

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

**НОВІ МАТЕРІАЛИ  
МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ**

**"Методи вимірювання характеристик міцності та пружності  
конструкційних пластмас та гум  
при короткочасному навантаженні"**

**Київ, НТУУ "КПІ", 2011 р.**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
"КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"

НОВІ МАТЕРІАЛИ  
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"

Київ, НТУУ "КПІ", 2011 р.

Нові матеріали . 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" // Шидловський М.С., Шпак Д.Ю. – К.: НТУУ "КПІ", 2011. – 36 с.

Ухвалено

на засіданні Методичної Комісії

ММІ НТУУ "КПІ".

Протокол № 10 від 05. 2011 р.

Навчальне електронне видання

Нові матеріали

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт .

"Методи вимірювання характеристик міцності та пружності конструкційних пластмас та гум при короткочасному навантаженні ".

Для студентів спеціальності "Динаміка та міцність машин"

Укладачі:

М.С. Шидловський

Д.Ю. Шпак

Відповідальний редактор

М.І. Бобир

Рецензент

О.Ф. Луговський

## З М І С Т

		стор.
	<i>Зміст</i>	3
	<i>Вступ</i>	4
	<i>Техніка безпеки при роботі з випробувальним обладнанням</i>	7
<b>1</b>	<i>Терміни та основні визначення</i>	8
<b>2</b>	<i>Основні цілі випробувань</i>	10
<b>3</b>	<i>Основні види випробувань та класифікація обладнання</i>	11
<b>4</b>	<i>Основні параметри засобів випробувань</i>	13
<b>5</b>	<i>Загальні вимоги до зразків конструкційних пластмас та технології їх виготовлення</i>	16
<b>5.1</b>	Форма, розміри, маркування та необхідна кількість зразків	16
<b>5.2</b>	Основні вимоги до технології виготовлення зразків	20
<b>5.2.1</b>	Виготовлення зразків термопластичних пластмас методом лиття під тиском	20
<b>5.2.2</b>	Виготовлення зразків термопластичних пластмас методом прямого пресування	21
<b>5.2.3</b>	Виготовлення зразків термореактивних пластмас методом пресування	23
<b>6</b>	<i>Загальний порядок проведення випробувань</i>	26
<b>6.1</b>	Кондиціонування зразків перед випробуваннями	26
<b>6.2</b>	Підготовчі роботи	28
<b>6.3</b>	Обробка та реєстрація результатів випробувань	29
<b>7</b>	<i>Особливості випробувань технічних гум</i>	33
	<i>Література</i>	36

## Вступ

Розробка та впровадження сучасного технічного обладнання тісно пов'язано із застосуванням великої кількості нових конструкційних матеріалів, серед яких одне з чільних місць займають конструкційні пластмаси, композиційні матеріали на основі полімерів та гуми. Унікальні фізико-механічні характеристики таких матеріалів (мала вага, висока питома міцність, корозійна стійкість) роблять їх незамінними в багатьох галузях промисловості та сприяють зниженню матеріаломісткості виробів.

При проектуванні зазначеного обладнання та коректного проведення розрахунків на міцність та жорсткість необхідно знати основні механічні властивості нових матеріалів, більшість з яких до теперішнього часу досліджено недостатньо повно. Тому кваліфікованим спеціалістам в області міцності та надійності необхідно оволодіти сучасними експериментальними методами досліджень з урахуванням супутніх факторів та знати методи обробки результатів.

Програмою курсу "Нові матеріали" для студентів спеціальності "Динаміка та міцність машин" ММІ НТУУ "КПІ" передбачено протягом навчального року виконання комплексу лабораторних робіт. В них проводяться вимірювання міцності та деформації матеріалів, визначаються основні в'язкопружні та реологічні характеристики, вивчаються динамічні властивості й анізотропія механічних показників. В більшості робіт враховується температурний фактор.

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 [2].

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 закріплення знань, отриманих студентами на лекціях та на практичних заняттях.

Як показує практика викладання дисципліни "Нові матеріали", на сьогоднішній день практично відсутні електронні видання (методичні рекомендації або практикуми), за допомогою яких студенти спеціальності "Динаміка та міцність машин" мали б змогу самостійно ознайомитися з обладнанням, що застосовується в експериментальних дослідженнях сучасних конструкційних матеріалів.

Ці вказівки та практикуми, що видані на кафедрі ДММ та ОМ [3-5] допомагають студентам при самостійній підготовці лише до конкретних лабораторних робіт і не можуть дати загальної уяви про експериментальні (стандартні або не стандартизовані) методи досліджень механічних властивостей конструкційних матеріалів.

Зазначені недоліки враховані при складанні пропонованих методичних вказівок, при написанні яких бралися до уваги такі чинники:

- роль самостійної роботи студентів повинна постійно підвищуватися;
- необхідне суттєве поліпшення підготовки студентів до проведення лабораторних робіт;
- практично відсутня упорядкована методична література, що присвячена найбільш розповсюдженим методам випробувань та сучасному обладнанню;
- спеціалістам при роботі у будь-якій галузі необхідні знання про стандартні методи визначення основних характеристик матеріалів та виробів, зокрема при вирішенні питань, пов'язаних з оцінкою їх якості.

**Пропоноване електронне видання допоможе у самостійній роботі студентів не тільки при підготовці до проведення лабораторних робіт, але також при підготовці до практичних занять, заліку та екзамену.**

**Ціль та призначення видання: зберегти час студентів на пошук літератури, що потрібна для попереднього ознайомлення з лабораторними робота-**

ми за курсом "Нові матеріали", поліпшити якість підготовки при вивченні дисципліни в цілому.

## **Техніка безпеки при роботі з випробувальним обладнанням**

1. При проведенні лабораторних робіт:

– усі студенти знаходяться на місцях, визначених викладачем, і самостійну роботу виконують тільки під його наглядом;

– усі студенти дотримуються загальноприйнятих правил електробезпеки.

2. У лабораторії **ЗАБОРОНЯЄТЬСЯ:**

– перебувати у верхньому одязі, розвішувати одяг або класти речі на лабораторне обладнання;

– без дозволу викладача вмикати або вимикати випробувальні установки;

– працювати на установках при відкритих кришках та дверцятах установок;

– торкатися до рухомих частин випробувальних машин, затискувачів та об'єктів випробувань під час роботи установок;

– навантажувати установки вище максимально допустимих значень навантаження.

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

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.**

## 1. Терміни та основні визначення

**База вимірювання деформації** – довжина відрізка прямої між двома точками (мітками), що нанесені на зразок або виділені базою тензометра, яка вимірюється перед прикладенням сили. Точки, як правило, наносяться на зразок так, щоб напрямок прямої, що їх з'єднує, співпадає з напрямком дії зовнішньої сили або був перпендикулярним до нього.

**Відносна похибка** – характеристика ступеня відхилення середнього значення від шуканого значення.

**Відносне видовження** – відношення абсолютного видовження лінійного елемента до початкової його довжини.

**Границя текучості** – напруження, при якому зразок деформується без суттєвого збільшення навантаження.

**Деформація** – зміна форми або розмірів тіла (або якої-небудь його частини) без зміни маси.

**Дійсне напруження** – середнє напруження, що визначається відношенням діючої сили до площі поперечного перерізу, що змінюється під час випробування.

**Довірчий інтервал** – значення границь, в яких при заданій ймовірності знаходиться значення показника, що визначається.

