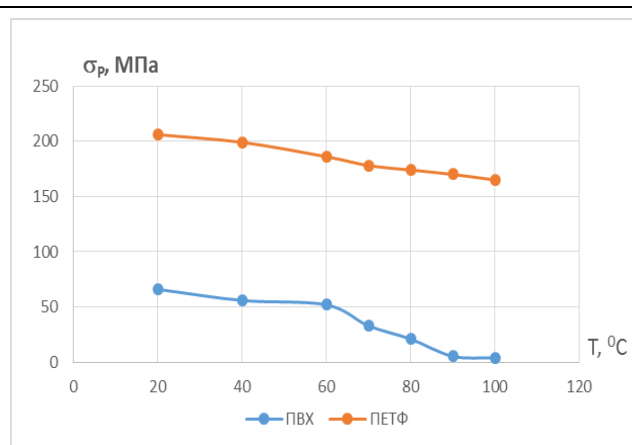


Рис. 1.5.1. Температурні залежності границі міцності при розтягу матеріалів ПВХ (крива 1) та ПЕТФ (крива 2)

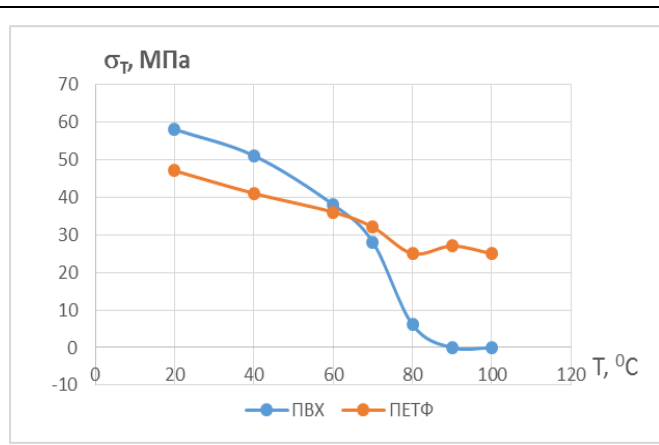


Рис. 1.5.2. Температурні залежності границі текучості при розтягу матеріалів ПВХ (крива 1) та ПЕТФ (крива 2)

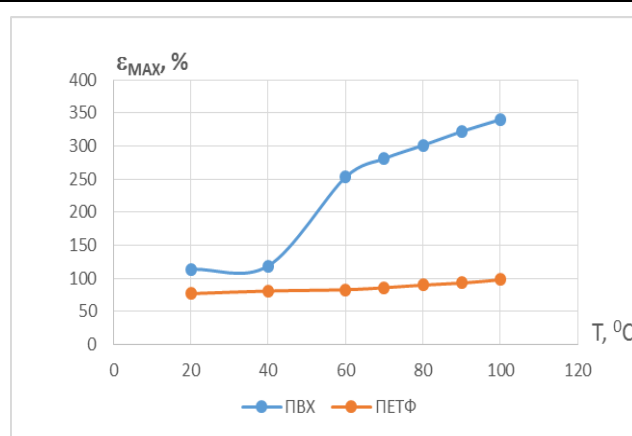


Рис. 1.5.3. Температурні залежності максимального видовження матеріалів ПВХ (крива 1) та ПЕТФ (крива 2)

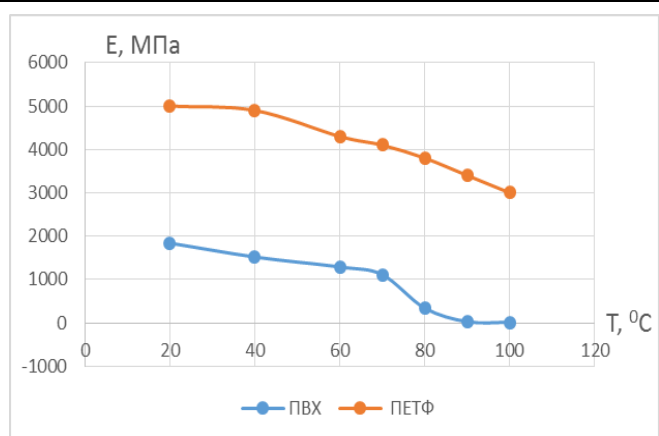


Рис. 1.5.4. Температурні залежності модуля пружності при розтягу матеріалів ПВХ (крива 1) та ПЕТФ (крива 2)

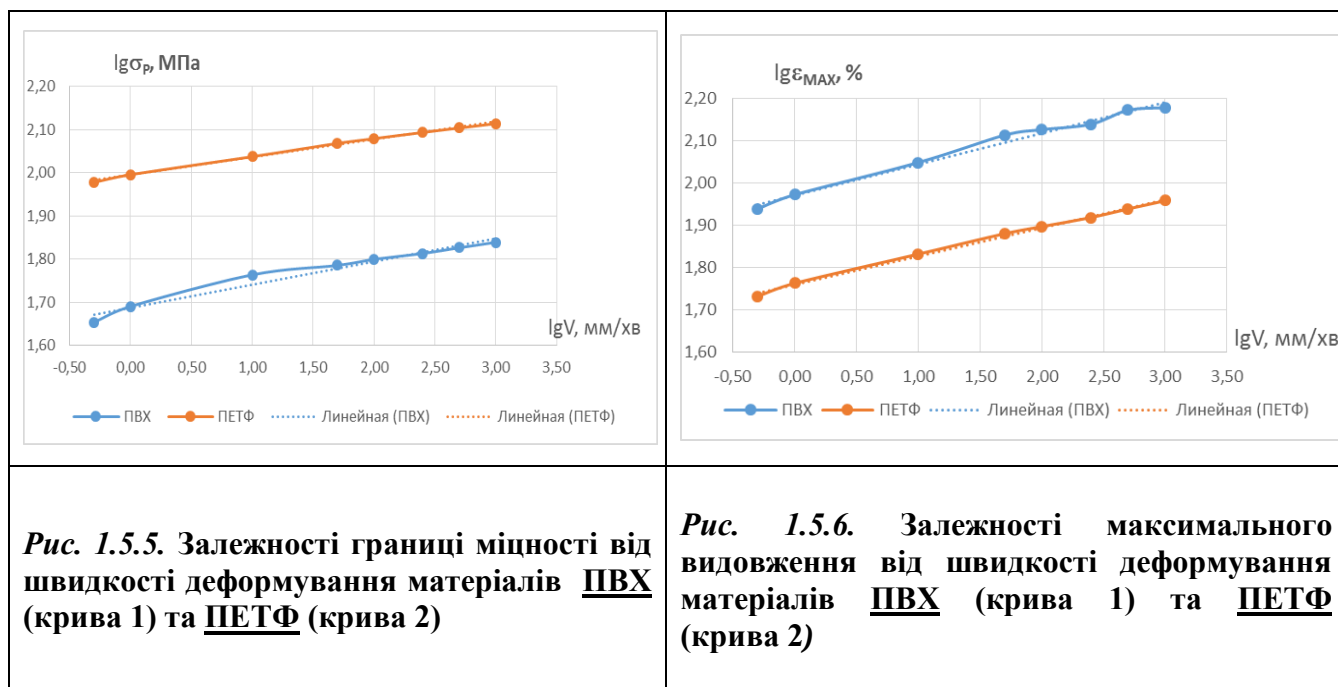
2. Провести випробування на розтяг при швидкостях деформування $V = 0.5, 10, 50, 100, 250, 500$ та 1000 мм / хв.

