

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

**Температурні характеристики
конструкційних пластмас та гум
Частина 4**

Методичні вказівки

до виконання лабораторних робіт з дисципліни
«Нові матеріали» для студентів
спеціальності «Прикладна механіка»
спеціалізацій «Динаміка і міцність машин»
та «Інформаційні системи та технології в авіабудуванні»

Київ, НТУУ «КПІ», 2017 р.

Температурні характеристики конструкційних пластмас та гум. Частина 4
Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Нові матеріали» для студентів спеціальності «Прикладна механіка» спеціалізацій «Динаміка і міцність машин» та «Інформаційні системи та технології в авіабудуванні»
// Шидловський М.С., Бабенко А.Є., Боронко О.О., Трубочев С.І. – К.: НТУУ "КПІ", 2017. – 85 с.

Ухвалено
на засіданні Вченої Ради
ММІ НТУУ "КПІ".
Протокол № 5 від 26.12. 2016 р.

Навчальне електронне видання
Температурні характеристики конструкційних пластмас та гум.
Частина 4
Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни
«Нові матеріали» для студентів спеціальності «Прикладна механіка».
спеціалізацій «Динаміка і міцність машин»
та «Інформаційні системи та технології в авіабудуванні»

Укладачі:

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

Відповідальний редактор

М.І. Бобир

Рецензент

О.Ф.Луговской

Зміст

	<i>Зміст</i>	3
	<i>Вступ</i>	4
1	<u>Вплив температури на механічні властивості полімерів</u>	6
1.1	Процеси, що відбуваються в полімерах при зміні температури	6
1.2	Засоби для випробувань в умовах підвищених та знижених температур	14
1.3	Техніка безпеки при роботі з випробувальним обладнанням	20
1.4	<i>Лабораторна робота № 4.1. Дослідження впливу температури на міцність конструкційних пластмас</i>	21
2	<u>Деформації, що виникають в полімерах під дією температури</u>	24
2.1	Виникнення та розвиток температурних деформацій	24
2.2	Прилади для вимірювання температурних деформацій	31
2.3	Метод визначення коефіцієнта лінійного теплового розширення	37
2.4	Визначення деформацій полімерів при довготривалій дії температури	42
2.5	<i>Лабораторна робота № 4.2. Визначення температурних деформацій конструкційних пластмас</i>	53
3	<u>Визначення робочих діапазонів температур пластмас та гум</u>	57
3.1	Визначення температур розм'якшення за Віка	57
3.2	<i>Лабораторна робота № 4.3. Визначення температури розм'якшення пластмас</i>	63
3.3	Визначення характеристик пластмас та гум при знижених температурах	66
3.4	<i>Лабораторна робота № 4.4. Визначення температури крижкості конструкційних пластмас та гум</i>	81
	Література	83

Вступ

Більшість конструкційних матеріалів працюють в певних температурних діапазонах. Зміна температур в значному ступені впливає на такі важливі механічні характеристики як міцність, повзучість, релаксація напружень, довговічність та інші показники.

Для проведення розрахунків, пов'язаних з напружено-деформованого стану (НДС) виробів з полімерних матеріалів (пластмас, гум, композиційних матеріалів на основі полімерів) необхідно мати величини термомеханічних параметрів, зокрема, коефіцієнти лінійного теплового розширення (КЛТР) та величину усадки при різних температурах.

В полімерних матеріалах при підвищенні температури поряд з процесом теплового розширення відбувається термічна усадка матеріалу, тобто зменшення лінійних розмірів матеріалу в процесі нагріву. Термічна усадка - серйозний недолік пластмас у зв'язку з необхідністю забезпечувати достатньо високу точність розмірів деяких виробів (прилади точної механіки, деталі інформаційної техніки тощо). У зв'язку з цим виникає необхідність дослідження закономірностей процесів усадки, що виникає в полімерах в робочих температурних та часових діапазонах, а також оцінювати ступінь усадки в залежності від різних фізико-механічних характеристик конструкційних пластмас.

При підвищенні температури полімерний матеріал переходить у високоеластичний стан, який характеризується низьким модулем пружності. У цьому стані матеріал не може застосовуватися як конструкційний. Визначення температури розм'якшення (температури скловання) - це умова забезпечення надійної роботи матеріалу в безпечному температурному діапазоні.

Зниження температури експлуатації виробів з полімерних матеріалів може привести до їх крихкості - руйнуванню при малих пружних деформаціях, втрати еластичності. Температура крихкості - це характеристика матеріалу, що об-

межує температурний діапазон експлуатації та визначається виключно експериментальним шляхом.

В даних вказівках розглядаються методи досліджень, показані приклади результатів випробувань та описані лабораторні роботи, що дозволяють вивчати вплив температури на характеристики міцності та пружності, визначати **КЛТР**, вимірювати величини термічної усадки, а також вимірювати температури розм'якшення та крихкості полімерних матеріалів.

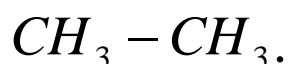
Ці вказівки є складовою методичного забезпечення навчального курсу «Нові матеріали» [7-12] для студентів спеціальності «Динаміка і міцність машин» напрямку підготовки "Прикладна механіка", що викладається на кафедрі динаміки, міцності машин та опору матеріалів НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

1. ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ НА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПОЛІМЕРІВ

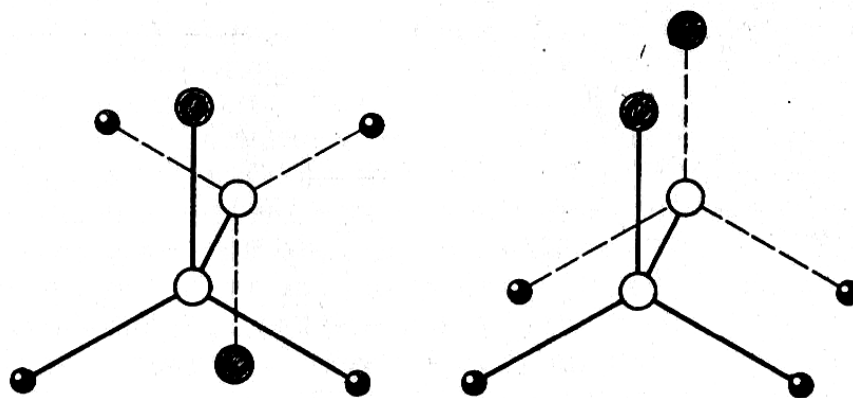
1.1. Процеси, що відбуваються в полімерах при зміні температури

Крім пружних деформацій, під дією навантаження виникають інші види деформацій: високоеластична, в'язка, пластична та ін. види [1-5]. Для з'ясування механізмів виникнення цих видів деформації необхідно ознайомитися зі структурою ПМ.

Макромолекули мають велику довжину. Тому виникає поворотна ізомерія, що виражається в різних конформаціях (конформація - просторове розташування атомів змінюється під дією теплових рухів). Приклад – етан



Навколо зв'язку $C - C$ відбуваються коливання метильних груп з частотою $\nu = 10^{10}$ Гц. При цьому вони займають різні положення.



*Транс – ізомерія
(найбільш вигідне положення)*

*Цис – ізомерія
(найменш вигідне положення)*

Рис. 1.1 – Різні положення атомів Н відносно зв'язку $C - C$ [1]

При переході через цис - ізомерію необхідно витратити енергію, тобто подолати **потенційний бар'єр обертання** (для етилу – 11,5 кДж/моль). Подолати цей бар'єр допомагає наявність флуктуації теплової енергії.

Флуктуація - випадкове відхилення якої-небудь фізичної величини від її середнього значення.

Чим вище потенційний бар'єр обертання, тим більш ускладнене обертання.

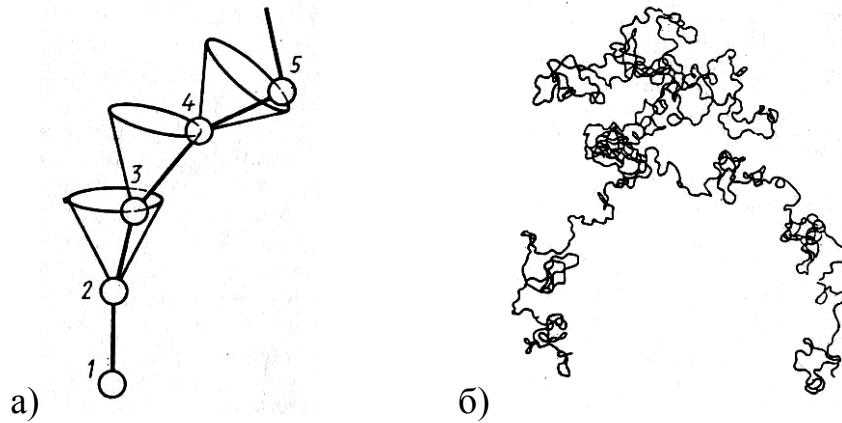


Рис. 1.2 – Просторове розташування ділянки макромолекули при наявності валентного кута між зв'язками С – С (а) та модель молекули поліетилену (б) [1]

Кожен зі зв'язків С - С має валентний кут (кут нахилу одного зв'язку по відношенню до іншого). Зв'язок 2 - 3 розташовується в межах конуса, утвореного валентним кутом. Таким чином, макромолекула розташована в просторі не як стрижень, а як гнучкий ланцюг.

Макромолекула має гнучкість.

Статистично найбільш ймовірні утворення макромолекул у вигляді клубків. Макромолекула займає всього 1 - 3 % загального обсягу клубка.

Особливості теплового руху макромолекул.

Оскільки атоми пов'язані в ланцюг, механічний імпульс, що виникає за рахунок теплових флуктуацій, переміщує не окремі ланки, а угруповання (сегменти).

Сегмент – відрізок ланцюга, переміщується як єдине ціле в елементарному акті теплового руху.

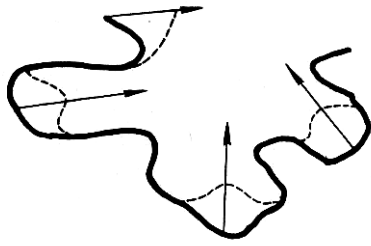


Рис. 1.3 – Переміщення сегментів макромолекули під дією імпульсів теплового руху [1]

Сегмент - поняття умовне, середньостатистичне.

При взаємному переплетенні окремих клубків виникають мікрооб'єми з упорядкованим розташуванням сегментів. Окремі сегменти створюють так звану надмолекулярну структуру з наявністю впорядкованих мікрооб'ємів. Одна і та ж макромолекула проходить кілька упорядкованих мікрооб'ємів.

Асоціація – впорядкований мікрооб'єм, що складається з декількох (5 - 10) сегментів.

Виникає просторова сітка. Вузли цієї сітки виникають в одному місці і розпадаються в іншому.