**Залишкова деформація зразка** – деформація, що залишається після припинення дії на матеріал силових факторів, що її викликали, і деформація, що накопичилася за даний відрізок часу в результаті зміни стану матеріалу.

**Зворотна деформація** – деформація, що зникає при припиненні дії на матеріал силових факторів, що її викликали.

**Коефіцієнт варіації** – характеристика розкиду результатів відносно середнього значення, визначеного за даними виконаних випробувань.



**Механічні властивості** – властивості, що характеризують при заданих зовнішніх умовах (температура, тиск і т.д.) здатність деформуватися (змінювати початкові розміри і форму) і руйнуватися під дією прикладених зовнішніх сил.

**Механічні випробування** – випробування для визначення механічних властивостей.

**Напруження при розтягу** – характеристика, що визначається відношенням діючої сили до вихідної площі поперечного зразка.

**Повзучість** – збільшення деформацій в зразку в часі при постійному напруженні.

**Релаксація напруження** – наслідок, що виражається в зміні у часі напруження деформованого матеріалу, загальна деформація якого зафіксована.

**Руйнуюча напруження** – напруження, що відповідає моменту руйнування зразка.

**Середнє значення показника** – характеристика найбільш ймовірного значення показника, визначеного за результатами виконаних випробувань.

**Час навантаження** – час від початку прикладення навантаження до моменту відліку показника, що визначається.

**Швидкість деформації** – відношення деформації до часу, за який вона утворилася. Швидкість деформації виражається в  $s^{-1}$ .

**Швидкість навантаження** – відношення приросту навантаження, що прикладене до випробуваного зразка, до відрізка часу, за який це підсилення досягнуто. Швидкість навантаження при розтягу виражається в МПа/с.

Співставлення режимів випробувань за швидкістю навантаження допускається тільки для зразків однакового розміру.

## **2. Основні цілі випробувань**

Вибір методів випробувань конструкційних пластмас залежить від цілей, що ставляться перед дослідником, і повинні бути сформульовані ще на етапі планування експериментів. Такими цілями можуть бути:

**а.** Визначення характеристик при розробці та виготовленні дослідних зразків нових матеріалів. На основі випробувань оцінюється можливість застосування матеріалів в заданих умовах. У цьому випадку вибираються оптимальні технології виготовлення матеріалів та їхні рецептури (склади).

**б.** Випробування з ціллю вибору матеріалів, що найповніше відповідають конкретним умовам експлуатації (рівень напружень, вид напружено - деформованого стану, температура, вологість, циклічність навантаження, швидкість деформування тощо).

**в.** Випробування нових матеріалів для розробці нормативно - технічної документації (державні або галузеві стандарти, технічні умови на продукцію) на певний матеріал, який буде надалі використовуватися у промисловості.

Вищезазначені роботи (а-в) є науково - дослідницькими та повинні виконуватися у спеціалізованих НДІ. Подібні роботи супроводжуються лабораторними дослідженнями.

**г.** Випробування матеріалів, що випускаються промисловістю, з метою оцінки відповідності цих матеріалів нормативно - технічної документації. Ці роботи виконуються у спеціалізованих лабораторіях, що акредитовані у відповідності з діючим законодавством. На основі таких випробувань на продукцію видаються сертифікати відповідності, затверджені Держпоживстандартом України.

Що необхідно знати перед тим, як приступати до планування експерименту та вибору відповідного класу апаратури?

**1.** Обов'язково необхідно визначити очікувані умови експлуатації матеріалу з ряду, що зазначений вище.

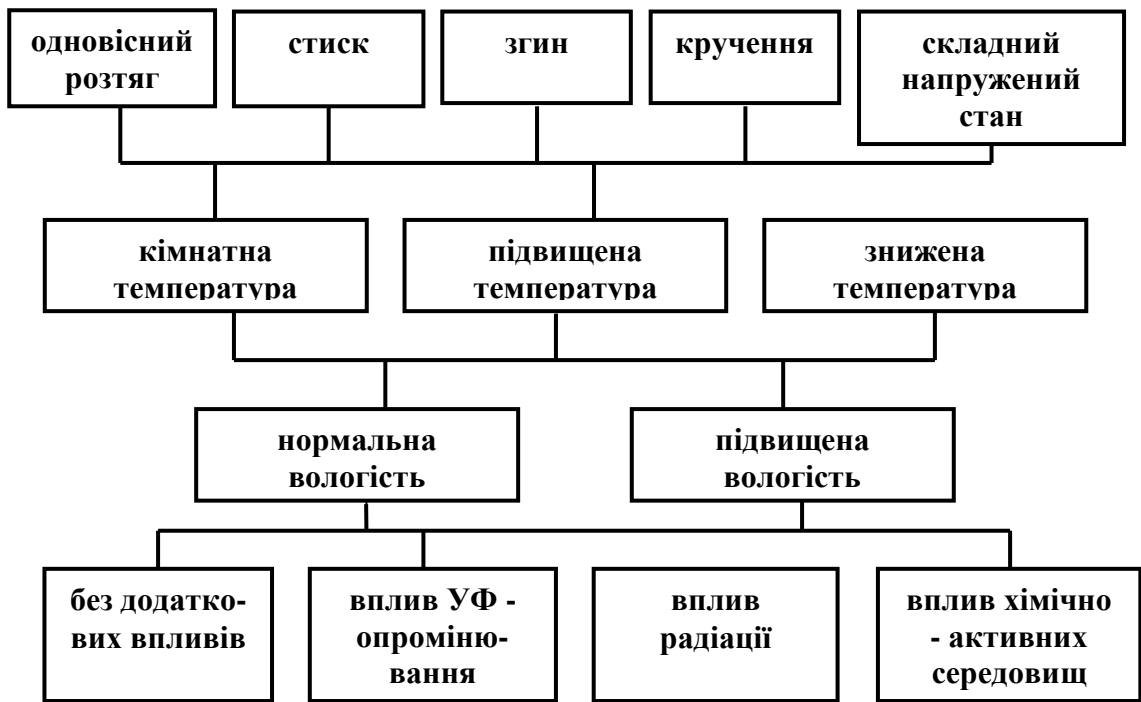
2. Також обов'язково знати режим силових впливів (статичний або динамічний, короткочасний або довготривалий, постійний або циклічний) При динамічних навантаженнях (вібраціях) необхідно знати швидкість, частоту та амплітуди сил.

3. Для прискорення проведення випробувань бажано знати клас матеріалу і, отже, орієнтовні (довідникові) значення механічних характеристик (границя міцності, границя плинності, максимальне видовження, температурний діапазон працездатності матеріалу тощо).

### **3. Основні види випробувань та класифікація обладнання**

**Види випробувань.** Найбільш розповсюджені види випробувань та супроводжуючі умови наведені у вигляді блок - схеми на **рис.1**. На цієї схемі найбільш прості види випробувань розташовані на схемі ліворуч, найбільш складні - праворуч. Умови випробувань ускладнюються при переміщенні по схемі зверху вниз.

Найбільш складні та, відповідно, найбільш затратні - це випробування при комбінації умов випробувань, наприклад, випробування при підвищених температурах з одночасною дією високої вологості при ультрафіолетовому промінні (імітація реальних кліматичних умов з урахуванням сонячного опромінювання).