Результати випробувань занести до табл. 1.5.3.

Таблиця 1.5.3. Характеристики матеріалу ПВХ при розтязі (робоча довжина зразка $L_0 = 100$ мм, ширина зразків, $b = 10$ мм, товщина $\delta = 0,20$ мм) та матеріалу ПЕТФ (робоча довжина зразка $L_0 = 100$ мм, ширина зразків, $b = 10$ мм, товщина $\delta = 0,10$ мм)

V, мм / хв	матеріал <u>ПВХ</u>		матеріал <u>ПЕТФ</u>	
	σ_p , МПа	ϵ_{MAX} , %	σ_p , МПа	ϵ_{MAX} , %
0.5	45	87	95	54
1	49	94	99	58
10	58	112	109	68
50	61	130	117	76
100	63	134	120	79
250	65	138	124	83
500	67	149	127	87
1000	69	151	130	91

Побудувати графічні залежності механічних характеристик досліджених матеріалів від температури (рис. 1.5.5-1.5.6)



За експериментальними даними, що зображені на рис.1.5(2) у вигляді точок, підібрати коефіцієнти рівнянь $\sigma_p = a \cdot V^n$ та $\epsilon_{MAX} = b \cdot V^m$.

Для матеріалу ПВХ $a = 49$ МПа · хв / мм; $n = 0,05$; $b = 94$ хв / мм; $m = 0,074$.

Для матеріалу ПЕТФ $a = 99$ МПа · хв / мм; $n = 0,037$; $b = 58$ хв / мм; $m = 0,07$.

На рис. 1.5.5 та 1.5.6 експериментальні дані позначені точками, а результати апроксимації – суцільні лінії.

Лабораторна робота № 1.6

ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПРУЖНОСТІ ТА МІЦНОСТІ АНІЗОТРОПНОГО МАТЕРІАЛУ

Мета роботи:

- визначити пружні константи ортотропного матеріалу;
- розрахувати модулі пружності, коефіцієнти Пуассона, міцність та деформаційні характеристики 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 (склотекстоліт, листовий вуглепластик, орієнтовані полімерні плівки або інші матеріали).

Зразки, методика проведення випробувань та обробка результатів:

- зразки вирізають у напрямі головних осей та під кутом 45° до поздовжньої осі;
- зразки випробовують на розтяг за методикою, як у лабораторній роботі 1.1.

За діаграмами деформування визначені характеристики

- у напрямку головних осей ($E_0, \sigma_{P(0)}, \varepsilon_{\max(0)}, E_{90}, \sigma_{P(90)}, \varepsilon_{\max(90)}$);
- під кутом 45° до головних осей ($E_{45}, \sigma_{P(45)}, \varepsilon_{\max(45)}$)/

Значення модуля пружності, границі міцності та відносного видовження при розриві занести до табл. 1.6.1.

**Таблиця 1.6.1. Механічні характеристики матеріалу Склотекстоліт при розтязі,
(Робоча довжина зразка $L_0 = 25$ мм, ширина зразків, $b = 10$ мм, товщина $\delta = 0,59$ мм)**

кут вирізу зразка	№ зразка	E, МПа	σ_P , МПа	$\varepsilon_{\max}$, %
0°	1	9920	154,2	3,49
	2	9870	150,9	3,64
	2	9900	155,5	3,55
	середні значення	$E_0 = 9897$	$\sigma_{P(0)} = 153,5$	$\varepsilon_{\max(0)} = 3,56$
45°	1	2650	85,8	8,00
	2	2750	87,4	8,22
	2	2660	84,0	8,18
	середні значення	$E_{45} = 2687$	$\sigma_{P(45)} = 85,7$	$\varepsilon_{\max(45)} = 8,13$
90°	1	9830	150,1	3,42
	2	9760	158,9	3,51
	2	9690	153,9	3,60
	середні значення	$E_{90} = 9760$	$\sigma_{P(90)} = 154,3$	$\varepsilon_{\max(90)} = 3,51$

Розрахувати коефіцієнти, що входять до рівняння:

$$E(\varphi) = \frac{\lambda \cdot E_0}{\lambda \cdot \cos^4 \varphi + 2B \cdot \cos^2 \varphi \cdot \sin^2 \varphi + \sin^4 \varphi}, \quad (1.6.1)$$

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

$$G(\varphi) = \frac{G_0}{1 - (1 - C) \cdot \sin^2 2\varphi}, \quad (1.6.2)$$

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

$$\mu(\varphi) = \frac{\mu_{90} - \frac{1}{4}(1 + \lambda - 2B) \cdot \sin^2 2\varphi}{\lambda \cos^4 \varphi + 2B \cos^2 \varphi \cdot \sin^2 \varphi + \sin^4 \varphi}; \quad (1.6.3)$$

$$\sigma_P(\varphi) = \frac{\lambda_\sigma \cdot \sigma_{P(0)}}{\lambda_\sigma \cdot \cos^4 \varphi + 2B_\sigma \cos^2 \varphi \cdot \sin^2 \varphi + \sin^4 \varphi}; \quad (1.6.4)$$

$$\text{де } \lambda_\sigma = \frac{\sigma_{P(90)}}{\sigma_{P(0)}}, \quad 2B_\sigma = 4 \frac{\sigma_{P(90)}}{\sigma_{P(45)}} - (1 + \lambda_\sigma);$$

$$\varepsilon_{\max}(\varphi) = \frac{\lambda_\varepsilon \cdot \varepsilon_{\max(0)}}{\lambda_\varepsilon \cdot \cos^4 \varphi + 2B_\varepsilon \cos^2 \varphi \cdot \sin^2 \varphi + \sin^4 \varphi}, \quad (1.6.5)$$

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

Таким чином,

$$\lambda = \underline{\underline{0,986}}; \quad 2B = \underline{\underline{12,5}};$$

$$C = \underline{\underline{0,188}}; \quad G_0 = \underline{\underline{739}} \text{ МПа};$$

$$\lambda_\sigma = \underline{\underline{1,0052}}; \quad 2B_\sigma = \underline{\underline{5,2}};$$

$$\lambda_\varepsilon = \underline{\underline{0,986}}; \quad 2B_\varepsilon = \underline{\underline{-0,259}}.$$

При цьому прийнято $\mu_{90} = 0.25$.