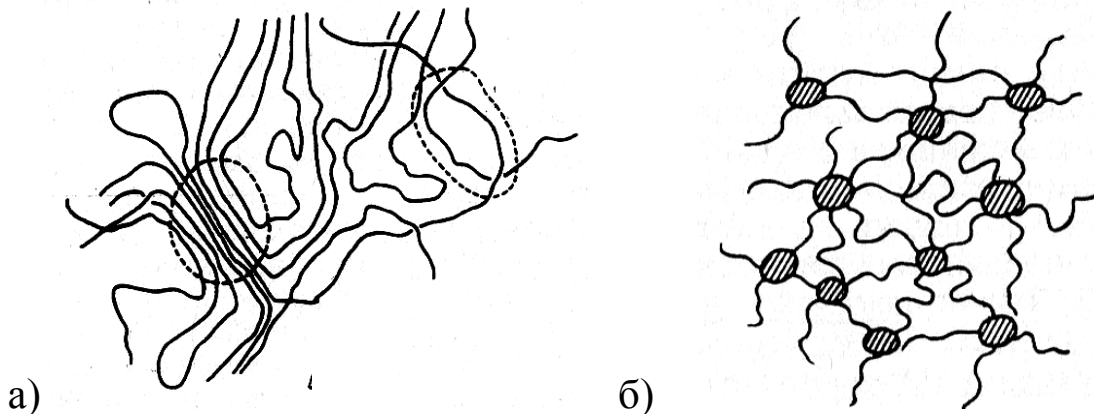


Рис. 1.4 – Схематичне зображення флуктуаційної сітки: асоціат з паралельною укладкою сегментів (а), сітка з прохідними макромолекулами (б) [1]

Флуктуаційна сітка (ФС) - це сукупність асоціацій, сполучених ділянками макромолекул.

Наявність флуктуаційної сітки обумовлює особливість полімерів – в'язко-еластичність (в'язко-пружність) - поєднання двох видів деформацій: пружної і в'язкої.

I) Короткочасна дія навантаження:

клубки витягуються і після зняття навантаження повертаються в початковий стан. Флуктуаційна сітка не розпадається, виникає пружна деформація.

II) Тривала дія навантаження:

відбувається розпад вузлів флуктуаційної сітки і переміщення сегментів (ковзання). Виникає в'язка деформація протягом часу (незворотне).

Зазвичай ці два процеси збігаються і виникає в'язко пружна деформація. При низьких температурах бар'єр обертання неможливо подолати, макромолекула не може згинатися. Полімер веде себе як скло, тобто знаходиться в скло-подібному стані.

Область I (рис.1.5) – сегменти не переміщуються, макромолекули не змінюють форму клубків.

Область II – перехідна, ця область характеризується температурою скловання (T_C). Деформація збільшується і досягає декількох десятків або декількох сотень відсотків.

Область III – розвинений високо-еластичний (ВЕ) стан. Полімер легко деформується і повертається у початковий стан. Сегменти переміщуються, вузли флуктуаційної сітки руйнуються. Утворюються нові вузли флуктуаційної сітки.

Область IV – значне зміщення сегментів. Вони не можуть перейти у початкове положення. Це деформація в'язкої течії.

Нижче $T_{кр}$ - крихкий стан, полімер легко руйнується при ударі.

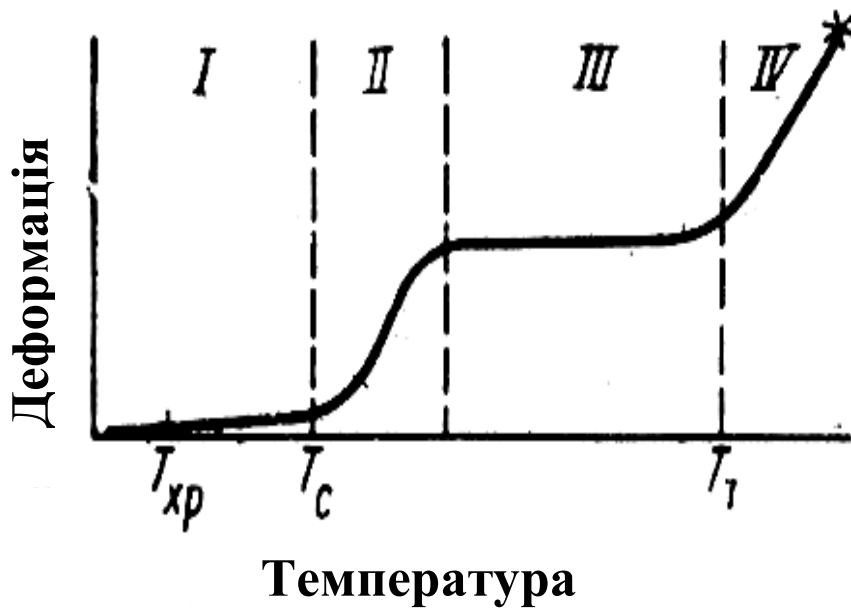


Рис. 1.5 – Термомеханічна крива аморфного полімеру: I – область склоподібного стану; II – перехідна область; III – область високоеластичного стану; IV – область в'язко-текучого стану; $T_{кр}$ – температура крихкості, T_c – температура скловання, T_T – температура текучості; зірочкою відмічена точка початку деструкції

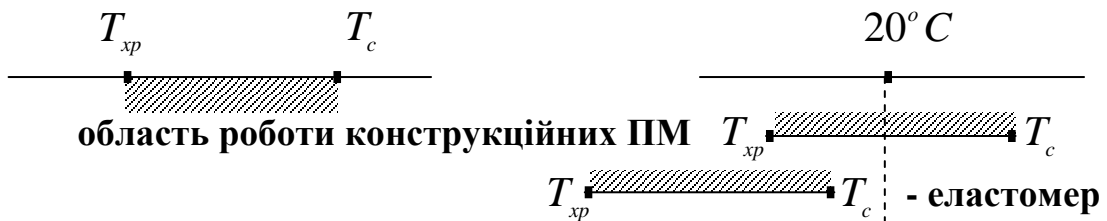


Рис. 1.6 – Температурні області різних станів полімерів

**Якщо $T_c < 20^\circ C$ - полімер називається еластомером.
Якщо $T_c > 20^\circ C$ - це конструкційний полімер.**

Температура скловання - це температура, при якій ПМ переходить з високоеластичного стану в склоподібний.

Процес скловання

У високоеластичному стані ПМ при охолодженні зменшується вільний об'єм (не зайнятий макромолекулами). При цьому температурний коефіцієнт лінійного розширення (ТКЛР) на 1 - 2 порядки вище, ніж для металів. При

зменшенні вільного об'єму приблизно до 2,5% розміри порожнин (дірок) стають малими, і тепловий рух сегментів припиняється.

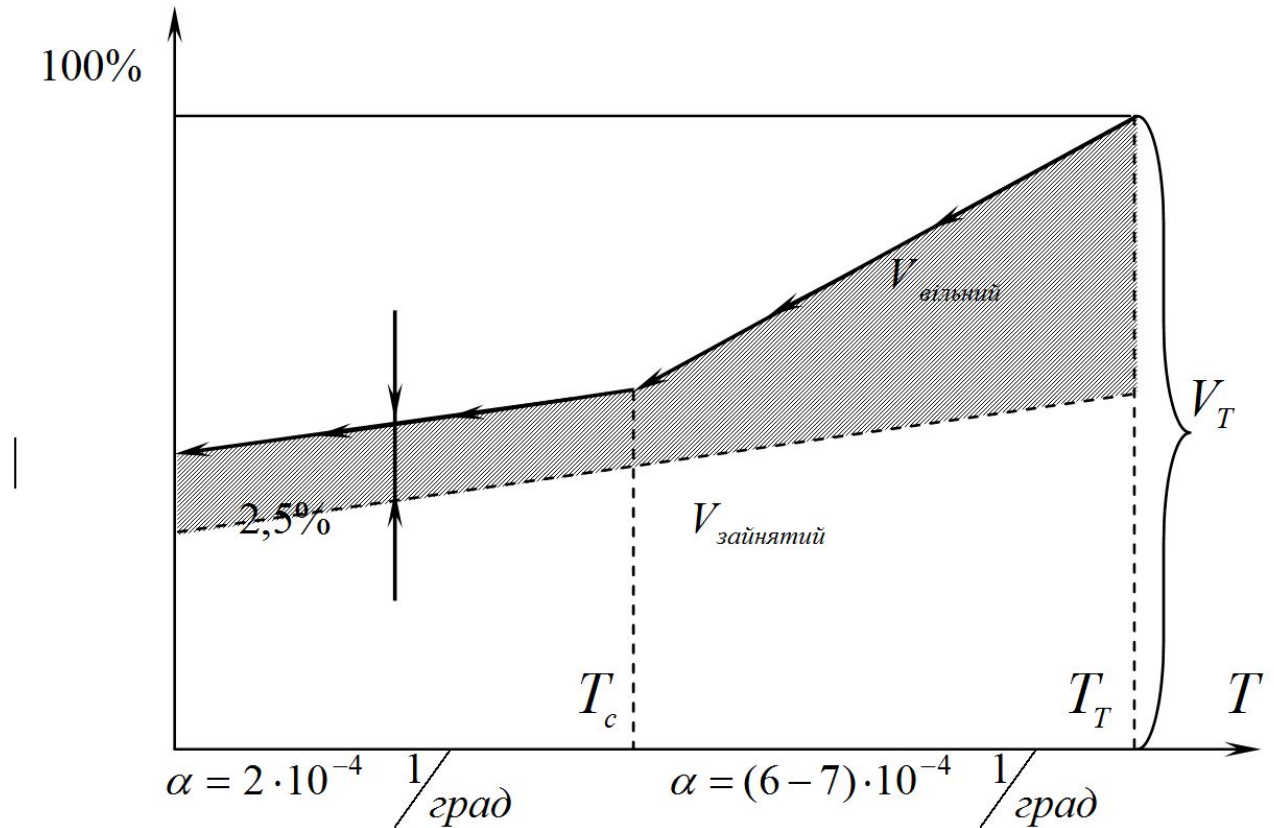


Рис. 1.7 – Зміна вільного об'єму при охолодженні полімеру

Температура скловання (T_c) - це температура, при якій V_v зменшується до 2,5% і полімер стає склоподібним. Нижче T_c вільний об'єм не зменшується. Зменшення лінійних розмірів відбувається лише за рахунок зменшення міжмолекулярних відстаней.

Структурне скловання - це перехід полімеру в склоподібний стан за рахунок зменшення температури.

Перехід в склоподібний стан за рахунок збільшення швидкості навантаження називається **механічним склованням** (при $T > T_c$). Приклад: удар по плиті з поліпропілену ріжучим інструментом.

На температуру скловання впливають:

- а) гідростатичний тиск (збільшує T_C);
- б) молекулярна маса (збільшує T_C);
- в) пластифікатори - речовини, що мають малу летючість, високу температуру кипіння і низьку температуру замерзання (еластомери, каучук). Вони збільшують V_B і знижують T_C .

Механічні властивості ПМ в склоподібному стані

Склоподібні полімери здатні деформуватися до декількох сотень відсотків, але не здатні самовільно відновлювати розміри (рис. 1.8).