**Рис. 1. Види та умови випробувань конструкційних пластмас на міцність при короткочасній дії навантажень.**

**Класифікація випробувальних машин.** Випробувальні машини в залежності від видів деформації, способів силозбудження, типів вимірювачів сили та видів випробувальних матеріалів підрозділяють на такі типи :

<b>За видом деформації зразка</b>	
<b>назва машини</b>	<b>вид деформації</b>
розривні	розтяг
преси	стиск
ротаційні	кручення
універсальні	розтяг, стиск, згин, кручення

<b>За способом силозбудження</b>
електромеханічні
електрогідравлічні

<b>За типом силовимірювального пристрою</b>
з маятниковим або важельно - маятниковим силовимірювачем
з торсіонним силовимірювачем
з електричним (тензорезисторним, вібраційно - частотним або іншим) силовимірювачем

<b>За видом випробувальних матеріалів</b>
для випробування зразків ме- талів
для випробування будівельних матеріалів
для випробування полімерних матеріалів (конструкційні пластмаси та гума)
для випробування текстильних матеріалів
для випробування декількох видів матеріалів

Схеми, що відображають компоновку, і складові частини машин повинні відповідати принципам блочно-модульного конструювання (модульного формування техніки).

#### 4. Основні параметри засобів випробувань

Характеристики випробувальних машин для випробувань матеріалів на розтяг, стиск та згин зазначено в нормативному документі [7]. Для випробування конструкційних пластмас використовуються, як правило, універсальні машини з електромеханічним приводом та з електричним вимірювачем сили. Найбільше граничне навантаження таких випробувальних машин не перевищує 100 кН.

Для випробування гум призначені розривні машини з електромеханічним приводом та з електричним або маятниковим вимірювачем сили. Найбільше граничне навантаження машин для випробування гум вибирається з ряду 0.01, 0.05, 0.5, 5, 10, 20, 50 та 100 кН в залежності від механічних характеристик гуми та розмірів зразків.

Гранична допустима відносна похибка вимірювання навантаження машин для випробувань конструкційних пластмас та гум при прямому ході рухомого затискувача не повинна перевищувати  $\pm(0.5...1.0)\%$  від вимірюваного навантаження. Похибки вимірювання навантажень при випробуванні інших матеріалів наведені в **табл.1**.

**Табл. 1. Границя допустимої похибки вимірювання навантажень (зусиль) при прямому ході у відсотках від вимірюваного навантаження**

Група машин	0-Н	1-Н	2-Н	3-Н
Границя допустимої похибки	$\pm 0,5$	$\pm 1,0$	$\pm 2,0$	$\pm 3,0$

Гранична допустима відносна похибка вимірювання деформації (видовження при розтягу, скорочення при стиску, прогину при згині) при випробуваннях зазначених матеріалів повинна знаходитися в межах, що вказані в **табл.2**. Границя допустимої похибки вимірювання і записи деформації в машинах, обладнаними електричними вимірювачами деформації, не повинен перевищувати  $\pm 2,0\%$  від верхньої границі діапазону вимірювача деформації.

**Табл. 2. Границя допустимої похибки вимірювання деформації (видовження) у відсотках від верхньої границі діапазону вимірювача**

Група машин	1-Д	2-Д	3-Д	5-Д
Границя допустимої похибки	±1.0	±2.0	±3.0	±5.0

Значення масштабів записи деформації (видовження) зразка і переміщення активного захвату обирають з ряду: 2000:1, 1000:1, 500:1, 100:1, 50:1, 20:1, 10:1, 5:1, 2:1, 1:1; 1:2; 1:5; 1:10.

Значення відношень найбільшого граничного навантаження до найменшого і розділення машин на групи по цьому параметру вказані в **табл.3**.

Діапазон регулювання швидкостей переміщення активного захвату без навантаження і розподілення машин на групи по цьому параметру вказані в **табл.4**. Групу, найбільшу швидкість і діапазон швидкостей вказують в технічних умовах на випуск машин.

**Табл. 3. Відношення найбільшого граничного навантаження до найменшого**

Група машин	1-О	2-О	3-О	4-О	5-О	6-О	7-О	8-О
Відношення навантажень	10000	5000	1000	500	200	100	50	20

**Табл. 4. Відношення найбільшої швидкості переміщення захвату до найменшої**

Група машин	1-Ш	2-Ш	3-Ш	4-Ш	5-Ш	6-Ш
Відношення швидкостей	100000	50000	10000	1000	100	10

**Примітка:** Допускається використання інших діапазонів регулювання швидкостей, що обираються з ряду  $1 \cdot 10^n$ , де  $n$  дорівнює 0 або будь-якому цілому числу.

Значення найбільших швидкостей переміщення активного захвату встановлюють в діапазоні від 2 до 1000 мм/хв.

Великі літери в позначеннях груп машин в **табл.1-4** означають: Н – навантаження (зусилля), Д – деформація, О – діапазон навантажень; Ш – діапазон регулювання швидкостей.

В розривних та універсальних машинах повинна бути забезпечена можливість встановлення теплових та холодильних камер для проведення випробувань при підвищених і понижених температурах. Границі і точність регулювання підвищених і понижених температур встановлюють в технічних умовах на машини у відповідності з вимогами стандартів на методи випробувань матеріалів.

Спроможність випробувальних машин підтримувати режим за навантаженням і деформацією визначається їх податливістю [6]. Податливість машин виражається відношенням величини переміщення (в напрямку дії сили) робочих органів, що дотикаються зі зразком, до величини сили, що викликала це переміщення.

**Приклад.** Випробувальна універсальна машина з маятниковим силови-мірювачем. Граничне навантаження 5.0 кН. Податливість: за шкалою 5.0 кН – 0,005 мм/Н, за шкалою 2.5 кН – 0,01 мм/Н, за шкалою 0.5 кН – 0,025 мм/Н.

Повний середній строк служби машин повинен бути не менш 15 років.



## 5. Загальні вимоги до зразків конструкційних пластмас та технології їх виготовлення

### 5.1. Форма, розміри, маркування та необхідна кількість зразків

Форма і розмір зразків для механічних випробувань (рис. 2, 3, 4 та 5) передбачаються у відповідних стандартах [6-9] і технічних умовах на пластмаси. Форму і розміри зразків обирають, враховуючи при цьому вид і величину деформацій, що вимірюються, а також з урахуванням анізотропії, пористості і інших особливостей випробуваних матеріалів.

Для випробування на розтяг використовують зразки, передбачені стандартом [7], або аналогічні зразки з відношенням  $L_{роб} / b_{max} \geq 5$ ,

де  $L_{роб}$  - довжина робочої ділянки;

$b_{max}$  - максимальний розмір поперечного перерізу.

Для випробування на стиск використовують зразки, передбачені стандартом [8], або аналогічні зразки з відношенням  $h / b_{min} = 2.9$  для матеріалів з модулем пружності більш 1000 МПа,

де  $h$  – висота зразка

$b_{min}$  - мінімальний розмір поперечного перерізу.

Для інших матеріалів це співвідношення повинне дорівнювати 1.5.

Вимірювання деформації в першому випадку проводять в середній третині зразка, а у другому випадку отримують тільки порівняльні характеристики матеріалів.

Для випробування на статичній і двохопорний згин повинні використовувати зразки, передбачені стандартом [9].