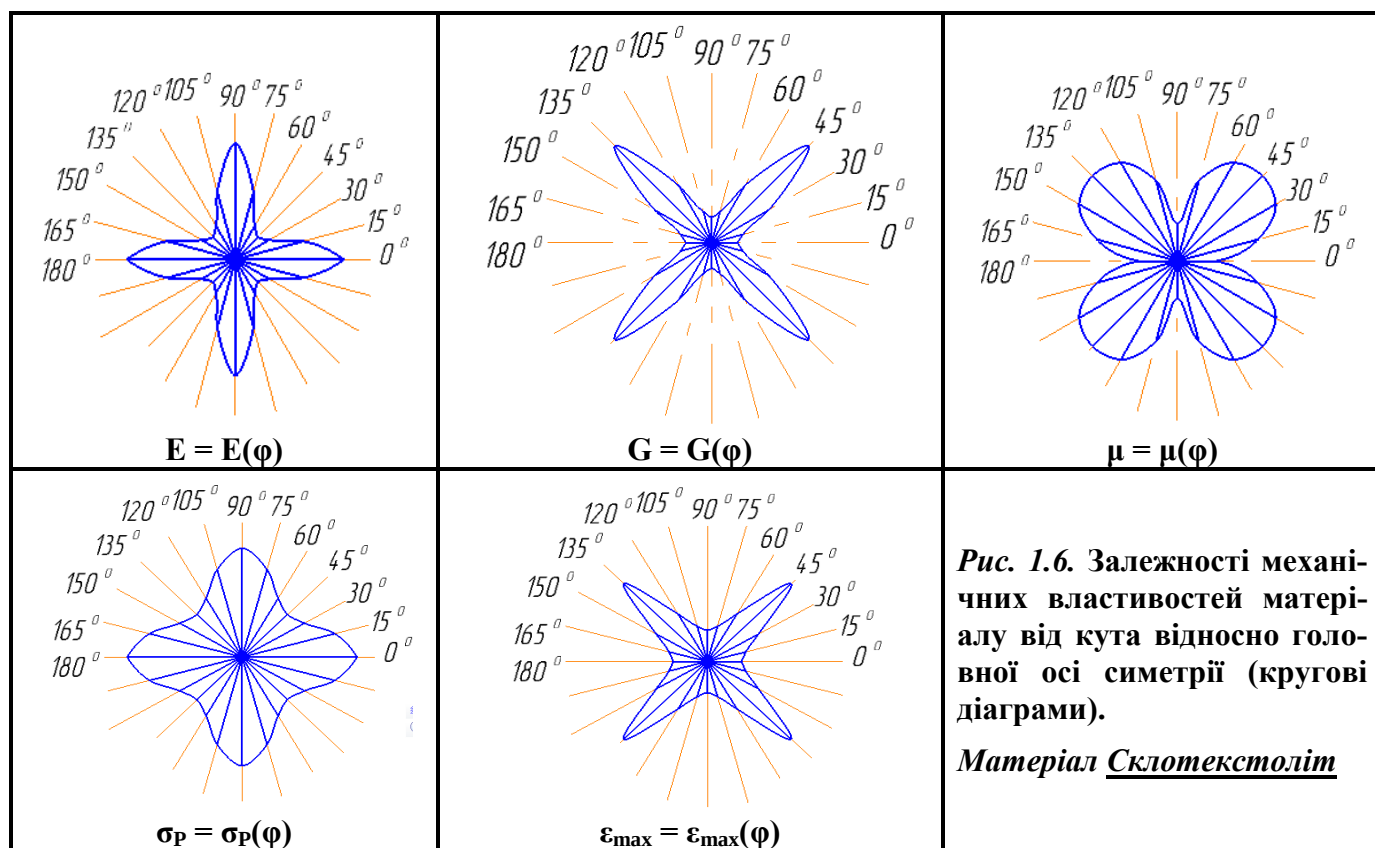
За формулами (1.6.1) – (1.6.5) обчислено значення E , G , μ , σ_P , та $\varepsilon_{\max}$ в напрямках під кутами $\varphi = 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 135, 150, 165, 180^\circ$ відносно повздовжньої осі листа.

Результати занести до табл. 1.6.2 (експериментальні дані та результати розрахунків відокремлені).

Таблиця 1.6.2. Залежності механічних характеристик від напрямку вирізки зразків

φ, град	E, МПа		G, МПа	μ	σ _P , МПа		ε _{max} , %	
	експер.	розрах.			експер.	розрах.	експер.	розрах.
0	9897	9897	739	0,254	153,5	153,5	3,56	3,56
15	---	5936	927	0,555	---	128,1	---	4,15
30	---	3296	1890	0,753	---	96,3	---	6,17
45	2687	2695	3931	0,798	85,7	85,7	8,13	8,13
60	---	3288	1890	0,752	---	96,4	---	6,1
75	---	5892	927	0,551	---	128,6	---	4,09
90	9760	9758	739	0,250	154,3	154,3	3,51	3,51
105	---	5892	927	0,551	---	128,6	---	4,09
120	---	3288	1890	0,752	---	96,4	---	6,1
135	---	2695	3931	0,798	---	85,7	---	8,13
150	---	3296	1890	0,753	---	96,3	---	6,17
165	---	5936	927	0,555	---	128,1	---	4,15
180	9897	9897	739	0,254	153,5	153,5	3,56	3,56

Побудувати графічні залежності механічних характеристик досліджених матеріалів від кута вирізки зразків (рис. 1.6).



Лабораторна робота № 1.7

ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТІВ ПОЧАТКОВОГО ТЕРТЯ І ТЕРТЯ КОВЗАННЯ.

Мета роботи: визначення коефіцієнтів початкового тертя і тертя ковзання полімерних плівок і листів при ковзанні їх один по одному або по інших матеріалах при певних умовах випробування.

Прилади та обладнання:

- випробувальна машина TIRATEST-2300;
- штангенциркуль з ціною поділки 0,05 мм;
- товщиномір з ціною поділки 0,001 мм;
- ножиці або різак;
- одностороння липка стрічка;
- двостороння липка стрічка;
- нейлонова монопнитка діаметром $0,33 \pm 0,05$ мм ;
- полозки масою 200 ± 5 г;
- несуча площа;
- блоки з малим тертям;
- основа.

Досліджуваний матеріал: плівка поліолефінова термозбіжна.

Розміри зразка: товщина $b = 0,018$ мм.

Порядок випробувань:

1. Ввести в машину необхідні вхідні дані.
2. Закріпити зразок на несущій площині та прикріпити до основи.
3. Прикріпити один кінець нейлонової нитки до динамометра, пропустити нитку через блок і прикріпити до полозків.
4. Встановити швидкість деформування $V = 150$ мм / хв.
5. Записати діаграму в координатах «зусилля – видовження».
6. Провести обробку діаграми.

За діаграмою деформування одержати такі дані:

- максимальне значення сили $P_s = 0,8286$ Н;
- значення рушійної сили при ковзанні $P_k = \underline{0,7814}$ Н;

Коефіцієнти тертя:

Статичний коефіцієнт тертя $\mu_s = \frac{P_s}{m} = 84,4947 / 200,7 = 0,421$

Динамічний коефіцієнт тертя $\mu_k = \frac{P_k}{m} = 79,6779 / 200,7 = 0,397$

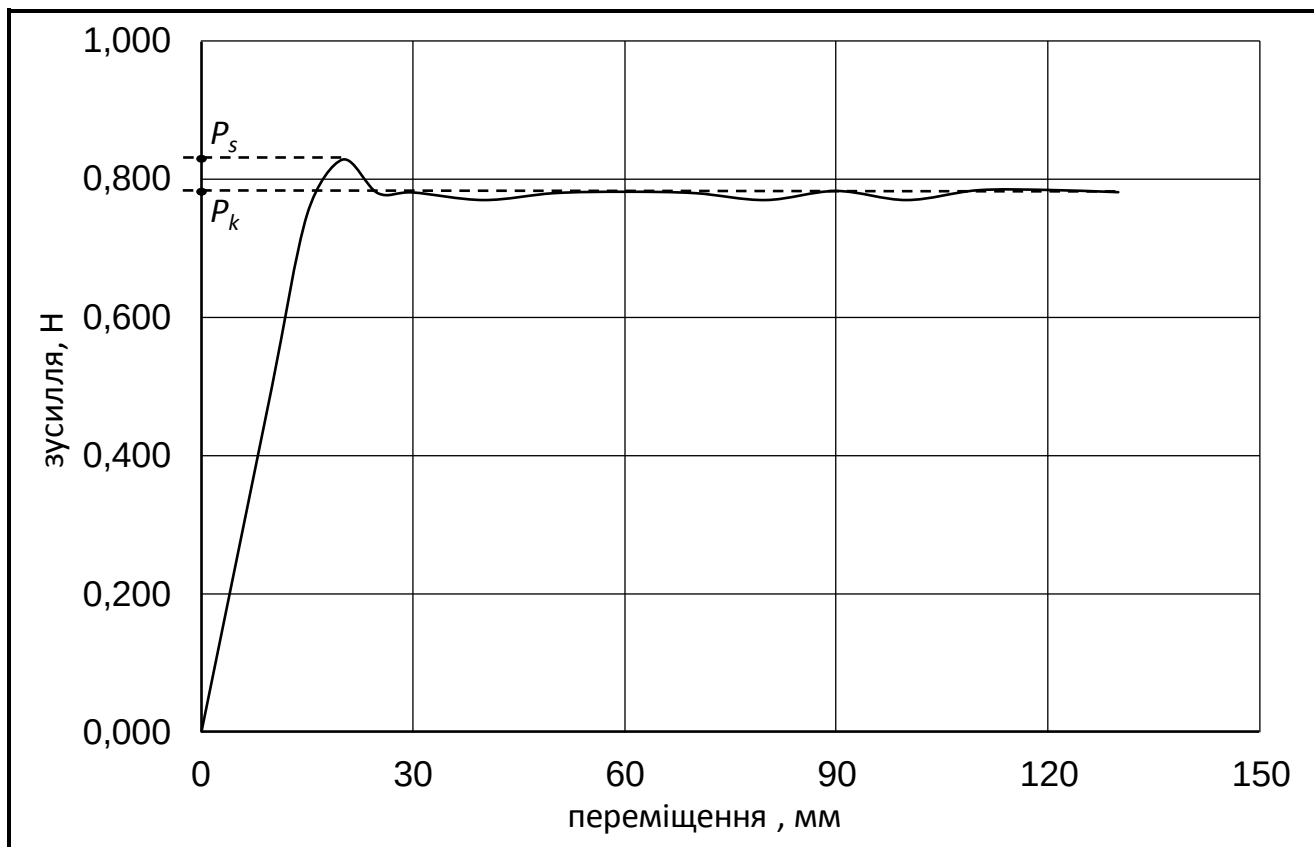


Рис.3.2. Діаграма залежності рушійної сили для матеріалу плівка поліолефінова термо-збіжна в координатах «зусилля P - переміщення l »

6. ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ПРОТОКОЛІВ ВИПРОБУВАНЬ ТА ФОРМИ ПРОТОКОЛІВ

Протоколи випробувань складаються студентами індивідуально, відповідно до діючих стандартів.

Протоколи оформлюють на аркушах паперу формату А4 (210х297мм).

Схеми та графіки виконують на міліметровому папері того ж формату.

До протоколів лабораторних робіт, виконаних на ЕОМ, додають програми і результати розрахунків (роздруківки).

Всі фізичні величини, що зустрічаються в роботі, мають виражатися в міжнародній системі одиниць СІ.

Всі протоколи (як даного практикуму, так і наступних частин) починаються з загальної титульної сторінки.

У кожному протоколі обов'язково мають відобразитися такі відомості.

1. Назва та мета роботи.
2. Прилади та обладнання, які використовують у лабораторній роботі, режими випробовування (швидкість навантаження, температура, час випробовування та ін.)
3. Конкретна назва випробуваного матеріалу (або матеріалів), шифр або марка матеріалу, тип і розміри зразків.
4. Стислий опис методики проведення випробувань.
5. Таблиці із заголовками, в яких подають виміряні або обчислені величини та їх вимірності.
6. Графіки із зазначенням на координатних осях величин та їх вимірностей. Під кожним графіком має бути пояснюючий підпис (назва матеріалів, стислий опис досліджуваних процесів, умови випробовувань та ін.)
7. Опис методів розрахунку, формули та результати розрахунків. Остаточні результати підкреслити.
8. Стислі відомості про випробувані матеріали:
 - клас матеріалу (лінійний, сітчастий, наповнений тощо);
 - фазовий стан (кристалічний, аморфний, частково-кристалічний);
 - фізичний стан (склоподібний, високо-еластичний 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.);

9. Висновки по проведеній роботі.

7. 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 при температурах, нижчих температури крихкості, в склоподібному стані, вище температури склування?
3. У чому полягає відмінність склоподібного стану полімерів від високоеластичного?
4. Назвіть 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 називають довговічністю полімеру та від чого вона залежить?
10. Як аналітично описують 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, стиск та згин.
14. Які вам відомі стандартні характеристики випробувань?
15. Який порядок побудови діаграм розтягу?
16. Назвіть характерні точки діаграми деформування полімеру.
17. Як визначають статистичні характеристики результатів випробувань?
18. Яким вимогам мають 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. Полімерні матеріали в ракетно-космічній техніці: Підручник / Є.О. Джур та ін. – К.: Вища освіта, 2003.
2. Нарисава И. Прочность полимерных материалов. – М.: Химия, 1987.
3. Колтунов М.А. Ползучесть и релаксация: Учебное пособие – М.: Высшая школа, 1976.
4. Кулезнева В.Н. Шершнева В.А. Химия и физика полимеров: Учебник – М.: Высшая школа, 1988.
5. Композиционные материалы: Справочник / В.В. Василтев и др. - М.: Машиностроение, 1990.
6. Нові матеріали: частина 1. Структура і механічні властивості конструкційних полімерів [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальності «Прикладна механіка» спеціалізації «Динаміка і міцність машин» / М. С. Шидловський – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 193 с. – Доступ: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/123>
7. Нові матеріали: частина 2. Експериментальні методи досліджень механічних властивостей конструкційних полімерів та пластмас [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальності «Прикладна механіка» спеціалізації «Динаміка і міцність машин» / М. С. Шидловський, А. Є. Бабенко, О. О. Боронко, О. П. Заховайко, С. І. Трубочев – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 266 с. – Доступ: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/124>
8. Нові матеріали [Електронний ресурс]: методичні вказівки до виконання лабораторних робіт «Методи вимірювання характеристик міцності та пружності конструкційних пластмас та гум при короткочасному навантаженні» для студентів напрямку підготовки 6.050501 «Прикладна механіка» / Уклад. Шидловський М.С., Шпак Д.Ю. – К.: НТУУ «КПІ», 2011. –36 с. – Доступ: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/1541>
9. Нові матеріали [Електронний ресурс]: методичні вказівки до виконання лабораторних робіт «Обладнання для випробувань конструкційних пластмас та гум при короткочасному навантаженні» для студентів напрямку підготовки 6.050501 «Прикладна механіка», спеціальності «Динаміка та міцність машин» / Уклад. Шидловський М.С., Шпак Д.Ю., Тимошенко О.В. – К.: НТУУ «КПІ», 2012. –48 с. – Доступ: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/1542>

Додаток

**Форми протоколів
лабораторних робіт**

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

**Протоколи лабораторних робіт
з дисципліни «Нові матеріали»**

студент _____ **курс** _____ **група** _____

викладач _____

<i>№ л.р.</i>	<i>дата приймання протоколу</i>	<i>підпис викладача</i>	<i>дата захисту лабораторної роботи</i>	<i>підпис викладача</i>
1.1				
1.2				
1.3				
1.4				
1.5				
1.6				

Київ, 20__ р.