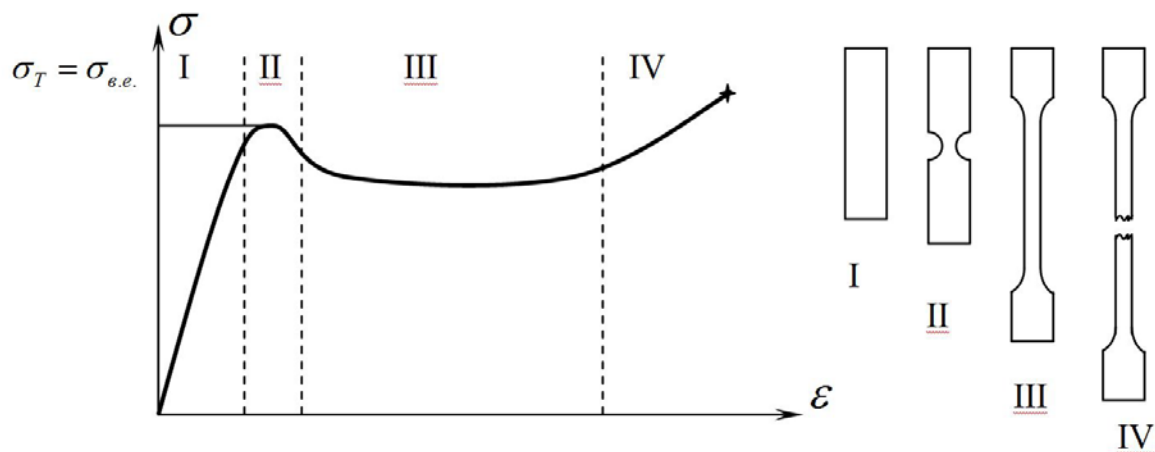


Рис. 1.8 – Діаграма деформування полімеру та її області

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

II – утворення шийки. Мікрodefекти 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.

Вимушена еластичність – здатність склоподібних полімерів до великих деформацій.

IV – незворотне зміщення сегментів аж до руйнування.

Із зростанням температури зменшується межа вимушеної еластичності - за рахунок збільшення температури відбувається збільшення запасу теплової енергії, і потрібна менша зовнішня енергія для розвитку вимушеної пружної деформації. При цьому змінюється характер діаграм деформування (рис. 1.9).

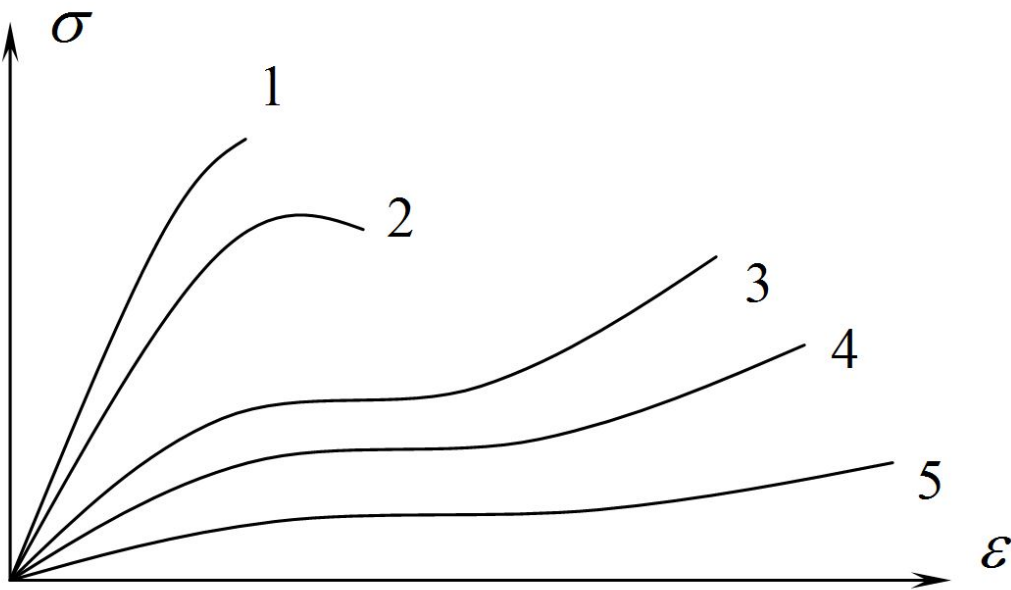


Рис. 1.9 – Діаграми деформування полімеру в різних фізичних станах: крива 1 - $T < T_{KR}$; криві 2, 3, 4 - $T_{KR} < T < T_C$; крива 5 - $T > T_C$.

1.2. Засоби для випробувань в умовах підвищених та знижених температур

В процесі експлуатації вироби з конструкційних ПМ можуть піддаватися певним силовим впливам в широкому температурному діапазоні. Для випробувань цих матеріалів з врахуванням температури створена спеціальні камери (рис. 1.10, 1.12) з термостійких та низько теплопровідних матеріалів. Вони дозволяють проводити випробування на розтяг, стиск та згин [6, 7] в діапазоні температур від мінус 60 до + 100⁰С. Нагрівальна та холодильна камери закріплюються на рухомій траверсі універсальної випробувальної машини TIRA-test 2151 [7, 11].

Камера для випробувань при підвищених температурах (рис. 1.10)

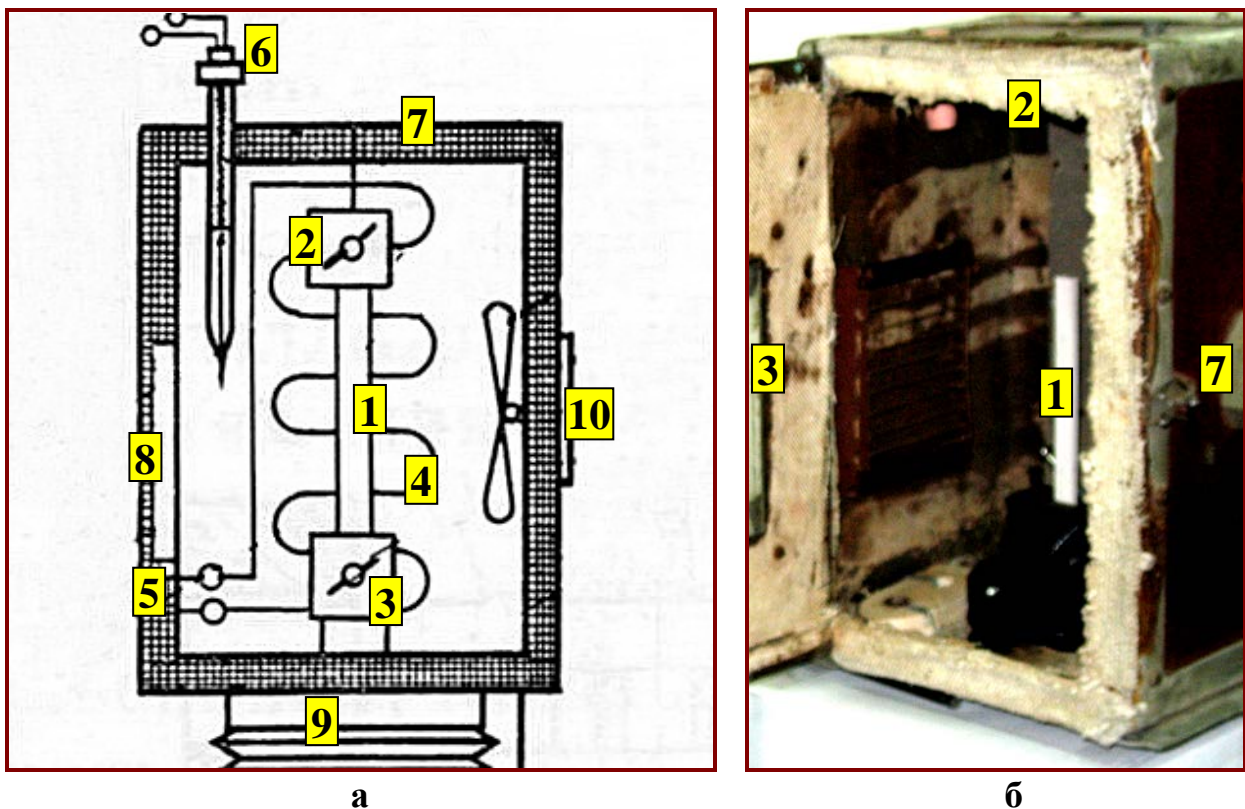


Рис. 1.10. Температурна камера для випробувань пластмас та гум при підвищених температурах: а - схема камери; б - термокамера, що закріплюється на універсальній випробувальній машині TIRA-test 2151; 1 - зразок; 2 - верхній нерухомий затискувач; 3 - нижній рухомий затискувач; 4 - спіраль нагрівача; 5 - джерело електричного напруження; 6 - контактний термометр; 7 - корпус температурної камери; 8 - оглядове вікно; 9 - система кріплення; 10 - вентилятор

Випробувальний зразок (1) закріплюють у верхньому нерухомому (2) та нижньому рухомому (3) затискувачах. конструкція затискувачів детально описані в [11].

Нагрів повітря у камері здійснюється ніхромовою спіраллю нагрівача (4) шляхом подачі змінного напруження з джерела (5).

Необхідний рівень напруження підтримується автоматичною системою із застосуванням контактного термометру (6). При досягненні необхідної температури контакти термометр (6) замикаються та відбувається зниження напруження на джерелі (5). При цьому відбувається повільне зниження температури аж до розмикання контактів та процес повторюється. Таким чином температура повільно змінюється на малу величину навколо номінальної температури в камері.

Затискувачі зі зразком та системою нагрів та контактним термометром знаходяться в корпусі (7), який зафіксований на випробувальній машині системою закріплення (8).

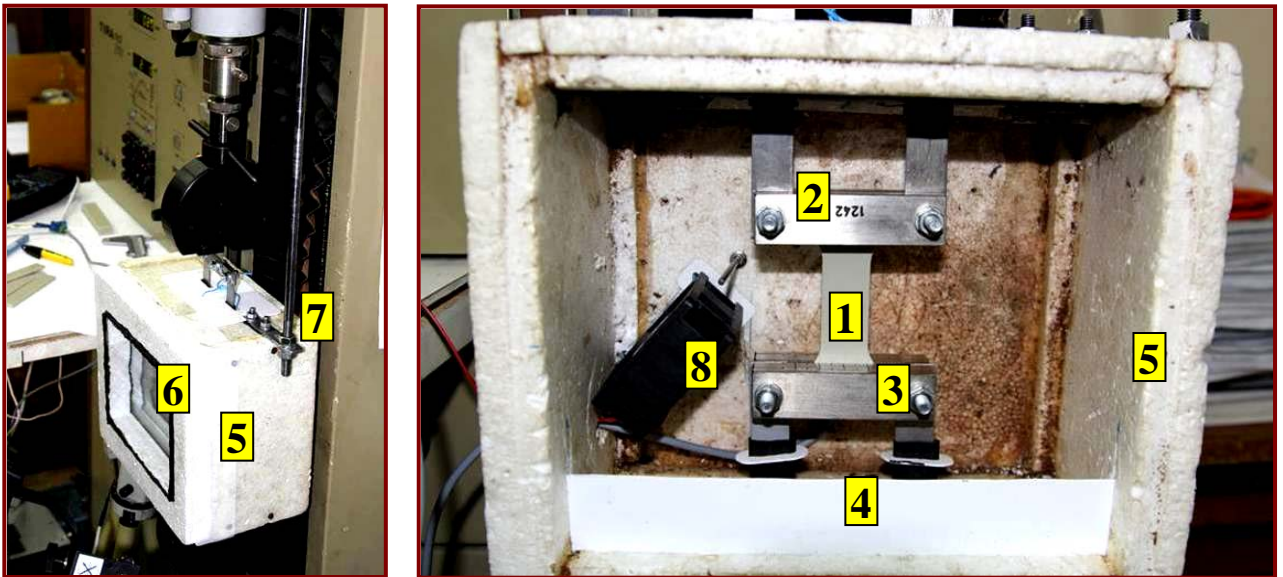
Оглядове вікно (9) призначене для спостерігання за станом зразка при випробуваннях. Вентилятор (10) переміщує повітря в термокамері та запобігає виникненню градієнту температури по об'єму.