Зразки на анізотропних матеріалів виготовляють вздовж головних осей анізотропії. Допускається виготовляти зразки, вирізані під кутом до напрямку головних осей анізотропії, якщо це передбачено в стандартах або технічних умовах на матеріал.

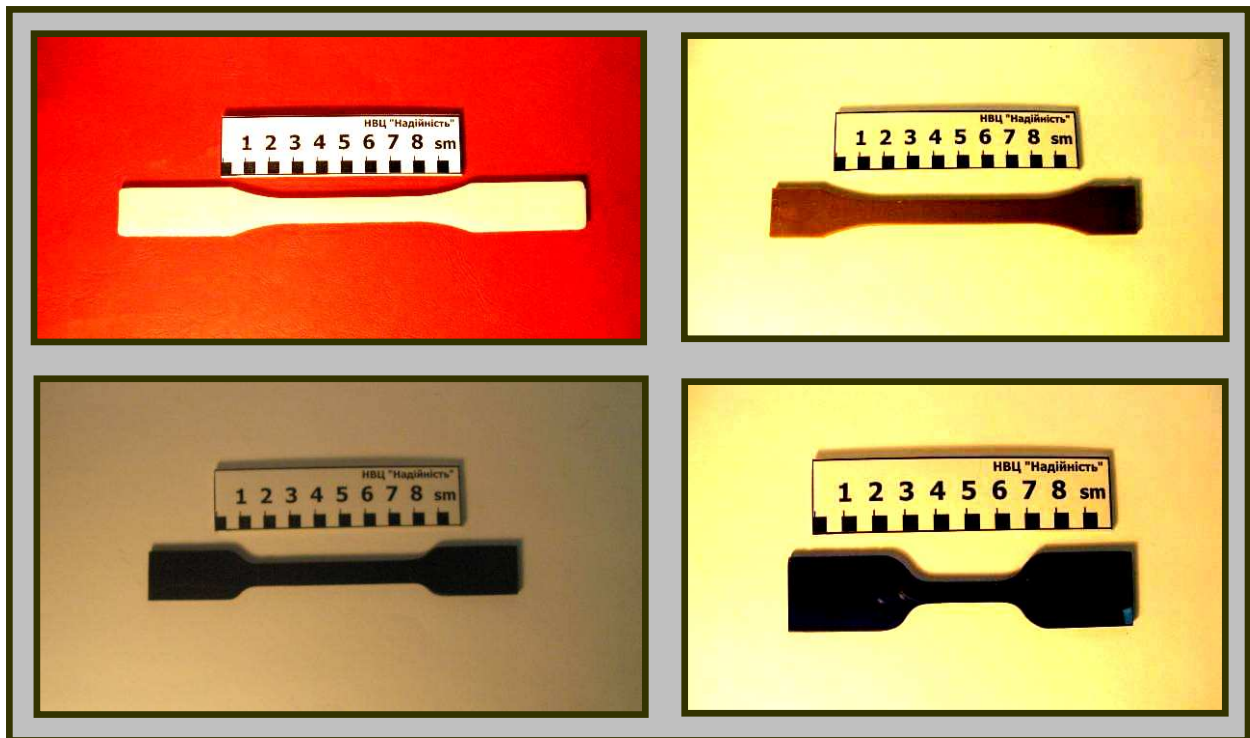


Рис. 2. Зразки, виготовлені за стандартом [7], для випробувань на розтяг

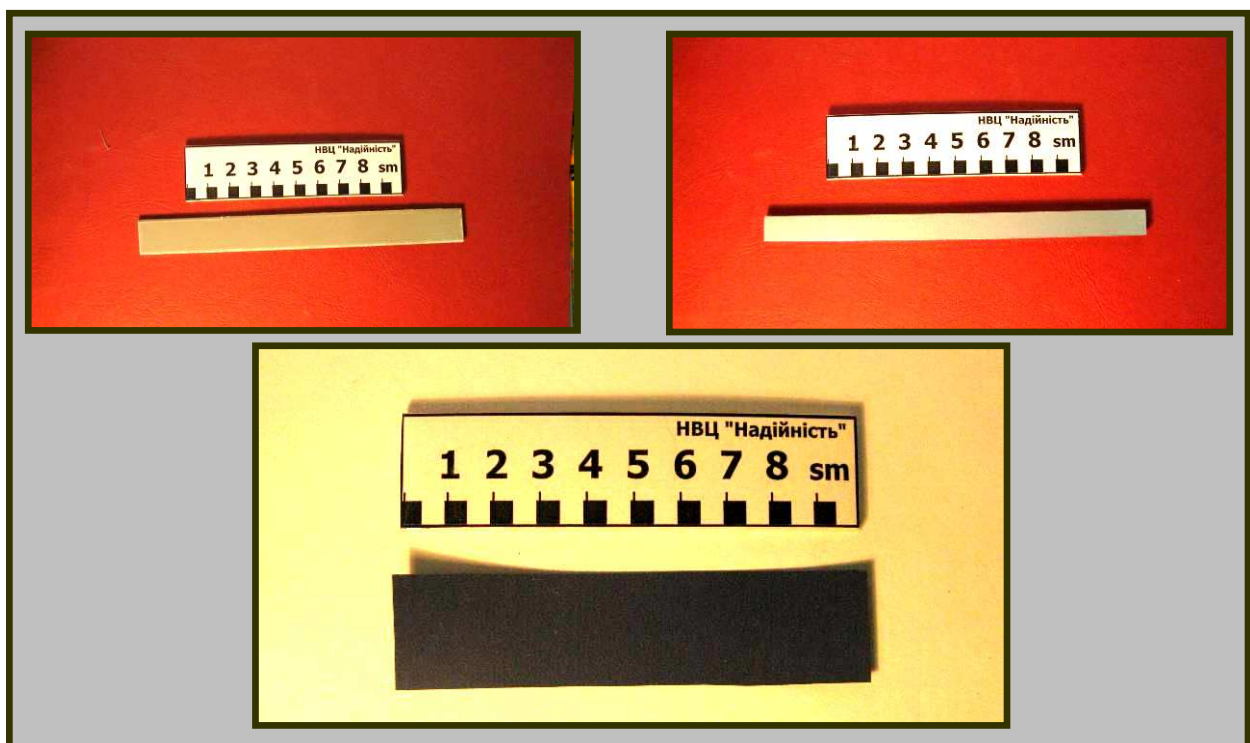


Рис. 3. Зразки, виготовлені за стандартом [7], для випробувань на розтяг

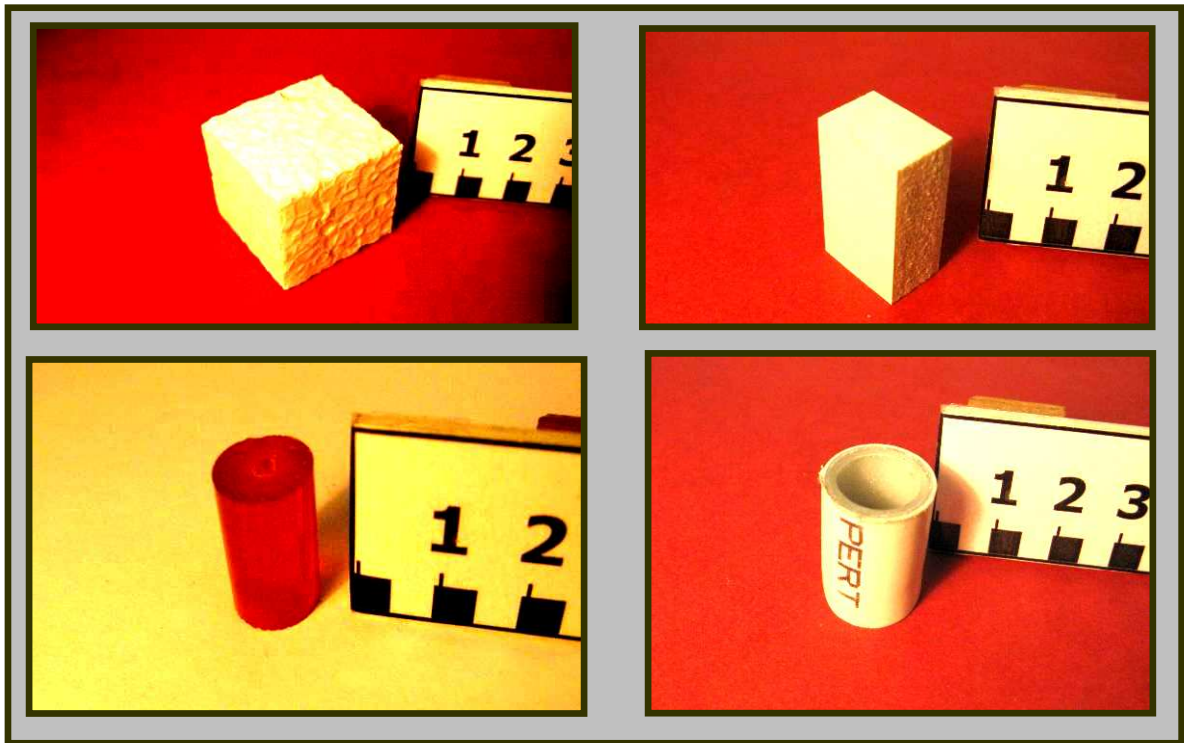


Рис. 4. Зразки, виготовлені за стандартом [8], для випробувань на стиск

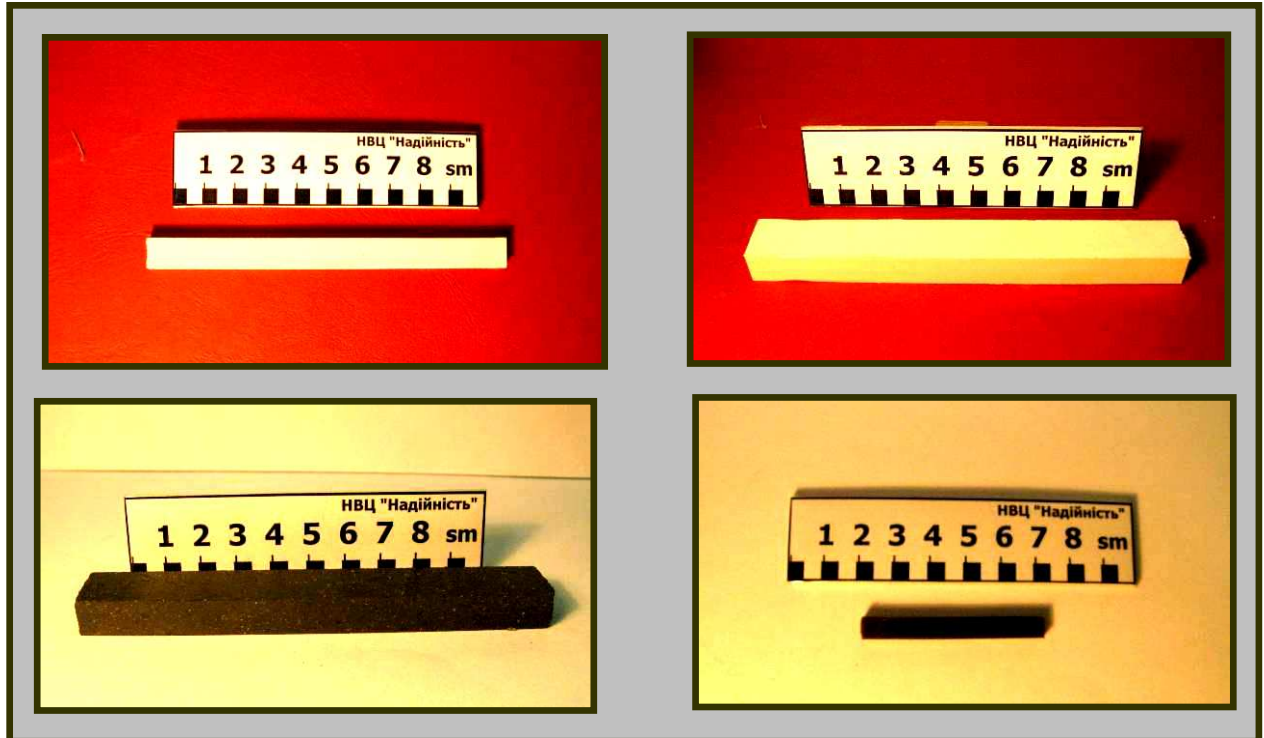


Рис. 5. Зразки, виготовлені за стандартом [9], для випробувань на згин

Зразки перед випробуванням слід нумерувати. Місце і спосіб нанесення номера повинні обирати так, щоб не викликати змін механічних властивостей зразка. Якщо зразок при випробуваннях руйнується на дві частини, то маркування наноситься так, щоб на обох частинах зберігався номер.

Стандарт або технічні умови на конструкційні пластмаси повинні мати опис технології виготовлення зразків за стандартами [10, 11] або іншим стандартам на методи виготовлення зразків.

Зразки повинні бути виготовлені з дотриманням допусків на кривизну і паралельність, передбачених в стандартах на методи випробувань, і не повинні мати раковин, сколів, здуттів, тріщин і інших дефектів, які можуть бути виявлені при зовнішньому огляді або дефектоскопії.