Лабораторна робота № 1.1

ВИПРОБУВАННЯ МАТЕРІАЛІВ НА РОЗТЯГ. ПОБУДОВА ТА ОБРОБКА ДІАГРАМ РОЗТЯГУ.

Мета роботи: навчитися користуватися випробувальною машиною;
одержати криві «навантаження-видовження» при розтязі зразків;
визначити механічні характеристики матеріалу при розтязі.

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

Досліджуванний матеріал: _____

Тип зразка: _____

Розміри зразка: товщина $b =$ _____ мм, ширина $h =$ _____ мм,
робоча довжина зразка $L_0 =$ _____ мм,
початкова площа поперечного перерізу $F_0 = b \times h =$ _____ мм²

- Порядок випробувань:** 1. Ввести в машину необхідні вхідні дані.
2. Закріпити зразок у затискувачі розривної машини, встановити швидкість деформування $V =$ _____ мм / хв в залежності від жорсткості матеріалу.
3. Провести навантаження зразка до руйнування і записати криву деформування в координатах «навантаження - видовження».
4. Провести обробку кривої деформування.

За діаграмою деформування одержати такі дані:

найбільше навантаження зразка
видовження при найбільшому навантаженні

$$P_{\max} = \text{_____ Н};$$
$$\Delta L_{\max} = \text{_____ мм};$$

навантаження в момент розриву зразка
видовження в момент розриву

$$P_p = \text{_____ Н};$$
$$\Delta L_p = \text{_____ мм};$$

навантаження на границі лінійної ділянки
видовження на границі лінійної ділянки

$$P_{\text{пл}} = \text{_____ Н};$$
$$\Delta L_{\text{пл}} = \text{_____ мм};$$

навантаження при досягненні границі текучості
видовження при досягненні текучості

$$P_T = \text{_____ Н};$$
$$\Delta L_T = \text{_____ мм};$$

навантаження при досягненні умовної границі текучості
видовження при досягненні умовної границі текучості

$$P_{Ty} = \text{_____ Н};$$
$$\Delta L_{Ty} = \text{_____ мм};$$

Характеристики міцності та пластичності:

міцність при розтягу

$$\sigma_{\max} = P_{\max} / F_0 = \text{_____ МПа};$$

відносне видовження при максимальному навантаженні

$$\epsilon_{\max} = (\Delta L_{\max} / L_0) \cdot 100\% = \text{_____ } \%;$$

міцність при розриві

$$\sigma = P_p / F_0 = \text{_____ МПа};$$

відносне видовження при розриві

$$\epsilon_p = (\Delta L_p / L_0) \cdot 100\% ;$$

границя пропорційності

$$\sigma_{\text{пл}} = P_{\text{пл}} / F_0 = \text{_____ МПа};$$

відносне видовження на границі пропорційності

$$\epsilon_{\text{пл}} = (\Delta L_{\text{пл}} / L_0) \cdot 100\% = \text{_____ } \%;$$

границя текучості при розтягу

$$\sigma_T = P_T / F_0 = \text{_____ МПа};$$

відносне видовження при границі текучості

$$\epsilon_T = (\Delta L_T / L_0) \cdot 100\% = \text{_____ } \%;$$

умовна границя текучості

$$\sigma_{Ty} = P_{Ty} / F_0 = \text{_____ МПа};$$

відносне видовження при умовній границі текучості

$$\epsilon_{Ty} = (\Delta L_{Ty} / L_0) \cdot 100\% = \text{_____ } \%.$$

модуль пружності матеріалу

$$E = (\sigma_2 - \sigma_1) / (\varepsilon_2 - \varepsilon_1) = \text{_____ МПа ,}$$

де σ_1 і σ_2 – напруження (МПа) в межах лінійної ділянки; ε_1 і ε_2 – деформації (відносні одиниці), що відповідають напруженням σ_1 і σ_2 .

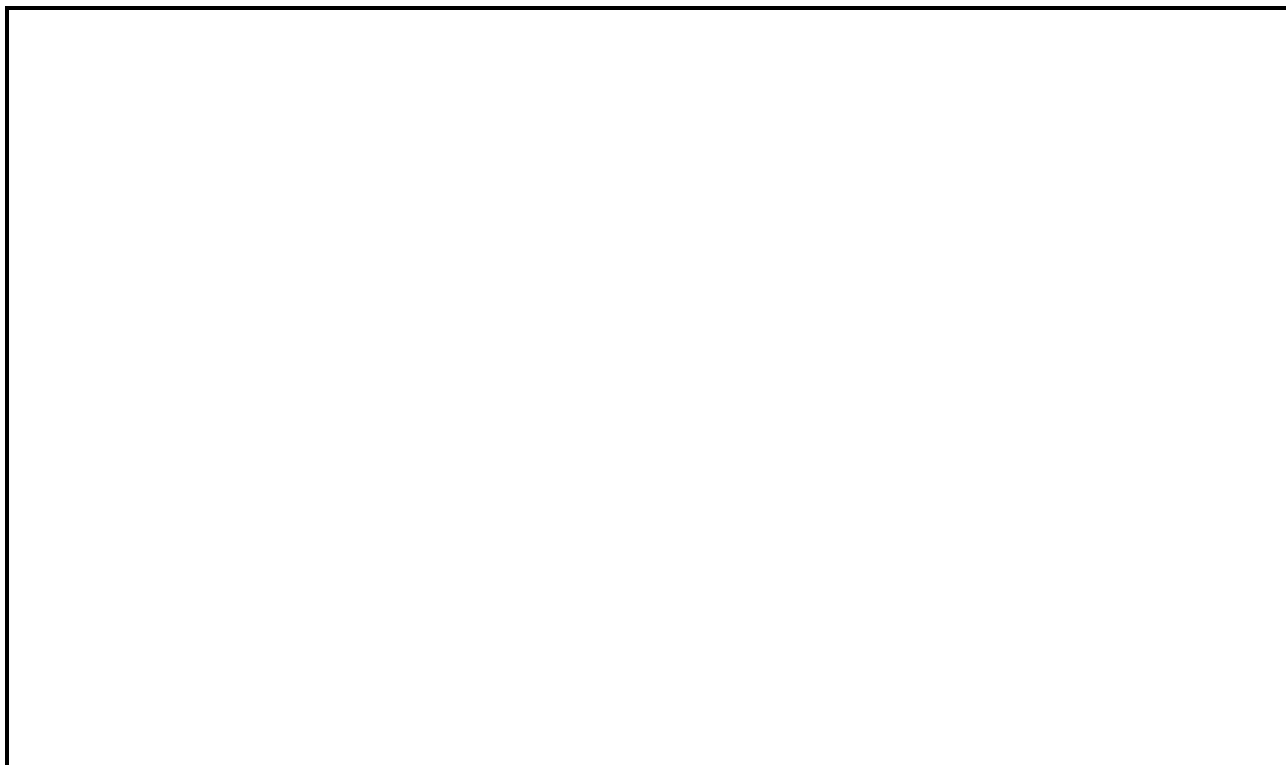


Рис.1.1. Діаграми деформування матеріалу _____ в координатах **«напруження σ - відносна деформація ε »** при розтягу

Вихідні діаграми деформування, що одержані за допомогою випробувальної машини, **додаються до протоколу.**

Завдання:

- одержати діаграми деформування матеріалу;
- розрахувати характеристики міцності та деформаційні характеристики;
- порівняти експериментальні та довідникові характеристики матеріалу.