Попередніми експериментами з використанням мідь-константових термопар встановлено, що в діапазоні від 23 до 100⁰С відхилення температури від номінального значення не перевищує $\pm 1^{\circ}\text{C}$. Градієнт температур в різних точках термокамери також не перевищує 1⁰С.

Після закріплення зразка у затискачах та встановлення заданого рівня температури необхідно витримати камеру зі зразком протягом 20-30 хвилин для повного прогріву затискачів та самого зразка.

Недолік системи - не можливо випробувати стандартні зразки до їх повного розриву, якщо максимальне відносне видовження матеріалу перевищує 200%. Це пов'язане з обмеженнями камери за висотою. У цих випадках можна використовувати зразки зі зменшеною довжиною.

Камера для випробувань при знижених температурах (рис. 1.11)



а

б

Рис. 1.11. Холодильна камера для випробувань пластмас та гум при знижених температурах: а - камера, закріплена на універсальній випробувальній машині TIRA-test 2151, б - внутрішній вигляд термокамери; 1 - зразок; 2 - верхній нерухомий затискувач; 3 - нижній рухомий затискувач; 4 - піддон для сухого льоду; 5 - корпус температурної камери; 6 - кришка з оглядовим вікном; 7 - система кріплення; 8 - вентилятор

Внутрішня будова камери принципово не відрізняється від описаною вище.

Система регулювання і контролю температури складається з вентилятору (8), піддону для сухого льоду (4), цифрового термометру та блока живлення постійної напруги з можливістю зміни її величини.

Вентилятор типу РМД (рис. 1.12а) виконує функцію не тільки для циркуляції повітря всередині установки та усунення градієнту температури, але він також слугує для випаровування холодоагенту. Збільшення швидкості потоку повітря, що утворює вентилятор, підвищує інтенсивність випаровування холодоагенту та знижує температуру у камері. Вентилятор надійно функціонує в повному діапазоні робочих температур камери від кімнатної до мінус 60⁰С.

Для плавного регулювання швидкості обертання вентилятора застосований блок живлення Б5-45 (рис. 1.12б) з дискретним регулюванням напруги від 0 до 50 В. Крок зміни напруги дорівнює 0.1 В.



а



б



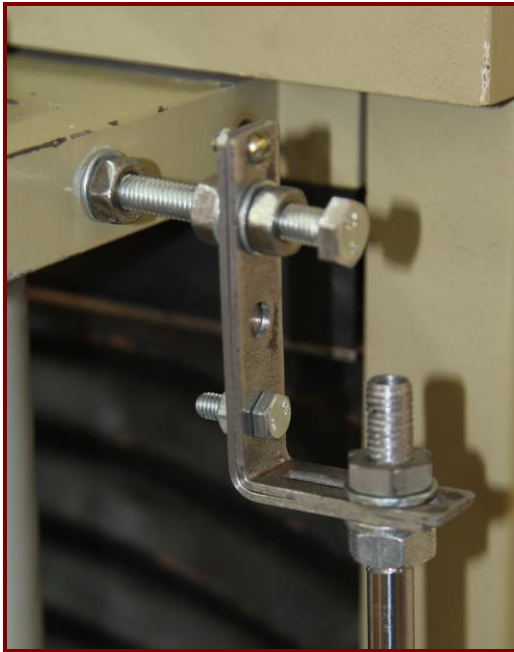
в

Рис. 1.12. Засоби створення зниженої температури в холодильній камері: а - вентилятор постійної напруги; б - джерело живлення постійної напруги Б5-45; в - гранули сухого льоду

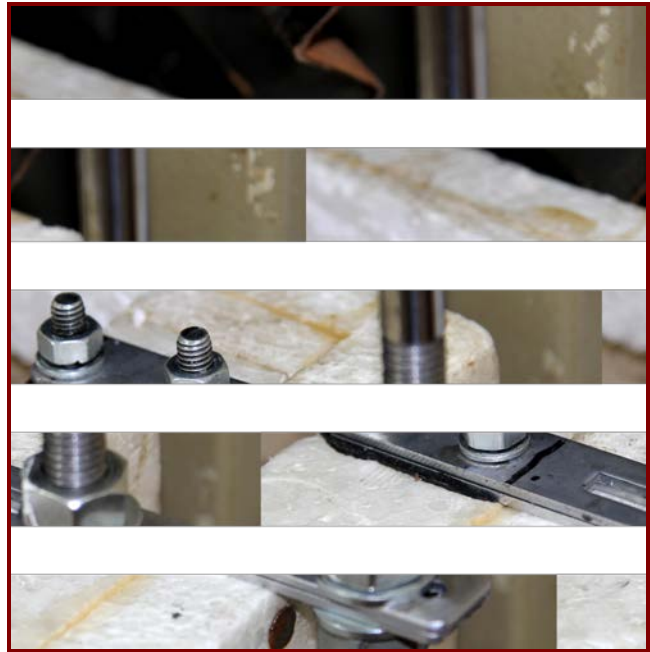
Як холодоагент використовується твердий діоксид вуглецю CO_2 (сухий лід, рис. 1.12в). Це тверда не токсична, вибухобезпечна речовина, яка випаровується при температурі мінус 78.5°C . Для вимірювання температури усередині холодильної камери застосований цифровий термометр з діапазоном температури вимірювання від -200°C до $+500^\circ\text{C}$. Стандартна похибка по всій шкалі термометру не перевищує 0.2°C .

Корпус холодильної камери виготовлений з пінопласту високої густини, з товщиною стінок 30 мм. Для можливості спостерігати процеси в середині камери та вести фото і відео реєстрацію процесів деформування та руйнування зразків слугує передня кришка камери з двошаровим оглядовим вікном.

Обидві камери закріплені за допомогою різьбових отворів універсальної випробувальної машини через систему кріплення (рис. 1.13), яка дозволяє регулювати положення камери по горизонталі і вертикалі.



а



б

Рис. 1.13. Системи кріплення та регулювання положення термокамери (а) та холодильної камери (б)

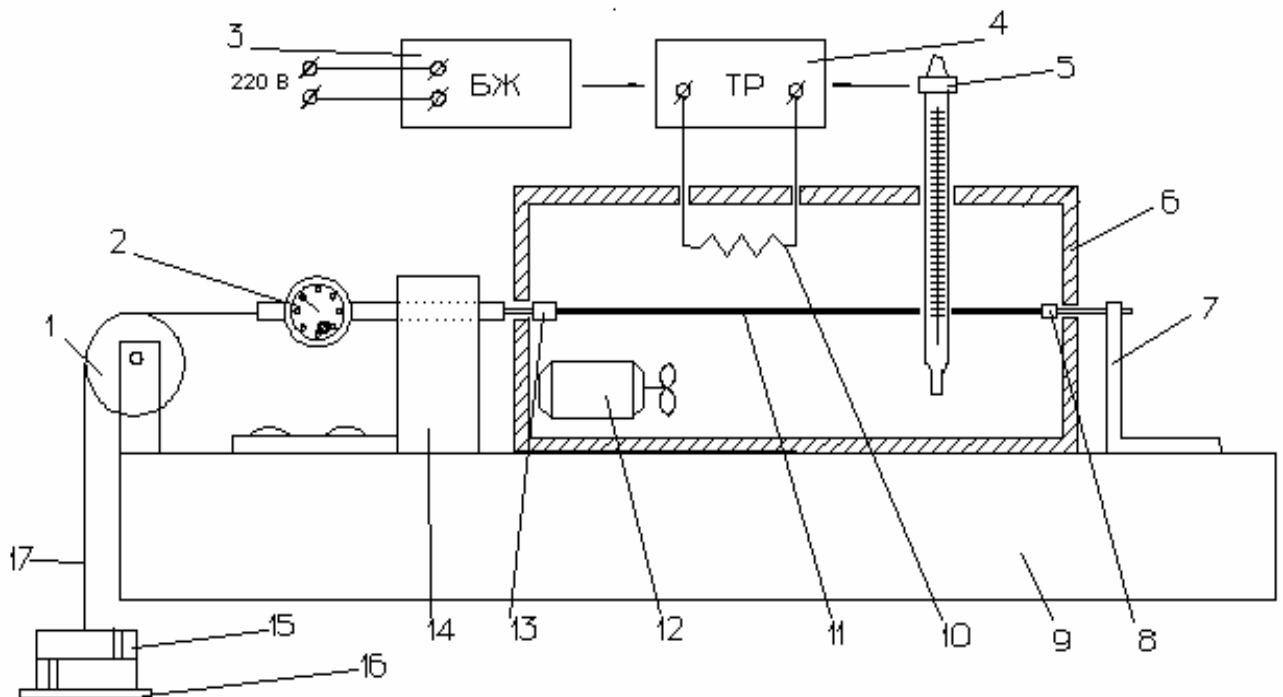


Рис. 1.14. Схема випробувальної установки для вимірювання температурних деформацій плівкових та листових полімерних матеріалів: 1 - шків з опорою; 2 - індикатор годинникового типу; 3 - блок живлення; 4 - терморегулятор; 5 - контактний термометр; 6 - корпус термокамери; 7 - кріплення для нерухомого затискувача; 8 - нерухомий затискувач; 9 - основа; 10 - спіраль нагрівача; 11 - зразок; 12 - вентилятор; 13 - рухомий затискувач; 14 - кріплення індикатора годинникового типу; 15 - вантажі; 16 - піддон для вантажів; 17 - гнучка тяга.

Випробувальна установка для вимірювання температурних деформацій полімерних матеріалів. Випробувальна установка, схема якої наведена на рис. 1.14, складається з п'яти горизонтально розташованих однакових секцій (на схемі показана лише одна), що надає можливості одночасно випробувати п'ять зразків, значно скорочуючи час вимірювань. Кожна секція обладнана системою навантаження та пристроєм для вимірювання видовження зразків. Усі секції розміщені у спільній термокамері, з якою зв'язана система регулювання та автоматичного підтримання заданої температури.

Зразки 11 закріплюються в нерухомих 8 та рухомих 13 затискувачах, які жорстко зв'язані з механічними системами індикаторів годинникового типу 2. Нерухомі затискувачі розташовані на кріпленнях 7, а індикатори - на кріпленнях 14. До ніжок індикаторів приєднані гнучкі тяги 17, через які за допомогою шківів 1 передається зусилля від вантажів 15 та піддонів 16.

Вимірювання видовження зразків здійснюється за допомогою індикаторів годинникового типу 2 з точністю ± 0.005 мм.

Конструкція затискувачів дозволяє надійно закріплювати тонкі зразки товщиною від 0.02 мм, а також регулювати силу притискання. Загальна конструкція установки дає можливість проводити дослідження зразків шириною 10 мм та довжиною 100 мм при робочій температурі до 200°C в умовах рівномірного нагріву по робочій частині зразка.

У термокамері 6 розташовані спіралі нагрівачів 10, контактний ртутний термометр 5 і вентилятор, призначений для перемішування повітря. Ртутним термометром керує низькопотужне реле. Реле зв'язане з електромагнітним перемикачем, який працює в 2-х режимах: режимі нагріву, коли на обмотку спіралі подається підвищена напруга; режимі підігріву, коли на обмотку спіралі подається понижена напруга. Дана система забезпечує точність підтримання температури $\pm 1.0^\circ\text{C}$ впродовж тривалого проміжку часу (до 1 місяця).