**Вимоги до кількості випробувальних зразків.** Кількість зразків, що необхідне для випробування встановлюються технічними умовами на пластмасу. При відсутності зазначених вимог (наприклад, при проведенні дослідницьких робіт з визначення характеристик нових матеріалів) мінімальна кількість зразків встановлюється згідно рекомендацій стандарту [6] з урахуванням вимог методів випробувань та точності визначення вимірювальної величини з заданою вірогідністю.

При виконанні дослідницьких робіт, пов'язаних з розробкою та впровадженням нових матеріалів для визначення середніх значень коефіцієнтів варіації механічних характеристик однієї марки пластмаси повинно бути випробувано не менше 10 партій цієї марки, в кожній з котрих не менше 25 зразків.

## **5.2. Основні вимоги до технології виготовлення зразків**

Зразки для вимірювання механічних характеристик рекомендовано виготовляти у формі прямокутної призми або лопатки. Форма, розміри, допуски та спосіб виготовлення повинні бути вказані в стандартах на методи випробувань або в нормативно-технічній документації на конкретну продукцію [12]. Плити та листи повинні мати гладку рівну поверхню без здуттів, сколів, тріщин, раковин та інших дефектів, що видимі при п'ятиразовому збільшенні. При виготовленні зразків, що піддаються випробуванням, необхідно досягати якомога більшу ідентичність в технології.