Довідникові відомості про випробуваний матеріал (клас матеріалу, механічні характеристики, галузі застосування, способи обробки):

Висновки:

Дата проведення випробувань:

Лабораторна робота № 1.2
ВИПРОБУВАННЯ МАТЕРІАЛІВ НА СТИСК.
ПОБУДОВА ТА ОБРОБКА ДІАГРАМ СТИСКУВАННЯ.

Мета роботи: одержати криві «навантаження-скорочення» при стиску зразків; визначити міцнісні та деформаційні характеристики матеріалу.;

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

Досліджувані матеріали: 1. _____ 2. _____

Типи зразків: 1. _____ 2. _____
(прямокутні призми або прямі циліндри з висотою $h \leq i \cdot \lambda$, де i - мінімальний радіус інерції; $\lambda \leq 6$ - гнучкість зразка)

Розміри зразка 1:

початкова висота $h_0 =$ _____ мм, діаметр $D_0 =$ _____ мм,
початкова площа поперечного перерізу $F_0 = \pi \cdot D_0^2 / 4 =$ _____ мм².

Розміри зразка 2:

початкова висота $h_0 =$ _____ мм, розміри поперечного перерізу $b =$ _____ мм, $h =$ _____ мм
початкова площа поперечного перерізу $F_0 = b \times h =$ _____ мм².

Порядок випробувань: 1. Ввести в машину необхідні вхідні дані.

2. Встановити зразок між платформами випробувальної машини, встановити швидкість деформування $V =$ _____ мм / хв в залежності від жорсткості матеріалу.

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

4. Провести обробку кривої деформування.

За діаграмою деформування одержати такі дані:

найбільше навантаження зразка

1. $P_{\max} =$ _____ Н;

2. $P_{\max} =$ _____ Н;

скорочення при найбільшому навантаженні

1. $\Delta h_{\max} =$ _____ мм;

2. $\Delta h_{\max} =$ _____ мм;

навантаження на границі лінійної ділянки

1. $P_{\text{пл}} =$ _____ Н;

2. $P_{\text{пл}} =$ _____ Н;

скорочення на границі лінійної ділянки

1. $\Delta h_{\text{пл}} =$ _____ мм;

2. $\Delta h_{\text{пл}} =$ _____ мм.

Характеристики міцності та пружності:

міцність при стиску

1. $\sigma_c = P_{\max} / F_0 =$ _____ МПа;

2. $\sigma_c = P_{\max} / F_0 =$ _____ МПа;

границя пропорційності

1. $\sigma_{\text{пл}} = P_{\text{пл}} / F_0 =$ _____ МПа;

2. $\sigma_{\text{пл}} = P_{\text{пл}} / F_0 =$ _____ МПа;

модуль пружності матеріалу
;

1. $E_{\text{ст}} = (\sigma_2 - \sigma_1) / (\varepsilon_2 - \varepsilon_1) =$ _____ МПа

2. $E_{\text{ст}} = (\sigma_2 - \sigma_1) / (\varepsilon_2 - \varepsilon_1) =$ _____ МПа

,
де σ_1 і σ_2 – напруження (МПа) в межах лінійної ділянки; ε_1 і ε_2 – деформації (відносні одиниці), що відповідають напруженням σ_1 і σ_2 .

Матеріал _____

Матеріал _____

Рис.2.1. Діаграми деформування матеріалів в координатах «напруження σ - відносна деформація ϵ » при стиску

Завдання:

- одержати діаграми стискування матеріалу;
- розрахувати характеристики міцність та пружні характеристики при стиску;
- порівняти експериментальні та довідникові характеристики матеріалу.

Довідникові відомості про випробуваний матеріали (клас матеріалу, механічні характеристики, галузі застосування, способи обробки):

Висновки: _____

Дата проведення випробувань: _____

Лабораторна робота № 1.3

ВИПРОБУВАННЯ МАТЕРІАЛІВ НА ЗГИН. ПОБУДОВА ТА ОБРОБКА ДІАГРАМ ЗГИНУ.

Мета роботи: одержати криві «навантаження-прогин» при згині зразків;
визначити характеристики матеріалу при згині.

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

Досліджуваний матеріал _____

Тип зразка: брусок прямокутного поперечного перерізу.

Розміри зразка (рис. 3.1):

загальна довжина L = _____ мм;
відстань між опорами L_v = _____ мм;
ширина поперечного перерізу b = _____ мм;
висота поперечного перерізу h = _____ мм.

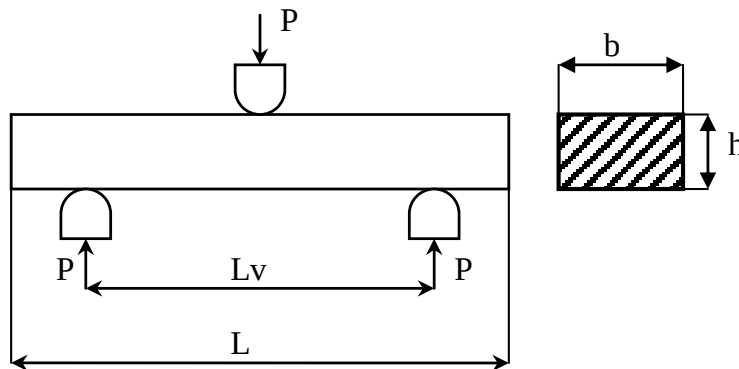


Рис. 3.1. Схема навантаження зразка при згині

Порядок випробувань: 1. Ввести в машину необхідні вхідні дані.
2. Встановити на пристрої для триточкового згину задану відстань між опорами.
3. Встановити зразок на опори широкою стороною.
4. Встановити швидкість деформування $V = (L_v)^2 / (6 \cdot h)$, мм / хв;
5. Провести навантаження зразка до руйнування та записати криву деформування в координатах «навантаження-прогин». Якщо зразок не руйнується, навантаження припинити при прогині $Z = (2.5 \dots 5.0) \cdot h$.

За діаграмою деформування одержати такі дані:

навантаження, що відповідає границі пропорційності $P_{\text{пл}} =$ _____ Н;
прогин при навантаженні, що відповідає границі пропорційності $Z_{\text{пл}} =$ _____ мм;
найбільше навантаження зразка $P_{\text{max}} =$ _____ Н;
прогин при найбільшому навантаженні зразка $Z_{\text{max}} =$ _____ мм;
навантаження при заданому прогині $P_f =$ _____ Н.

Характеристики міцності та пружності:

границя пропорційності $\sigma_{\text{пл}} = \frac{3 P_{\text{пл}} \cdot L_v}{2 b h^2} =$ _____ МПа;
міцність при згині $\sigma_{\text{зг}} = \frac{3 P_{\text{max}} \cdot L_v}{2 b h^2} =$ _____ МПа;

Лабораторна робота № 1.4

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СТРУКТУРИ ПОЛІМЕРУ ТА НАПОВНЮВАЧА НА МІЦНІСТЬ ТА ДЕФОРМАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРІАЛІВ

Мета роботи:

- визначити міцність та деформаційні характеристики матеріалів різних класів;
- 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: поліетилен високого тиску (низької густини), поліетилен низького тиску (високої густини), поліпропілен, полівінілхлорид, полістирол, поліметілметакрилат, полікарбонат, інші матеріали

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

Результати випробувань матеріалів різних класів заносимо в табл. 1.4.