1.3. Техніка безпеки при роботі з випробувальним обладнанням

1. При проведенні лабораторних робіт:

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

2. У лабораторії ЗАБОРОНЯЄТЬСЯ:

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

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

4. При роботі з нагрівальними елементами та сухим льодом користуватися захисними рукавичками для запобігання опіків.

1.4. Лабораторна робота № 4.1

Дослідження впливу температури на міцність конструкційних пластмас

Мета роботи:

- одержати криві «навантаження-видовження» конструкційних пластмас у крихкому, склоподібному та високоеластичному станах;
- вивчити характери впливу температур на міцність полімерів з різним ступенем кристалічності.

Прилади та обладнання:

1. випробувальна машина TIRA-test 2151;
2. термокамера;
3. холодильна камера;
4. штангенциркуль з ціною поділки 0.05 мм;
5. мікрометр з ціною поділки 0.01 мм.

Досліджувані матеріали:

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

Зразки (тип та розміри):

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

Методика проведення випробувань:

(див. Метод. вказівки «Обладнання для випробувань конструкційних пластмас та гум при короткочасному навантаженні» [11])

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

3. Провести навантаження зразка до руйнування і записати криву деформування в координатах «навантаження - видовження».

4. Провести розрахунки характеристик міцності, пружності та пластичності кривої деформування і результати випробувань занести до табл. 1, використовуючи не більше чотирьох значущих цифр.

5. Випробування за пп. 1-4 провести при знижених та підвищених температурах. Конкретні значення температур випробування встановлюється викладачем в залежності від марки пластмаси. Перед випробуваннями зразки витримувати у камері при номінальній температурі не менше 15 хв.

За результатами обмірювання зразків та за діаграмами деформування отримують такі дані:

L_0 - початкова розрахункова довжина зразка;

F_0 - площа початкового поперечного перерізу зразка;

P_R - навантаження в момент руйнування зразка;

P_T - розтягуюче навантаження при досягненні границі текучості (границі вимушеної еластичності);

ΔL_R - зміна розрахункової довжини зразка в момент руйнування;

ΔL_T - зміна розрахункової довжини зразка в момент текучості.

Обробка результатів.

Значення напруження (σ) в МПа (Н/мм^2) обчислюють за формулами:

міцність при розриві $\sigma_R = P_R / F_0$;

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

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

відносне видовження при розриві

$$\epsilon_R = (\Delta L_R / L_0) \cdot 100\% ;$$

відносне видовження на границі текучості

$$\epsilon_T = (\Delta L_T / L_0) \cdot 100\% ;$$

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

$$E = \sigma / \epsilon ,$$

де σ – напруження (МПа) в межах лінійної ділянки діаграми;

ϵ – відносна деформація, що відповідає напруженню σ .

Результати обчислень заносять до табл. 4.1.

Табл. 4.1. Характеристики міцності, пружності та пластичності
марка матеріалу _____ **при різних температурах**

$T, ^\circ\text{C}$	$\sigma_R, \text{МПа}$	$\sigma_T, \text{МПа}$	$\epsilon_R, \%$	$\epsilon_T, \%$	$E, \text{МПа}$

Завдання:

- побудувати залежність σ_T , σ_R , ϵ_T , ϵ_R , E від температури та швидкості навантаження;
- пояснити причини зміни характеристик міцності, пружності та пластичності випробуваних матеріалів під впливом температури;
- за отриманими результатами встановити температурні області безпечної експлуатації даного матеріалу.

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

Додаткові дані про випробувані матеріали (з довідників):

Висновки по роботі:

Випробування виконані _____ 201__ р

2. ДЕФОРМАЦІЇ, ЩО ВИНИКАЮТЬ В ПОЛІМЕРАХ ПІД ДІЄЮ ТЕМПЕРАТУРИ

2.1. Виникнення та розвиток температурних деформацій

Як було зазначено, у конструкційних пластмасах при підвищенні температури, поряд з тепловим розширенням, відбувається процес незворотного укорочення (термоусадка).

Відома достатня велика кількість робіт, присвячених вивченню температурних деформацій конструкційних полімерів. Деякі дослідження показали, що усадка в основному пояснюється релаксацією внутрішніх напружень, що утворюються при виготовленні виробів, а також молекулярною дезорієнтацією попередньо орієнтованої структури.

Встановлено, що ступінь термічної усадки поряд із суттєвою залежністю від температури та тривалості теплового впливу, залежить також від модуля пружності, густини, молекулярної ваги та інших характеристик полімеру. Окрім того, режим попередньої термічної обробки матеріалу багато в чому визначає наступний процес усадки.

Загальна деформація $\epsilon_{ЗАГ}$ є алгебраїчною сумою двох величин:

$$\epsilon_{ЗАГ} = \epsilon_{у} + \epsilon_{\alpha} ,$$

де $\epsilon_{у}$ – деформація термоусадки; ϵ_{α} – деформація теплового розширення, що не залежить від часу.

Слід зауважити, що $\epsilon_{у}$ у більшості випадків від'ємна або дорівнює нулю, а ϵ_{α} при збільшенні температури зростає, а при зменшенні - убуває.

При вивченні термомеханічних характеристик полімерних матеріалів, у тому числі конструкційних пластмас, необхідно розділяти загальну деформацію на її складові, оскільки термоусадка і лінійне розширення полімеру представляють собою два процеси, що обумовлені різними причинами.

Зазначені складові досліджували за допомогою установок, що описані в розділі 1.2. Для підвищення точності деформацію зразка вимірюють оптичним катетометром В-630, встановленим поруч з термокамерою, через оглядове вікно

бокової кришки камери, закритої кварцовим склом.

Навантаження зразка в момент вимірювання здійснювали ніжною контрольного індикатора годинникового типу МИГ-1 с зусиллям не більше 0.5 Н. При цьому похибка вимірювання, що виникала за рахунок зміни пружних характеристик зразка при зміні температури від 20 до 100⁰С, не перевищувала 0.009 мм. Деформацію вимірювали з точністю ± 5 мкм при робочій довжині зразка 100 мм. Температуру підтримували з точністю $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$.

Щоб виключити похибки, пов'язані з тривалістю нагріву зразків до заданої температури, коефіцієнт лінійного теплового розширення (КЛТР) α визначали по деформації, що виникає при охолодженні зразка від температур 40, 60, 80 та 100⁰С до кімнатної. Зразок охолоджують спеціальним вентилятором протягом 5 хв. Попередніми експериментами з використанням мідь-константанових термопар показано, що час охолодження зразка від температури 100⁰С до кімнатної не перевищує 3 хв і деформацією термоусадки, що відбувається в зразку за цей час можна знехтувати.

Визначення КЛТР. Цю характеристику вимірюють на кондиціонованих зразках, відпалених при температурі 100⁰С протягом 5 діб, що практично усунуло термічну усадку, яка могла б вплинути на вимірювання. Кількість зразків, випробуваних при кожній температурі, не менше 5. Як приклад, на рис. 2.1 приведені результати вимірювання температурних деформацій зразків поліетилентерефталатних (ПЕТФ) плівок товщиною 26 ... 37 мм.

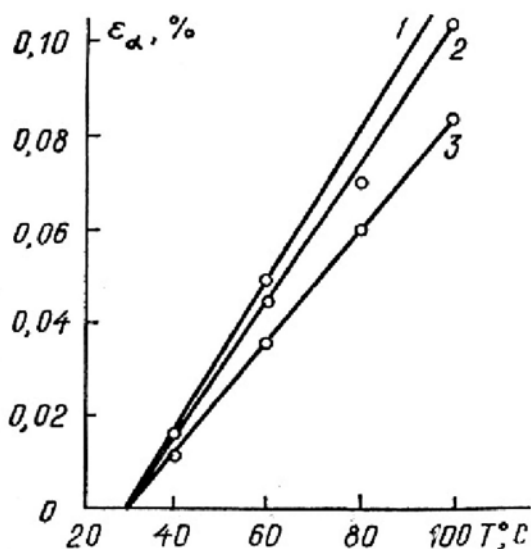


Рис. 2.1 – Температурні деформації зразків ПЕТФ РЕ (лінія 1), ПЕТФ м44 (2) та ПЕТФ м42 (3)

Як видно, залежності зазначених деформацій вивчених матеріалів від температури в діапазоні 20 ... 100⁰С мають практично лінійний характер і КЛТР матеріалу ПЕТФ в зазначеному діапазоні температур практично не залежать від температури, тобто

$$\alpha = \varepsilon_{\alpha} / \Delta T, \quad (2.1)$$

де ε_{α} – відносна деформація при зміні температури зразка на $\Delta T^{\circ}\text{C}$.

Значення КЛТР ряду марок ПЕТФ наведені в табл. 2.1. Відзначимо, що збільшення температурного інтервалу при вимірюванні КЛТР суттєво знижує розкид результатів. Так, якщо при вимірюванні зазначених коефіцієнтів шляхом зниження температури від 40⁰С до кімнатної коефіцієнти варіації становили 12 ... 17%, то при збільшенні верхньої границі температурного інтервалу до 60⁰С коефіцієнти варіації знизилися до 4 ... 9%.

Табл. 2.1. Коефіцієнти лінійного температурного розширення поліетилен-терефталатних плівок

Марка ПЕТФ	Товщина, мкм	$\alpha \cdot 10^5$, град ⁻¹
ПЕТФ РЕ	30	1.40
ПЕТФ м44	37	1.30
ПЕТФ Amrex	28	2.08

Термічна усадка при постійній температурі. Процеси усадки полімерних плівок при підвищених температурах досліджують на установці, що описані в розділі 1.2. Для випробувань використовують зразки довжиною 250 мм. Стрічку у вільному (ненапруженому) стані піддають нагріву і ізотермічній витримці при температурах 60, 80, 100 ° С протягом 8 год і в відповідні інтервали часу вимірюють її деформацію.

Швидкість нагріву термокамери становить 1.5 ... 2.0 град / хв. Деформацію при нагріванні відраховують через кожні 10⁰С, а при ізотермічній витримці через кожні 15 хв. Термічну усадку матеріалів розраховують за формулою:

$$\varepsilon_y = \varepsilon_{ЗАГ} - \alpha \cdot \Delta T, \quad (2.2)$$

При цьому використовують значення **КЛТР**, наведені в табл. 2.1.

Типові криві загальної деформації ПЕТФ при ізотермічній витримці зображені на рис. 2.2а, а деформації її термічної усадки, розраховані за формулою (2.2), тобто з урахуванням поправки на теплове розширення - на рис. 2.2б. Як видно з рис. 2.2а, в початковий момент (перші 20-30 хв) теплове розширення переважає над усадкою ($\epsilon_{\alpha} > |\epsilon_{\gamma}|$) і загальна деформація зразків додатна. В подальший час інтенсивно розвиваються термоусадочні явища ($|\epsilon_{\gamma}| > \epsilon_{\alpha}$) і загальна деформація $\epsilon_{\text{заг}}$ змінює знак. Ступінь термічної усадки суттєво залежить від температури, при якій відбувається процес (рис. 2.2б).