### **5.2.1. Виготовлення зразків термопластичних пластмас методом лиття під тиском**

Вимоги до технології виготовлення зразків термопластичних пластмас методом лиття під тиском встановлені стандартом [11].

Виливні машини повинні забезпечувати регулювання та контроль таких параметрів роботи: зусилля, що прикладається до поршня або шнеку при його поздовжньому переміщенні; кількість термопласту, що надходить до нагрівного циліндру за один цикл (дозування за об'ємом або масою); тривалість одного циклу лиття та його елементів; температура нагрівного циліндру та температура термопласту у соплі нагрівного циліндру.

Час перебування термопласту в нагрівному циліндрі машини повинне бути мінімальним, щоб виключити його термічний розклад. Для випробувань відбирають зразки, що виготовлені тільки у процесі лиття, що установився, в умовах безупинної роботи виливної машини та дублюванні кожного циклу. Решту зразків виключають.

У зразків, що відібрані для випробування, видаляють літник, а його рештки зачищають. Випробування зразків здійснюють не раніше, ніж через 16 годин з моменту їх виготовлення, якщо в нормативно-технічній документації

на конструкційну пластмасу відсутні вказівки про попередню теплову обробку для зняття внутрішніх теплових напружень, що викликані нерівномірним охолодженням різних частин зразка у формі.

### **5.2.2. Виготовлення зразків термопластичних пластмас методом прямого пресування**

Вимоги до технології виготовленні зразків термопластичних пластмас методом прямого пресування встановлені стандартом [11]. Прес, що створює необхідний постійний тиск, повинен допускати регулювання цього тиску з точністю до  $\pm 10\%$ . Прес-форма повинна заповнюватися в один прийом, нагріватися та охолоджуватися з точністю до  $\pm 3^{\circ}\text{C}$  в усіх точках поверхні, що утворює форму зразка.

Прес-форма повинна бути сконструйована та виготовлена так, щоб зусилля преса передавалося на термопласт без значних втрат до закінчення циклу пресування і щоб тиск під час пресування було спрямоване перпендикулярно до широкої частини зразка.

Поверхня формуючої порожнини прес-форми повинна бути виготовлена з матеріалу, що не викривляє термопласт, та стійкого до корозії.

Основні операції пресування зразків:

– нагрів прес-форми до температури  $40\text{-}50^{\circ}\text{C}$  або близької до температури пресування; завантаження розкритої форми відповідною ваговою кількістю термопласту; нагрів завантаженого у форму термопласту, при цьому для покращення теплопередачі від стінок прес-форми до термопласту опускають пуансон (або підіймають матрицю) таким чином, щоб термопласт до досягнення температури пресування знаходився під тиском до  $0.4\text{ МПа}$ ;

– витримка термопласту при температурі пресування та зазначеному невеличкому тиску протягом  $5\text{-}15\text{ хв}$  для рівномірного прогріву всієї його маси;

- підвищення тиску до необхідної величини, але не менше 3.5 МПа, витримка термопласту протягом необхідного часу (залежності від форми та виду термопласту) при цьому тиску та температурі пресування;

- охолодження прес-форми без зниження тиску до температури, при якій зразок, що знаходиться у прес-формі, можна вилучити без пошкодження його поверхні та зміни форми;

- розкриття прес-форми та вилучення охолодженого зразку термопласту. Зразки випробують не раніше, ніж через 16 годин після їх виготовлення.

### **5.2.3. Виготовлення зразків термореактивних пластмас методом пресування**

Вимоги до технології виготовленні зразків термореактивних пластмас методом пресування встановлені стандартом [10].

Для виготовлення зразків з реактопластів використовують гідравлічні преси, що забезпечують регулювання та контроль таких параметрів:

- тиск на матеріал під час пресування з похибкою не більше 10%;
- температура прес-форми (при відсутності обігрівуючої системи у прес-форми) приладом класу 0.5;
- тривалість циклу пресування та його основні стадії.

Прес-форма повинна відповідати таким вимогам:

- завантажувальна камера повинна мати розміри, що дозволяють завантажувати матеріал в один прийом; тиск пресування повинен бути направлений перпендикулярно широкій площині зразка, якщо в нормативно-технічній документації відсутні інші рекомендації;

- різниця між температурами будь-яких точок поверхонь прес-форми, що утворюють форму зразка, не повинна перевищувати  $\pm 3^{\circ}\text{K}$  від температури, що задана;

- тип обігрівача - електричний, рідинний або з застосуванням пару високого тиску; в обох половинах прес-форми на відстані 2-3 мм поверхні, що

утворює форму зразка, повинні бути передбачені отвори для приладів контролю температури;

– поверхні матриці та пуансона, що утворюють форму зразка повинні бути відполіровані, мати шорсткість **Ra** 0.160 мкм та жорстко хромовані з товщиною шару хрому не менше 0.02 мм;

– поверхня порожнини матриці, що утворює форму зразка, повинна мати маркування, що видавлюється на зразку та вказує бік, до якого прилягає матриця; маркування не повинне впливати на результати випробувань;

– для полегшення видалення готових зразків з прес-форми допускається конусність стінок форми, що не перевищує  $2^{\circ}$ ; допускається використання шпильок, виштовхують зразок, якщо це не ушкоджує робочу поверхню зразка.

Зразки слід виготовляти з матеріалу у вихідному стані. Умови кондиціонування матеріалу перед пресуванням повинні бути вказані в нормативно-технічній документації на матеріал.

В завантажувальну камеру прес-форми, яка прогріта до температури пресування, завантажують однакову за масою або за об'ємом кількість матеріалу в кожному циклі, що забезпечує одержання на зразках допусків, що передбачені в нормативно-технічній документації на матеріал.

Тиск пресування забезпечують манометром, клас точності якого повинен бути не нижче 1. У процесі пресування зразків температуру прес-форм вимірюють та регулюють за допомогою термодатчиків. Час між закінченням заповнювання прес-форми матеріалу та початком підвищення тиску не повинен перевищувати 20 с, якщо в нормативно-технічній документації на матеріал не вказаний інший час.

Час між розкриттям прес-форми та вийманням зразка на повинне перевищувати 30 с. Для полегшення виймання зразків допускається використання мастил, якщо вони не впливають на властивості матеріалів, що пресуються. Зразки, що мають схильність до короблення, після виймання розміщують в



спеціальних пристроях, в яких вони знаходяться під навантаженням до повного охолодження.

У зразках, що відібрані для випробувань, перевіряють правильність форми і рівномірність товщини. Зразки не повинні мати здуттів, тріщин, розшарувань, раковин, сколів, подряпин, ліній холодного стику та інших видимих дефектів.

## 6. Загальний порядок проведення випробувань

Вимоги до загального порядку проведення випробувань, зокрема до температурних режимів, кондиціонування зразків, обробки результатів та протоколу випробувань, встановлені стандартом [6].

### 6.1. Кондиціонування зразків перед випробуваннями

Перед випробуванням зразки кондиціонують при стандартній лабораторній атмосфері, що визначається згідно стандарти [13].

*Кондиціонування* – це витримка об'єктів випробування умовах приміщення лабораторії для ліквідації різниці в температурі і вологості зразка і навколишнього середовища.