Таблиця 1.4. Механічні характеристики матеріалів при розтязі

№ п/п	Матеріал	σ_{MAX} МПа	σ_p МПа	σ_T МПа	ϵ_{MAX} %	ϵ_p %	ϵ_T %	E МПа
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								

Завдання:

- порівняти механічні характеристики матеріалів різних класів;
- порівняти експериментальні та довідникові характеристики матеріалу.

Довідникові відомості про випробуваний матеріал:

Висновки:

Дата проведення випробувань: _____

Лабораторна робота № 1.5

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕМПЕРАТУРИ ТА ШВИДКОСТІ ДЕФОРМУВАННЯ НА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПОЛІМЕРІВ

Мета роботи:

- визначити міцність та деформаційні характеристики полімерів при різних температурах та при різних швидкостях деформування;
- дослідити вплив температури та швидкості деформування на механічні властивості полімерів.

Прилади та обладнання: аналогічні описаним у лабораторній роботі 1.1 із застосуванням термокамери.

Досліджувані матеріали: полівінілхлорид (аморфний полімер), поліетилентерефталат (кристалічний полімер) або інші матеріали.

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

1. Проводимо випробування на розтяг при температурах $T = 20, 40, 60, 70, 80, 90$ та 100°C .

Результати випробувань матеріалів різних класів заносимо в табл. 1.5.1-1.5.2.

Таблиця 1.5.1. Механічні характеристики матеріалу _____ при розтязі
Робоча довжина зразка $L_0 =$ ____ мм, ширина зразків, $b =$ ____ мм, товщина $\delta =$ ____ мм

$T, ^{\circ}\text{C}$	$\sigma_R, \text{МПа}$	$\sigma_T, \text{МПа}$	$\varepsilon_{\text{MAX}}, \%$	$\varepsilon_T, \%$	$E, \text{МПа}$

Таблиця 1.5.2. Механічні характеристики матеріалу _____ при розтязі
Робоча довжина зразка $L_0 =$ ____ мм, ширина зразків, $b =$ ____ мм, товщина $\delta =$ ____ мм

$T, ^{\circ}\text{C}$	$\sigma_R, \text{МПа}$	$\sigma_T, \text{МПа}$	$\varepsilon_{\text{MAX}}, \%$	$\varepsilon_T, \%$	$E, \text{МПа}$

Будуємо графічні залежності механічних характеристик досліджених матеріалів від температури (рис. 1.5.1-1.5.4)

<i>Рис. 1.5.1.</i> Температурні залежності границі міцності при розтягу матеріалів _____ (крива 1) та _____ (крива 2)	<i>Рис. 1.5.2.</i> Температурні залежності границі текучості при розтягу матеріалів _____ (крива 1) та _____ (крива 2)
<i>Рис. 1.5.3.</i> Температурні залежності максимального видовження матеріалів _____ (крива 1) та _____ (крива 2)	<i>Рис. 1.5.4.</i> Температурні залежності модуля пружності при розтягу матеріалів _____ (крива 1) та _____ (крива 2)

2. Проводимо випробування на розтяг при швидкостях деформування $V = 0.5, 10, 50, 100, 250, 500$ та 1000 мм / хв..

Результати випробувань заносимо в табл. 1.5.3.

Таблиця 1.5.3. Характеристики матеріалу _____ при розтязі (робоча довжина зразка $L_0 =$ ____ мм, ширина зразків, $b =$ ____ мм, товщина $\delta =$ ____ мм) та матеріалу _____ (робоча довжина зразка $L_0 =$ ____ мм, ширина зразків, $b =$ ____ мм, товщина $\delta =$ ____ мм)

V, мм / хв	матеріал _____		матеріал _____	
	σ_p , МПа	ε_{MAX} , %	σ_p , МПа	ε_{MAX} , %

Будуємо графічні залежності механічних характеристик досліджених матеріалів від температури (рис. 1.5.5-1.5.6)

Рис. 1.5.5. Залежності границі міцності від швидкості деформування матеріалів _____ (крива 1) та _____ (крива 2)	Рис. 1.5.6. Залежності максимального видовження від швидкості деформування матеріалів _____ (крива 1) та _____ (крива 2)

За експериментальними даними, що зображені на **рис.1.5(2)** у вигляді точок, підібрані коефіцієнти рівнянь $\sigma_p = a \cdot V^n$ та $\epsilon_{max} = b \cdot V^m$.

Для матеріалу _____ $a =$ _____ МПа · хв / мм; $n =$ _____; $b =$ _____ хв / мм; $m =$ _____.

Для матеріалу _____ $a =$ _____ МПа · хв / мм; $n =$ _____; $b =$ _____ хв / мм; $m =$ _____.

На **рис. 1.5.5** та **1.5.6** експериментальні дані позначені точками, а результати апроксимації - суцільні лінії.

Завдання:

- побудувати залежність σ_T , σ_{max} , σ_p , ϵ_T , ϵ_{max} , E від температури та швидкості навантаження (при побудові залежностей механічних характеристик від швидкості навантаження бажано користуватися логарифмічними координатами); пояснити залежності міцності та деформаційних характеристик від зазначених факторів;

- пояснити різницю між впливом температури та швидкості навантаження на експлуатаційні характеристики аморфних та кристалічних полімерів.

Довідникові відомості про випробувані матеріали:

Висновки (порівняння залежностей механічних властивостей полімерів з різними ступенями кристалічності від температури та швидкості навантаження):

Дата проведення випробувань: _____

Лабораторна робота № 1.6

ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПРУЖНОСТІ ТА МІЦНОСТІ АНІЗОТРОПНОГО МАТЕРІАЛУ

Мета роботи:

- визначити пружні константи ортотропного матеріалу;
- розрахувати модулі пружності, коефіцієнти Пуассона, міцність та деформаційні характеристики в різних напрямках по відношенню до осей пружної симетрії.

Прилади та обладнання: аналогічні описаним у лабораторній роботі 1.1.

Досліджуваний матеріал: _____

Зразки, методика проведення випробувань та обробка результатів:

- зразки вирізають у напрямі головних осей та під кутом 45° до поздовжньої осі;
- зразки випробовують на розтяг за методикою аналогічно лабораторній роботі 1.1.

За діаграмами деформування визначені характеристики

- у напрямку головних осей (E_0 , $\sigma_{P(0)}$, $\epsilon_{\max(0)}$, E_{90} , $\sigma_{P(90)}$, $\epsilon_{\max(90)}$);
- під кутом 45° до головних осей (E_{45} , $\sigma_{P(45)}$, $\epsilon_{\max(45)}$)/

Значення модуля пружності, границі міцності та відносного видовження при розриві заносимо в *табл. 1.6.1*.

Таблиця 1.6.1. Механічні характеристики матеріалу _____ при розтязі.