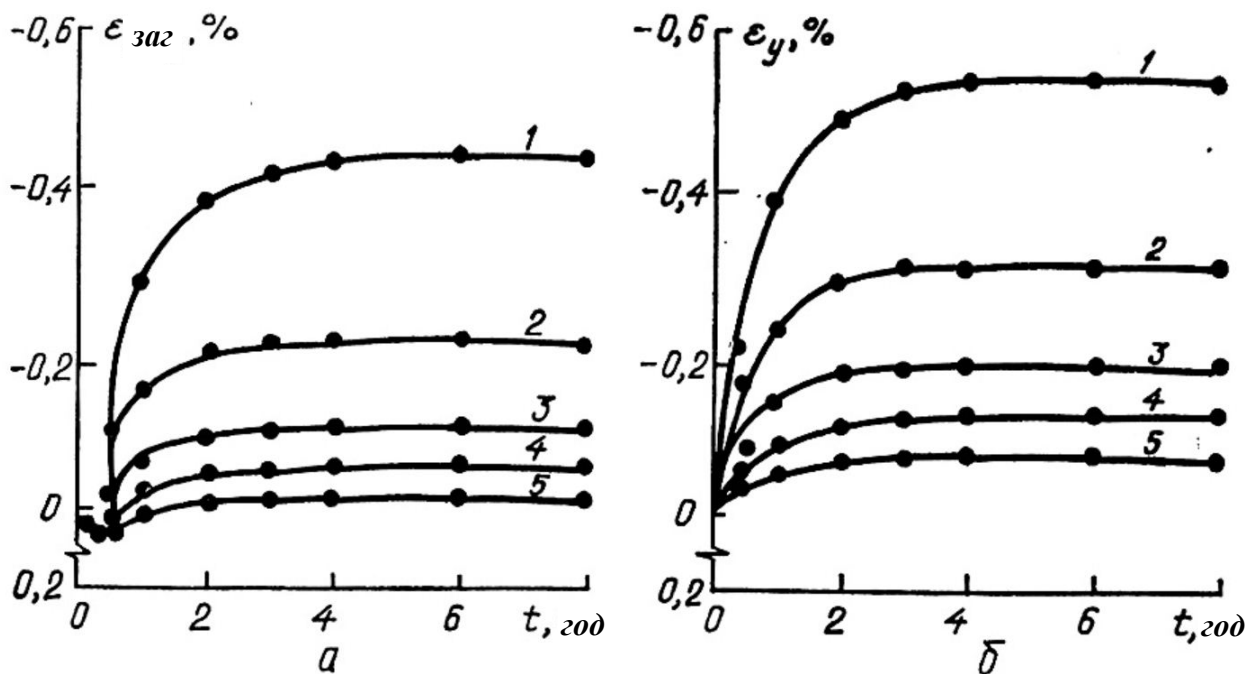


Рис. 2.2 – Залежності загальної деформації (а) і деформації термічної усадки (б) ПЕТФ від часу ізотермічної витримки при температурах 100°C (1), 90 (2), 80 (3), 70 (4) і 60°C (5)

Наведені вище експериментальні криві залежності деформації усадки від часу перебування зразків при постійній температурі показують, що швидкість усадки велика в початковий період процесу і порівняно швидко згасає з часом. Це дає підстави представити залежність швидкості процесу ізотермічної усадки від часу наступним виразом:

$$\frac{d\varepsilon_y(t)}{dt} = B \cdot t^{k-1} \cdot \exp(-\gamma \cdot t^k)]. \quad (2.3)$$

де B , γ та k - постійні.

Інтегруючи (5.2), отримаємо зв'язок між деформацією усадки і часом:

$$\varepsilon_y(t) = -\frac{B}{\gamma k} \cdot \exp(-\gamma \cdot t^k)] + C. \quad (2.4)$$

Константи, що входять в (2.4), визначаємо наступним чином. У початковий момент процесу при $t = 0$ деформація усадки незначна ($\varepsilon_y = 0$) та

$$C = \frac{B}{k \gamma}. \quad (2.5)$$

При досить великому часу витримки ($t \rightarrow \infty$) деформація прагне до свого граничного значення $\varepsilon_{y\infty}$. Враховуючи, що в цьому випадку перший член правої частини (2.4) дорівнює нулю, отримуємо

$$C = \frac{B}{k \gamma} = \varepsilon_{y\infty}. \quad (2.6)$$

Остаточно маємо:

$$\varepsilon_y(t) = \varepsilon_{y\infty} [1 - \exp(-\gamma \cdot t^k)]. \quad (2.7)$$

Отримане рівняння, як показують наведені вище експериментальні дані, задовільно описують процес термічної усадки ПЕТФ плівки. Вхідні в це рівняння константи отримують безпосередньо з експериментальних даних по методу найменших квадратів.

Значення коефіцієнтів рівняння (2.7) для ПЕТФ м44 при різних температурах наведені в табл. 2.2, а значення цих коефіцієнтів для різних марок ПЕТФ, випробуваних при 80°C надані в табл. 2.3.

Криві термічної усадки, побудовані з використанням рівняння (2.7), зображені на рис. 2.2б. Точками відзначені експериментальні результати.

Табл. 2.2. Коефіцієнти рівняння термічної усадки (2.7) ПЕТФ м44 при різних температурах

Коефіцієнти	Температура, °С				
	60	70	80	90	100
$\epsilon_{y\infty} \cdot 10^2$	-0.068	-0.125	-0.180	-0.305	-0.540
k	1.11	1.04	1.00	0.96	0.93
$\gamma \cdot 10^5$	13.20	20.00	42.75	56.45	64.76

Табл. 2.3. Коефіцієнти рівняння термічної усадки (2.7) різних марок ПЕТФ при температурі 80°С

Марка ПЕТФ	Коефіцієнти		
	$\epsilon_{y\infty} \cdot 10^2$	k	$\gamma \cdot 10^5$
ПЕТФ РЕ	-0.230	1.02	31.77
ПЕТФ м44	-0.180	1.00	42.75
ПЕТФ Ampex	-0.210	1.08	12.18

Розрахунки показують, що середньоквадратична похибка апроксимації для досліджених ПЕТФ не перевищує 5.5% в інтервалі часу до 8 год. Максимальна розбіжність експериментальних і теоретичних результатів не перевищує $\pm 12\%$.

Таким чином, наведене рівняння (2.7) може бути використано в інженерних розрахунках для оцінки ізотермічної усадки полімерних матеріалів в експлуатаційному інтервалі температур.

Термічна усадка при циклічних змінах температури. У ряді випадків виробу, виготовлені з конструкційних пластмас, працюють в нестационарних температурних режимах. Одним з найбільш часто зустрічаючих режимів є температурні цикли з постійними періодами часу. Особливість процесів усадки в зазначених умовах: усадка не зупиняється з плином більш тривалого часу, ніж для тих же полімерів в ізотермічних умовах, і має більш складну кінетику.

Усадка в зазначених умовах, так само як і ізотермічну усадку, досліджують на експериментальній установці, описаній в р. 1.2. Досліди проводять на зразках шириною до 10 мм. Для запобігання жолоблення плівки при проведенні експериментів до зразків в подовжньому напрямі прикладали зусилля 0.4 Н.

Кожен цикл зміни температури складався з нагрівання зразка, витримки його при постійній температурі (60, 80 або 100°C) протягом 30 хв і охолодженні до 30°C. Зразки нагрівали і охолоджували з постійною швидкістю зміни температури 1.25°C / хв.

Типовий графік зміни деформації ПЕТФ при циклічній зміні температури зображений на рис. 2.3. Загальна деформація ПЕТФ, як вказувалося, складається з деформації усадки (верхня крива) і деформації температурного розширення, що змінюється синхронно з температурою. Таким чином, процес зміни загальної деформації стрічки при циклічній зміні температури не являється монотонним (крива 1, рис. 2.3). Відзначимо, що загальна деформація на перших чотирьох циклах зміни температури неодноразово змінює знак. Деформацію усадки, як і раніше, розраховували за формулою (2.2).

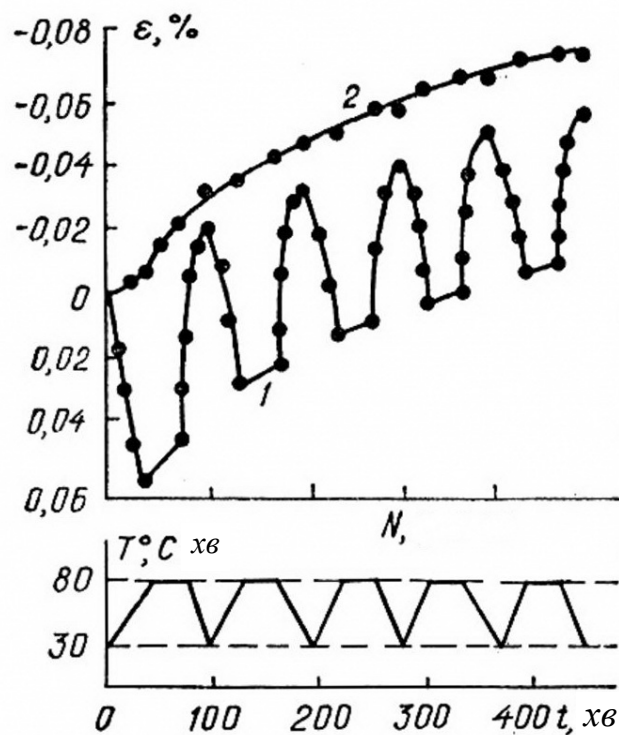


Рис. 2.3. Залежності загальної деформації (1) і деформації термічної усадки ПЕТФ при циклічній зміні температури за програмою, зображеною на нижньому зображенні

2.2. Прилади для вимірювання температурних деформацій

Інструментальні засоби вимірювання розмірів та деформацій зразків.

Загальну деформацію зразків вимірюють індикаторами годинникового типу **ИЧ-10** та **МИГ-1** (рис. 2.4а та 2.4б), штангенциркулями з цифровою індикацією (рис. 2.4в), оптичною системою катетометра **В-630** (рис. 2.4г) та відліковими мікроскопами типу **МПБ-2** (рис. 2.4д).

Точність вимірювань складала:

$\pm 0,001$ мм для індикаторів годинникового типу **МИГ-1**;

$\pm 0,01$ мм для індикаторів годинникового типу **ИЧ-10**, катетометра **В-630** та штангенциркуля з цифровою індикацією;

$\pm 0,05$ мм для мікроскопа **МПБ-2**.

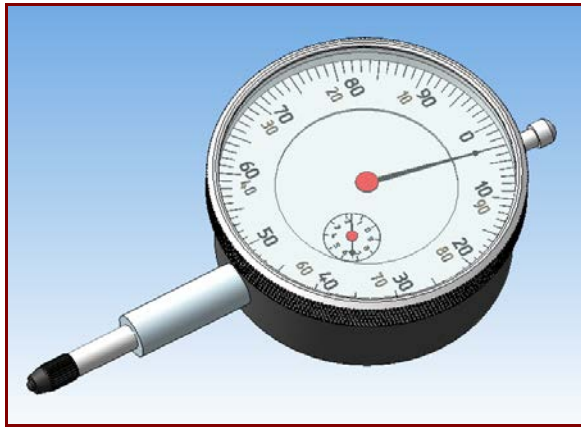
Вимірювання механічними засобами. Індикатори годинникового типу закріплювалися на робочому столі випробувальної машини (рис. 2.4 а, б) таким чином, щоб ніжка індикатору контактувала з поверхнею зразка. При деформуванні об'єкту ніжка індикатору переміщується разом з точкою об'єкту і за шкалою індикатора проводиться відлік переміщення у міліметрах.