Застосовують одну зі стандартних видів атмосфери, характеристики яких зазначені в табл.5:

**Табл. 5. Характеристики умов кондиціонування зразків перед випробуваннями**

Позначення атмосфери	Температура, °C	Відносна вологість повітря, %
23 / 50 (помірний клімат)	$23 \pm 2^{\circ}\text{C}$	$50 \pm 5\%$
27 / 65 (тропічний клімат)	$27 \pm 2^{\circ}\text{C}$	$65 \pm 5\%$

Якщо характеристики матеріалу не залежать від вологості (повинно бути відомо заздалегідь), то кондиціонують при  $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$  (помірний клімат) або при  $27 \pm 2^{\circ}\text{C}$  (тропічний клімат) без регламентації вологості.

Час кондиціонування:

$23^{\circ}\text{C}$  при 50% або  $23^{\circ}\text{C}$  при 65% відносної вологості - не менше 4-х діб,

$23^{\circ}\text{C}$  і  $27^{\circ}\text{C}$  без регламентації вологості не менше 4-х годин.

**Вибір, забезпечення та позначення умов кондиціонування і випробування.** Вибір умов кондиціонування і випробування передбачають в стандартах на пластмаси. Якщо такі вказівки відсутні, то зразки витримують при  $23\pm 2^{\circ}\text{C}$  і відносній вологості  $50\pm 5\%$  впродовж  $91\pm 3$  ч., якщо в нормативно-технічній документації на матеріал не вказано інший час.

Вимірювання температури і відносної вологості виконують якомога ближче до зразка.

Випробування при температурах, що відмінні від стандартних лабораторних температур, передбачених [13], проводять за **табл.6**, обираючи температуру і допуск на її зміну.

**Табл. 6. Температурні режими випробувань**

Рекомендовані температури випробування $^{\circ}\text{C}$							Допустимий перепад температури, $^{\circ}\text{C}$
			+35				$\pm 1$
-65	-55	-40	-25	+50	+60	+70	$\pm 2$
+80	+90	+105	+120	+130	+150	+180	$\pm 3$
	+200	+225	+250	+275	+300		$\pm 4$
+325							$\pm 5$
		+350					$\pm 6$
			+400				$\pm 8$
				+450			$\pm 10$
					+500		$\pm 12$
						+600	

Для позначення умов кондиціонування зразків до випробувань даються такі позначення:

число, що визначає тривалість кондиціонування в годинах;

число, що визначає температуру кондиціонування в градусах Цельсія;

число, що визначає відносну вологість в тих випадках, коли вона регламентується, або слово, що визначає занурення в рідину.

Для вказівки умов випробування зразків даються наступні позначення: прописна буква T, що показує, що запис відноситься к умовах випробування. Ця буква T ставиться безпосередньо після позначення умови кондиціонування і відділяється від нього двокрапкою;

число, що позначає температуру випробування в градусах Цельсія, число, що позначає відносну вологість повітря при випробуванні в тих випадках, коли остання контролюється.

Числа відділяються одне від одного нахиленими лініями, а від букви T – знаком тире. Якщо немає інших вказівок, то допуски на температуру і відносну вологість повинні відповідати допускам, наведеним в стандартах [6, 13].

**Приклад 1.** Умова 24/180: T–180. Кондиціонування впродовж 24 г. при 180°C; випробування при 180°C.

**Приклад 2.** Умова 96/35/90: T–35–90. Кондиціонування впродовж 96 г. при 35°C і 90% відносної вологості; випробування при 35°C і 90% відносної вологості.

## 6.2. Підготовчі роботи

**Вимірювання геометричних характеристик зразків.** Перед випробуванням, після кондиціонування, зразки вимірюють в робочій частині з точністю, передбаченою в стандартах на методи випробування. При визначенні міцносних показників, що характеризують руйнування зразків, за результат вимірювання беруть мінімальне значення площі поперечного перерізу. При визначенні деформаційних показників – середнє арифметичне трьох вимірів поперечного перерізу. Після перевірки розмірів зразки помічають, наносять на них позначки розмірів бази (при необхідності вимірювання деформації) і позначки, що визначають положення захватів випробувальної машини. При нанесенні позначок властивості зразків не повинні змінюватися.

**Вибір режимів випробування.** Вимірювальну шкалу приладу обирають таким чином, щоб забезпечити точність вимірювання, передбачену стандартом на метод випробування, враховуючи похибку приладу в різних частинах шкали, що вказана в технічній документації на прилад.

Режим випробування, що характеризується швидкістю деформування або навантаження, обирають з урахуванням розмірів зразка згідно вимог стандартів і технічних умов на методи випробувань. При виборі режиму випробування враховують значний вплив часу дії навантаження на механічні характеристики пластмас.

Випробувальну машину або прибор для встановлення режиму випробувань настроюють з урахуванням їх податливості так, щоб забезпечити виконання вимог стандартів на методи конкретний випробувань.

Зразки в захватах встановлюють так, щоб виключити рух зразка відносно захвату в місці кріплення при випробуванні, не викликати його руйнування в місці закріплення і забезпечити напрям дії сили, передбачений в стандарті на методи випробувань.

### **6.3. Обробка та реєстрація результатів випробувань**

При числовому вираженні результатів випробувань визначають середнє значення визначеного показника та, якщо це передбачено у стандартах на пластмасу або на метод випробувань, показники статистичної обробки, яка регламентована стандартами [6, 14]

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

$$X_1, X_2, X_3, \dots, X_i, \dots, X_N,$$

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

Визначаються такі статистичні характеристики:

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

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{N}.$$

**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:

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

**4. Стандартне відхилення середнього значення** визначається 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  $\Delta X$  – ймовірне відхилення показника  $X$  від отриманого середнього значення  $\bar{X}$ ,

$$\Delta X \text{ вираховують за формулою } \Delta X = \frac{t \cdot S}{\sqrt{N}} = t \cdot \bar{S} = Q \cdot S,$$

$$\text{де } Q = \frac{t}{\sqrt{N}};$$

$t$  - критерій точності за **табл.7** (визначають виходячи з заданої точності і кількості експериментів  $N$ ).

$$\mathbf{6. \text{ Коефіцієнт варіації}} \quad V = \frac{\bar{S}}{\bar{X}} \cdot 100\% .$$

$$\mathbf{7. \text{ Відносна помилка}} \quad \varepsilon = \frac{\Delta X}{\bar{X}} \cdot 100\%$$

Якщо випробуванню підлягали зразки, що виготовлялися з виробів або напівфабрикатів, при розрахунку середнього значення та статистичних характеристик використовують без винятку всі отримані результати. В тих випадках, коли випробування проводять на зразках, виготовлених не з готових виробів чи напівфабрикатів, при розрахунку використовують або усі дані, або визначають можливість відкидання сумнівних результатів згідно стандарту [6].

Запис результатів випробувань повинен забезпечувати повноту опису зразка, умов вимірювання, методу вимірювання, методу розрахунку результатів та отриманої похибки.