Робоча довжина зразка L_0 = ____ мм, ширина зразків, b = ____ мм, товщина δ = ____ мм

кут вирізу зразка	№ зразка	E , МПа	σ_P , МПа	$\epsilon_{\max}$, %
0°	1			
	2			
	2			
	середні значення	$E_0 =$	$\sigma_{P(0)} =$	$\epsilon_{\max(0)} =$
45°	1			
	2			
	2			
	середні значення	$E_{45} =$	$\sigma_{P(45)} =$	$\epsilon_{\max(45)} =$
90°	1			
	2			
	2			
	середні значення	$E_{90} =$	$\sigma_{P(90)} =$	$\epsilon_{\max(90)} =$

Розраховано коефіцієнти, що входять в рівняння

$$E(\varphi) = \frac{\lambda \cdot E_0}{\lambda \cdot \cos^4 \varphi + 2B \cdot \cos^2 \varphi \cdot \sin^2 \varphi + \sin^4 \varphi}, \quad (1.6.1)$$

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

$$G(\varphi) = \frac{G_0}{1 - (1 - C) \cdot \sin^2 2\varphi}, \quad (1.6.2)$$

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

$$\mu(\varphi) = \frac{\mu_{90} - \frac{1}{4}(1 + \lambda - 2B) \cdot \sin^2 2\varphi}{\lambda \cos^4 \varphi + 2B \cos^2 \varphi \cdot \sin^2 \varphi + \sin^4 \varphi}; \quad (1.6.3)$$

$$\sigma_P(\varphi) = \frac{\lambda_\sigma \cdot \sigma_{P(0)}}{\lambda_\sigma \cdot \cos^4 \varphi + 2B_\sigma \cos^2 \varphi \cdot \sin^2 \varphi + \sin^4 \varphi}; \quad (1.6.4)$$

$$\text{де } \lambda_\sigma = \frac{\sigma_{P(90)}}{\sigma_{P(0)}}, \quad 2B_\sigma = 4 \frac{\sigma_{P(90)}}{\sigma_{P(45)}} - (1 + \lambda_\sigma);$$

$$\varepsilon_{\max}(\varphi) = \frac{\lambda_\varepsilon \cdot \varepsilon_{\max(0)}}{\lambda_\varepsilon \cdot \cos^4 \varphi + 2B_\varepsilon \cos^2 \varphi \cdot \sin^2 \varphi + \sin^4 \varphi}, \quad (1.6.5)$$

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

Таким чином,

$$\begin{aligned} \lambda &= \underline{\hspace{2cm}}; & 2B &= \underline{\hspace{2cm}}; \\ C &= \underline{\hspace{2cm}}; & G_0 &= \underline{\hspace{2cm}} \text{ МПа}; \\ \lambda_\sigma &= \underline{\hspace{2cm}}; & 2B_\sigma &= \underline{\hspace{2cm}}; \\ \lambda_\varepsilon &= \underline{\hspace{2cm}}; & 2B_\varepsilon &= \underline{\hspace{2cm}}. \end{aligned}$$

При цьому прийнято $\mu_{90} = 0.25$.

За формулами (1.6.1) - (1.6.5) обчислено значення E , G , μ , σ_P , та $\varepsilon_{\max}$ в напрямках під кутами $\varphi = 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 135, 150, 165, 180^\circ$ відносно повздовжньої осі листа.

Результати занесено в табл. 1.6.2 (експериментальні дані та результати розрахунків відокремлені).

Таблиця 1.6.2. Залежності механічних характеристик від напрямку вирізки зразків

φ, град	E, МПа		G, МПа	μ	σ _P , МПа		ε _{max} , %	
	експер.	розрах.			експер.	розрах.	експер.	розрах.
0								
15	---				---		---	
30	---				---		---	
45								
60	---				---		---	
75	---				---		---	
90								
105	---				---		---	
120	---				---		---	
135	---				---		---	
150	---				---		---	
165	---				---		---	
180								

Побудовано графічні залежності механічних характеристик досліджених матеріалів від кута вирізки зразків (*рис. 1.6*).

$E = E(\varphi)$	$G = G(\varphi)$	$\mu = \mu(\varphi)$
$\sigma_p = \sigma_p(\varphi)$	$\varepsilon_{\max} = \varepsilon_{\max}(\varphi)$	<i>Рис. 1.6. Залежності механічних властивостей матеріалу від кута відносно головної осі симетрії (кругові діаграми).</i> <i>Матеріал</i> _____

Завдання:

- визначити характеристики матеріалу у напрямку головних осей (E_0 , $\sigma_{p(0)}$, $\varepsilon_{\max(0)}$, E_{90} , $\sigma_{p(90)}$, $\varepsilon_{\max(90)}$) та під кутом 45° (E_{45} , $\sigma_{p(45)}$, $\varepsilon_{\max(45)}$);
- розрахувати коефіцієнти, що входять до рівнянь (1.6.5) - (1.6.5);
- розрахувати характеристики матеріалу під кутами $0 - 180^\circ$;
- побудувати кругові діаграми $E(\varphi)$, $G(\varphi)$, $\mu(\varphi)$, $\sigma_p(\varphi)$ та $\varepsilon_{\max}(\varphi)$, користуючись формулами (1.6.5) - (1.6.5). При розрахунках використовувати значення $\mu_{90}=0.25$.

Довідникові відомості про випробуваний матеріал: _____

Висновки (пояснення щодо причин виникнення анізотропії композиційного матеріалу, ступіні анізотропії різних характеристик): _____

Дата проведення випробувань: _____

Лабораторна робота № 1.7

ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТІВ ПОЧАТКОВОГО ТЕРТЯ І ТЕРТЯ КОВЗАННЯ.

Мета роботи: визначення коефіцієнтів початкового тертя і тертя ковзання полімерних плівок і листів при ковзанні їх один по одному або по інших матеріалах при певних умовах випробування..

Прилади та обладнання: випробувальна машина TIRATEST-2151, TIRATEST-2300;
штангенциркуль з ціною поділки 0.05 мм;
товщиномір з ціною поділки 0.001 мм;
ножиці або різак;
одностороння липка стрічка;
двостороння липка стрічка;
нейлонова монопітка діаметром $0,33 \pm 0,05$ мм ;
салазки масою 200 ± 5 г;
несуча площину;
блоки з малим тертям;
основа.

Досліджуваний матеріал: _____

Тип зразка: _____

Розміри зразка: товщина $b =$ _____ мм.

Порядок випробувань:

1. Ввести в машину необхідні вхідні дані.
2. Закріпити зразок на несучій площині та прикріпити до основи.
3. Прикріплюють один кінець нейлонової нитки до динамометру, пропускають нитку через блок і прикріплюють до салазки.
4. Встановити швидкість деформування $V =$ _____ мм / хв.
5. Записати діаграму в координатах «зусилля - видовження».
6. Провести обробку діаграми.

За діаграмою деформування одержати такі дані:

максимальне значення сили $P_s =$ _____ Н;
значення рушійної сили при ковзанні $P_k =$ _____ Н;

Коефіцієнти тертя:

Статичний коефіцієнт тертя $\mu_s = \frac{P_s}{m} = \text{-----} =$

Динамічний коефіцієнт тертя $\mu_k = \frac{P_k}{m} = \text{-----} =$

Вихідна діаграма зміни зусилля, що одержана за допомогою випробувальної машини, додається до протоколу.

Завдання:

- одержати діаграми зміни зусилля матеріалу;
- розрахувати статичний та динамічний коефіцієнти тертя;
- порівняти експериментальні та довідникові характеристики матеріалу.

Довідникові відомості про випробуваний матеріал (клас матеріалу, механічні характеристики, галузі застосування, способи обробки):

Висновки: _____

Дата проведення випробувань: _____