Вимірювання загальних деформацій зразка проводимо за допомогою штангенциркуля з цифровою індикацією (рис. 2.4 в).

Вимірювання оптичними засобами. Оскільки робоче положення катетометра **В-630** – вертикальне, його застосовували виключно для вимірювання вертикальних переміщень препаратів при навантаженні.

Для вимірювання горизонтальних переміщень використовували відліковий мікроскоп **МПБ-2**. Цей прилад можна встановлювати за допомогою штатива у будь-яке положення, у тому числі таким чином, щоб вимірювати переміщення точок об'єкту у горизонтальному напрямі.

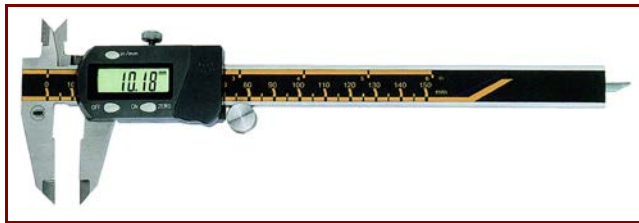
Вимірювання проводяться шляхом безпосереднього відліку показань оптичних приладів за вмонтованими шкалами. У катетометрі **В-630** застосована двомірна шкала Ноніуса, що підвищує точність вимірювання до 0.01 мм.



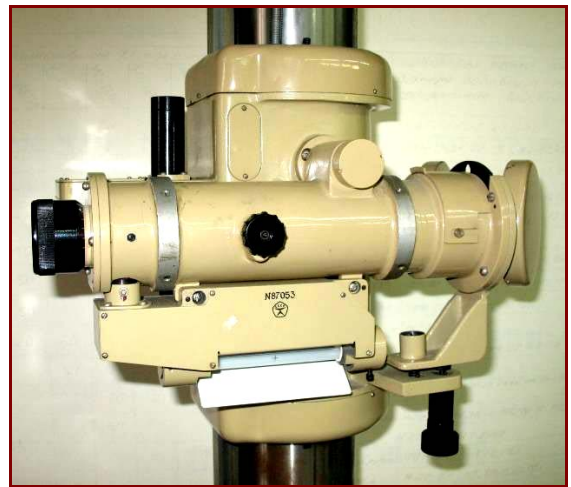
а



б



в



г



д

Рис. 2.4. Обладнання для вимірювання деформацій:
а - індикатор годинникового типу ИЧ-10;
б - індикатор годинникового типу МИГ-1;
в - штангенциркуль з цифровою індикацією;
г - катетометр В-630;
д - відліковий мікроскоп МПБ-2

Оптический катетометр В-630. Катетометр В-630 (рис. 2.5) предназначен для безконтактного измерения вертикальных координат изделий, расположенных в местах, труднодоступных для непосредственного измерения. Катетометр В-630 должен эксплуатироваться при температуре $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$, при относительной влажности воздуха $(65 \pm 5)\%$ та при атмосферном давлении 630 ... 800 мм рт. ст.

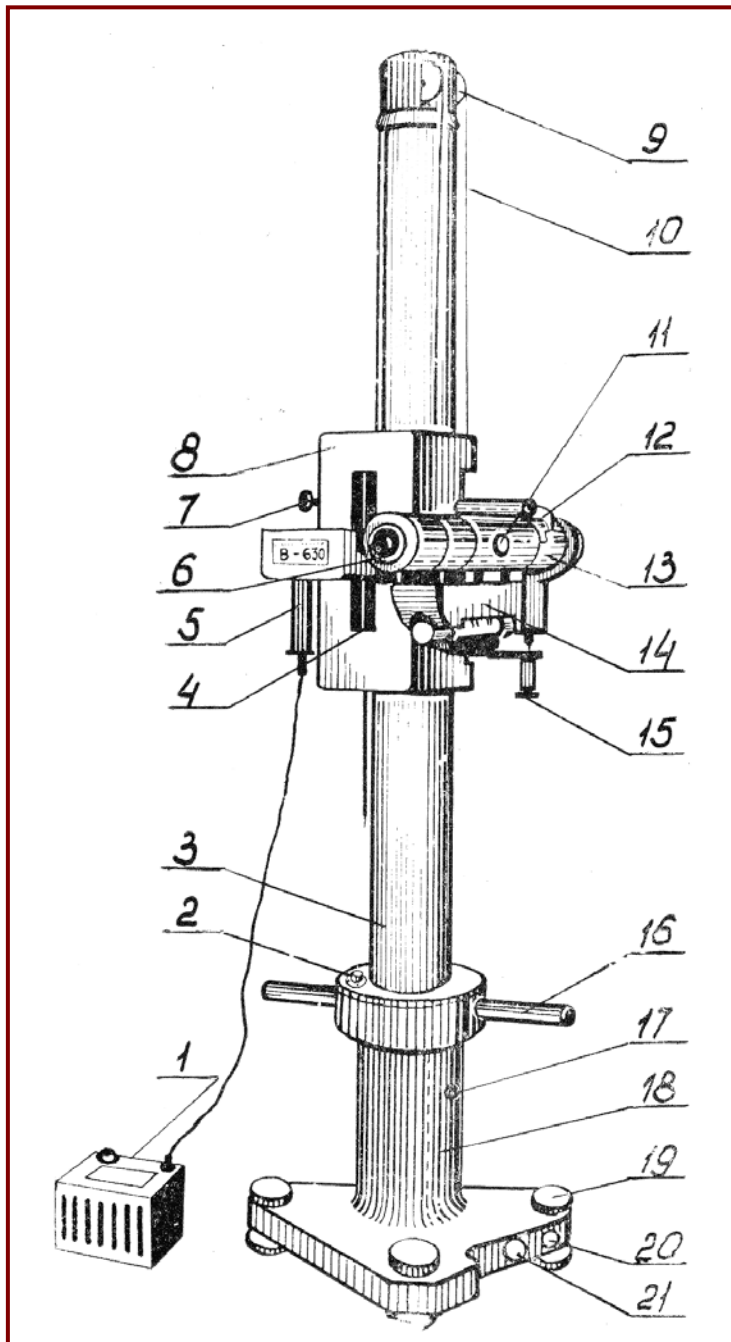


Рис. 2.5. Катетометр В-630:

- 1 - трансформатор,
- 2 - рівень,
- 3 - колонка,
- 4 - гвинт мікрометричний,
- 5 - освітлювач,
- 6 - окуляр,
- 7 - гвинт,
- 8 - каретка,
- 9 - ролик,
- 10 - трос,
- 11 - маховичок,
- 12 - лінза насадочное,
- 13 - труба візирна,
- 14 - рівень,
- 15 - гвинт мікрометричний,
- 16 - рукоятка,
- 17 - гвинт,
- 18 - підстава,
- 19 - регульована опора,
- 20 - гвинт,
- 21 - гвинт.

Технічні характеристики катетометра В-630. Межа виміру по вертикалі від 0 до 630 мм;

Інтервали відстаней від захисного скла до об'єкта при використанні лінзових насадок, від 280 до 480 мм (перша насадка); від 420 до 810 мм (друга насадка) та від 700 до 1810 мм (третья насадка);

Межа мікрометричної подачі каретки по вертикалі не менше 5 мм,

Межа повороту колонки навколо осі від 0 до 360° ;

Межа основної похибки приладу, мкм, не більше $\pm(10+L/100)$, де L - інтервал відстаней від переднього торця об'єктива труби до об'єкта вимірювання в мм;

Напруга живлення катетометра 220 В $\pm 10\%$, 50 Гц $\pm 2\%$;

Габаритні розміри приладу не більше 460 x 460 x 1400 мм;

Маса приладу не більше 72 кг

Порядок роботи з катетометром В-630. Робота з приладом проводиться у такий послідовності:

1. Перевірити заземлення трансформатора.
2. Підключити трансформатор в розетку мережі живлення.
3. Відкрити гвинт і перемістити вимірювальну каретку на рівень обраної точки об'єкта.

4. Встановити окуляр візирної труби на різкість зображень масштабної сітки, шкали і бульбашки рівня. Спостерігаючи в окуляр, вирівняти зображення кінців бульбашки рівня гвинтом. При точній наводці необхідно стежити за тим, щоб кінці бульбашки рівня утворили дугу.

5. Зробити наводку на різкість зображення вимірюваного об'єкта, користуючись маховичком. Потім за допомогою мікрометричного гвинта, при закріпленому гвинті, провести точне наведення візирної труби на обрану точку об'єкта.

6. Сітка візирної труби має перехрестя, лівий горизонтальний штрих якого виконаний у вигляді кутового бісектору. При наводкою візирної труби, вибрана

точка об'єкта повинна розташовуватися точно посередині кутового бісектору на рівні горизонтального штриха.

У полі зору окуляра одночасно видні зображення двох штрихів міліметрової шкали, позначених великими цифрами і масштабна сітка.

Зняти перший відлік по шкалі і масштабної сітці. Індексом для відліку цілих міліметрів служить нульовою бісектор десятих часток міліметра. Відлік десятих часток міліметра позначений цифрою останнього пройденого бісектора десятих часток міліметра. Відлік сотих і тисячних часток міліметра проводиться в горизонтальному напрямку сітки там, де міліметровий штрих шкали розташований точно посередині бісектора.

7. Перемістивши каретку по колонці, навести візирну трубу на другу точку вимірюваного об'єкта і, перевіривши установку труби по циліндричному рівню зняти другий відлік. Різниця між двома вимірами дасть величину вимірюваного відрізка. Для підвищення точності вимірювання виміри повторити кілька разів і визначити їх середнє значення.

Зміна фокусування об'єкту та азимутальний поворот колонки в процесі вимірювання не допускається, оскільки це вносить похибку у вимірювання.

При роботі з приладом слід дотримуватись таких правил:

- вмикати прилад в мережу тільки при наявності надійного заземлення трансформатора;

- будь-які ремонтні роботи проводите тільки при відключенні приладу від мережі.

Догляд за приладом катетометра В-630. Всі частини приладу повинні утримуватися в чистоті. Пил з нефарбованих металевих частин видаляти чистою серветкою, злегка змоченою в бензині, потім протирати їх насухо. Оптичні деталі очищати від пилу чистим пензликом.

При установці і перенесенні приладу не брати його за вимірювальну каретку і оправу циліндричного рівня. Колонку приладу постійно тримати під тонким шаром мастила. Всі поверхні приладу повинні бути ретельно очищені знежирені бензином-розчинником або уайтспіритом. Попадання мастила на поверхню оптичних деталей не допускається.

Мікроскоп відліковий типу МПБ-2 (рис. 2.6) призначений для вимірювання розмірів зразків та їх зміни під впливом температури (усадка).

Технічні характеристики мікроскопа МПБ-2. Ціна поділу шкали 0.05 мм; поле бачення не менше 8.5 мм; збільшення мікроскопа не менше 24 крат $\pm 5\%$; межа допустимої основної похибки $\pm 0,01$ мм; габаритні розміри: висота (в крайньому верхньому положенні) не більше 202 мм; діаметр не більше 50 мм; маса не більше 0.480 кг.