Повнота опису забезпечується включенням в протокол таких даних:

за випробуванням зразком – найменування, марки пластмаси і номеру стандарту або технічних умов на пластмасу;

за умовами вимірювання – записом умов кондиціонування і умов випробування 4;

**Табл. 7. Значення критерію t розподілення нормованих відхилень в малій вибірці для трьох величин ймовірності  $\alpha$  і Q (при двосторонній довірчій ймовірності)**

Кількість зразків N	Q для $\alpha = 0,95$	t для величин ймовірності $\alpha$		
		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
7	0,925	1,943	2,477	3,707
8	0,836	1,895	2,365	3,499
9	0,769	1,859	2,306	3,355
10	0,715	1,833	2,262	3,250
11	0,672	1,812	2,228	3,169
13	0,604	1,782	2,179	3,054
15	0,554	1,761	2,145	2,977
17	0,514	1,746	2,120	2,921
19	0,482	1,734	2,101	2,878
21	0,455	1,725	2,086	2,845
23	0,432	1,717	2,074	2,819
25	0,413	1,711	2,064	2,797
27	0,396	1,706	2,056	2,779
29	0,380	1,701	2,048	2,763
31	0,367	1,697	2,042	2,750
33	0,354	1,694	2,037	2,738
35	0,344	1,691	2,032	2,728
37	0,333	1,688	2,028	2,719
39	0,324	1,686	2,024	2,712
41	0,316	1,684	2,021	2,704
43	0,308	1,682	2,018	2,698
45	0,300	1,680	2,015	2,692
47	0,294	1,679	2,013	2,687
49	0,287	1,677	2,011	2,682
51	0,281	1,676	2,009	2,678
56	0,268	1,673	2,004	2,668
61	0,256	1,671	2,000	2,660

за методом вимірювання – вказівкою стандарту на метод випробування або пластмасу, марки прибору і число випробуваних зразків;



за визначенням похибок – вказівкою середнього значення показника, що визначається, окремих значень показника кожного зразка або величини окремих значень стандартного відхилення середнього значення, коефіцієнта варіації і відносної похибки, а також методу їх розрахунку зі посилкою на використаний стандарт, якщо їх визначення передбачено стандартом на методи випробувань або на пластмасу.

## **7. Особливості випробувань технічних гум**

Форма і розмір зразків для механічних випробувань гум (**рис. 6**) встановлені у стандартах [14, 15] і технічних умовах на гуми. Зразки для проведення механічних випробувань виготовляють способами, що застосовують в технології гумового виробництва, а також шляхом вирубки або вирізки з гум та виробів.



**Рис. 6. Гумова пластина та зразки, виготовлені за стандартом [17], для випробувань на розтяг**

Для оцінки якості виробів зразки виготовлюють безпосередньо з виробів. Якщо форма або розміри виробів не дозволяють виготовити з них зразки, випробування проводять на зразках, виготовлених вулканізацією безпосередньо тієї ж гумової суміші, з якої виготовлений виріб. Умови вулканізації зразків та виробів в цьому випадку рекомендується встановлювати ідентичними.

Товщину зразків (мм) вибирають з такого ряду:  $0.50\pm 0.05$ ;  $1.0\pm 0.2$ ;  $2.0\pm 0.2$ ;  $4.0\pm 0.2$ ;  $6.0\pm 0.3$ ;  $6.3\pm 0.3$ ;  $10.0\pm 0.5$ ;  $12.5\pm 0.5$ .

Вирубку зразків проводять шанцевим ножом, форма і розміри якого зазначені в стандарті [14].

Поверхня зразків не повинна мати надривів, подряпин [14, 15], здуттів, шорсткості, пор, пошкоджень та інших дефектів, що видні неозброєним оком.

Кількість зразків для випробувань, а також їх форма та розміри встановлено в нормативно-технічній документації на гуми, гумові вироби та методи їх випробувань.

Зразки, виготовлені з гум, піддають випробуванням не раніше ніж через 16 годин та не пізніше 28 діб (вироби або виготовлені з них зразки – не пізніше 3 міс.) після вулканізації. Кондиціонування зразків проводять при температурі  $(23\pm 2)^{\circ}\text{C}$  не менше 16 годин. При цьому зразки повинні бути захищені від прямих сонячних променів. При необхідності відносну вологість повітря протягом періоду кондиціонування підтримують на рівні  $(50\pm 5)\%$ .

Зразки перед випробуваннями нумерують. Місце та спосіб нанесення маркування вибирають так, щоб не викликати зміну властивостей зразків.

Випробування зразків гум проводять при температурі  $(23\pm 2)^{\circ}\text{C}$  та відносної вологості повітря  $(50\pm 5)\%$ . При випробуваннях в умовах підвищених або знижених температур останню вибирають з такого ряду:  $-70$ ,  $-60$ ,  $-55$ ,  $-50$ ,  $-40$ ,  $-25$ ,  $-10$ ,  $0$ ,  $+40$ ,  $+55$ ,  $+70$ ,  $+85$ ,  $+100$ ,  $+125$ ,  $+150$ ,  $+175$ ,  $+200$ ,  $+225$ ,  $+250$ ,  $+300$ ,  $+350^{\circ}\text{C}$ .

Безпосередньо перед випробуваннями зразки витримують при температурі випробувань протягом часу, що достатній для того, щоб зразок прийняв температуру оточуючого середовища. Температура випробувань, помилка її підтримки та вимірювання, час витримки при цій температурі перед випробуванням повинно бути зазначені в нормативно-технічній документації на гуми, гумові вироби та методи випробувань.

Обробку результатів випробувань та визначення статистичних характеристик проводять за методикою, що описано в стандарті [16], яка практично не відрізняється від методики, що встановлена в стандарті [8] та описана вище. Зміст протоколу випробувань також практично не відрізняється вище-описаного.

## Література

1. Малкин А.Я., Аскадский А.А., Коврига В.В. Методы измерения механических свойств полимеров.- М.: Химия, 1978. – 207 с.
2. Нарисава И. Прочность полтмерных материалов. - М.: Химия, 1978. – 400 с.
3. Шидловський М.С. Шпак Д.Ю. Практикум з лабораторних робіт з дисципліни "Нові матеріали". Частина 1. "Міцність і деформування полімерних та композиційних матеріалів при короткочасному навантаженні" Для студентів спеціальності "Динаміка та міцність машин" -К.: НТУУ «КПІ», 2009.-37 с.
4. Шидловський М.С., Шпак Д.Ю. Практикум з лабораторних робіт з дисципліни "Нові матеріали". Частина II. "В'язкопружні властивості полімерних та композиційних матеріалів при тривалому навантаженні". Для студентів спеціальності "Динаміка та міцність машин" - К.: НТУУ "КПІ", 2009. - 45 с.
5. Шидловський М.С. Журнал лабораторних робіт з дисципліни "Нові матеріали". Для студентів спеціальності "Динаміка та міцність машин" - К.: НТУУ "КПІ", 2009 р. -53 с.
6. ГОСТ 14359-69. Пластмассы. Методы механических испытаний. Общие требования.
7. ГОСТ 11262-80. Пластмассы. Метод испытания на растяжение.
8. ГОСТ 4651-78. Пластмассы. Метод испытания на сжатие.
9. ГОСТ 4648-71. Пластмассы. Метод испытаний на статический изгиб.
10. ГОСТ 12015-66. Пластмассы. Изготовление образцов из реактопластов. Общие требования.
11. ГОСТ 12019-66. Пластмассы. Изготовление образцов для испытаний из термопластов. Общие требования.
12. ГОСТ 26277-84. Пластмассы. Общие требования к изготовлению образцов способом механической обработки.
13. ГОСТ 12423-66. Пластмассы. Условия кондиционирования и испытания образцов (проб).
14. ГОСТ 269-66. Резина. Общие требования к проведению физико-механических испытаний.
- 15.ГОСТ 270-75. Резина. Метод определения упругопрочностных свойств при растяжении.