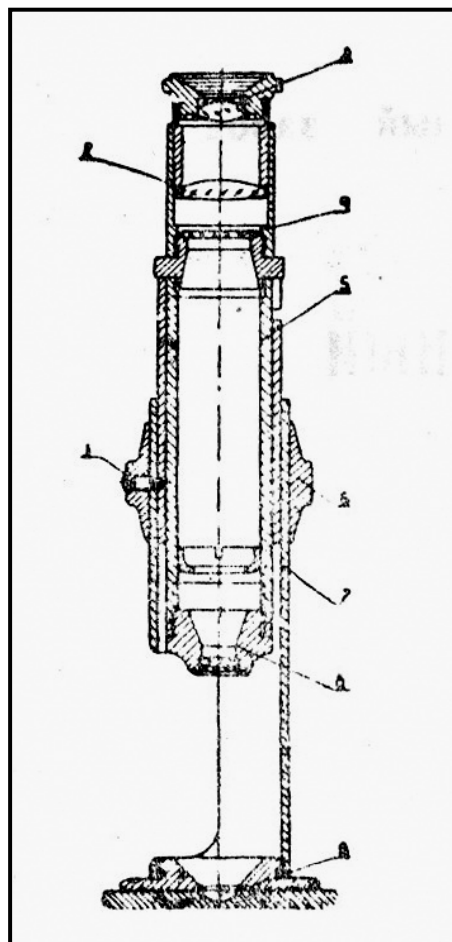
Рис. 2.6. Мікроскоп МПБ-2:

1 - гвинт; 2 - окуляр; 3 - окулярне кільце;
4 - сітка; 5 - тубус; 6 - установче кільце;
7 - колонка; 8 - об'єктив;
9 - вимірюваний об'єкт

Принципи роботи мікроскопа МПБ-2. Мікроскоп складається з колонки, установочного кільця і тубуса в якому закріплені об'єктив і окуляр з сіткою. Принцип роботи мікроскопа заснований на порівнянні зображення зразка до та після температурних впливів зі шкалою сітки.

Порядок роботи мікроскопа МПБ-2. Для вимірювання мікроскоп встановити підставою на випробуваний зразок так, щоб отвори біля основи було по можливості концентричні з вимірюваним зразком, а вікно в колонці знаходилося проти зовнішнього джерела світла.

Спостерігаючи в окуляр і обертаючи окулярне кільце 3, встановити різке зображення шкали сітки. Якщо при цьому зображення зразка не буде різким, то обертанням установочного кільця 6 домагаються отримання різкого зображення зразка в полі зору окуляра.



2.3. Метод визначення коефіцієнта лінійного теплового розширення

Стандарт ГОСТ 15173-70 [24] поширюється на пластмаси і встановлює метод визначення їх середнього коефіцієнта лінійного теплового розширення.

Метод передбачає визначення лінійного теплового розширення, не пов'язаного зі зміною розмірів при нагріві внаслідок зміни змісту вологи, затвердіння, втрати пластифікатора або розчинника, зняття внутрішніх напружень і інших чинників, і тому є наближеним.

Суть методу полягає у випробуванні зразка пластмаси, при якому визначають :

а) середній коефіцієнт лінійного теплового розширення в мінімальному інтервалі температур α_T ;

б) середній коефіцієнт лінійного теплового розширення у встановленому інтервалі температур $\alpha_{T_1}^{T_2}$ (T_1 і T_2 - межі встановленого інтервалу температур).

Середній коефіцієнт лінійного теплового розширення характеризує відносний приріст довжини зразка, викликаний підвищенням його температури від нижньої до верхньої межі інтервалу, віднесений до величини цього інтервалу.

У тих інтервалах температур, де коефіцієнт лінійного теплового розширення змінюється з температурою, величини α_T і $\alpha_{T_1}^{T_2}$, як правило, не збігаються, причому α_T може бути як більше, так і менше $\alpha_{T_1}^{T_2}$. Тому заміна одного коефіцієнта іншим не допускається.

Визначення середнього коефіцієнта лінійного теплового розширення $\alpha_{T_1}^{T_2}$ не проводять

в інтервалі температур $T_2 - T_1 < 10^\circ\text{C}$ для матеріалів, що мають $\alpha_{T_1}^{T_2} < 30 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$; в інтервалі температур $T_2 - T_1 < 60^\circ\text{C}$ для матеріалів, що мають $\alpha_{T_1}^{T_2} < 5 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$. Похибки, що допускаються, зазначені в табл. 2.4.

Вимір видовження проводять з погрішністю не більше 10^{-6} м для будь-яких значень коефіцієнта лінійного теплового розширення. Якщо в процесі нагріву

використовують теплоносій, то він не повинен впливати на результати визначення.

Таблиця 2.4

Допустимі похибки при вимірюванні коефіцієнтів лінійного теплового розширення

Відносна погрішність визначення в інтервалі температур 10 ⁰ С	$\alpha_{T_2}^{T_1}, \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$					
	$\geq 30 \cdot 10^{-6}$		$\geq 70 \cdot 10^{-6}$		$\geq 170 \cdot 10^{-6}$	
	Погрішність вимірювання температури та видовження зразка					
	⁰ С	мкм	⁰ С	мкм	⁰ С	мкм
10	± 0.2	± 1	± 0.2	± 2	± 0.2	± 5
20	± 0.5		± 0.5		± 0.5	

Мінімальний інтервал температур 10⁰С; розширення його роблять на величини, кратні 10⁰С. Вибір інтервалу температур і вимоги до точності виміру температури та видовження при визначенні коефіцієнта лінійного теплового розширення передбачаються в стандартах і технічних умовах на конкретні пластмаси.

Середній коефіцієнт лінійного теплового розширення в мінімальному інтервалі температур α_t визначають в інтервалі температур, рівному 10⁰С, і відносять до середньої температури цього інтервалу.

Середній коефіцієнт лінійного теплового розширення $\alpha_{T_1}^{T_2}$ визначають в інтервалі температур, кратному 10⁰С, і відносять до величини усього інтервалу.

Визначення середніх коефіцієнтів лінійного теплового розширення не роблять при температурі вище за температуру розм'якшення пластмас, що визначають одним зі стандартних методів [19, 23].

Нижня межа встановленого інтервалу температур t_1 або нижнє значення середньої температури мінімального інтервалу передбачається в стандартах і технічних умовах на пластмаси.

У прийнятому інтервалі температур приріст довжини зразка залежно від температури має бути лінійним. При нелінійній залежності визначення проводять в діапазоні температур, в якому виконуються вимоги лінійності.

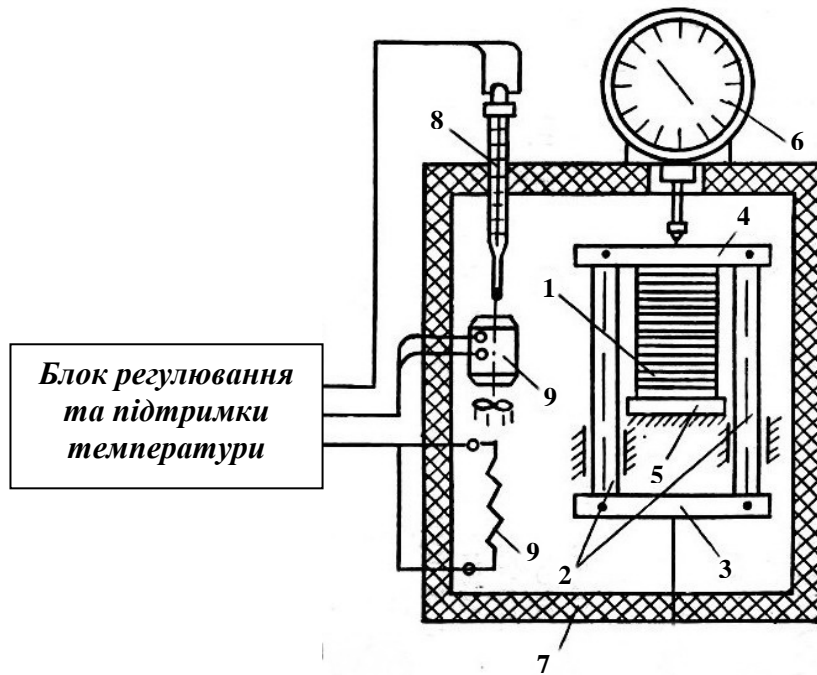


Рис. 2.7. Схема приладу для вимірювання коефіцієнта лінійного теплового розширення: 1 - зразок; 2, 3, 4, 5 - елементи для стабілізації положення зразка; 6 - вимірювач деформації зразка; 7 - термокамера; 8 - контактний термометр; 9 - нагрівач; 10 - вентилятор

Апаратура та устаткування

Середній коефіцієнт лінійного теплового розширення визначають на приладі (рис. 2.7), що має :

а) термокамеру або інші пристрої, що забезпечують нагрів зі швидкістю не більше $1.5^{\circ}\text{C} / \text{хв}$ в стаціонарному або нестаціонарному режимах або термостакування в заданих інтервалах температур і підтримка однакової температури з погрішністю не більше 0.2°C по усій довжині зразка;

б) пристрій, в який поміщають зразок, і стержень, що передає його розширення на індикатор для виміру видовження; стержень має бути виготовлений з матеріалу з найменшим коефіцієнтом лінійного теплового розширення (рекомендується використовувати плавлений кварц) та повинен забезпечувати компенсацію власного теплового розширення;

в) пристрій для виміру приросту довжини зразка при її збільшенні або зменшенні в процесі нагріву шляхом візуального відліку або за допомогою автоматичного запису; пристрій не повинен чинити на зразок тиски більш ніж 29 кПа ;

г) датчик температури, термометр або термопару з індивідуальним градуванням для виміру температури зразка з погрішністю не більше 0.1°C .

При визначенні $\alpha_{T_1}^{T_2}$ в інтервалі температур, рівному або більшому 60°C з максимальною погрішністю не більше 10 %, температуру вимірюють з погрішністю не більше $\pm 1^{\circ}\text{C}$, а видовження з погрішністю:

± 1 мкм - при $\alpha_{T_1}^{T_2}$, рівному або більше $(5 \cdot 10^{-6})^{\circ}\text{C}^{-1}$;

± 5 мкм - при $\alpha_{T_1}^{T_2}$, рівному або більше $(30 \cdot 10^{-6})^{\circ}\text{C}^{-1}$;

± 10 мкм - при $\alpha_{T_1}^{T_2}$, рівному або більше $(70 \cdot 10^{-6})^{\circ}\text{C}^{-1}$.

Вимоги до зразків. Для випробування використовують зразки довжиною не менше 50 мм, круглого, діаметром (10 ± 0.5) мм, або квадратного поперечного перерізу із стороною (7 ± 0.5) мм. При виникненні розбіжностей для випробування застосовують зразки завдовжки 50 мм.

В середині бокової поверхні зразка, перпендикулярно до неї, висвердлюють отвір діаметром 1 мм до осьової лінії зразка. Воно призначене для подальшого введення в зразок датчика температури або термопари при випробуванні в нестационарному режимі.

Довжину зразка вимірюють з погрішністю не більше 0.01 мм при температурі $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ і відносній вологості (50 ± 5) %.

Кількість зразків для випробування від кожної партії матеріалу і для кожної осі анізотропії повинно бути не менше трьох. Спосіб і режим виготовлення зразків і їх термообробка передбачаються в стандартах або технічних умовах на пластмаси.

Проведення випробувань. Перед випробуванням встановлюють температурні межі, в яких вимірюватиметься коефіцієнт лінійного теплового розширення згідно з вимогами стандартів, технічних умов на пластмаси.

Визначення коефіцієнта лінійного теплового розширення проводять в стаціонарному або нестационарному режимах.

При стаціонарному режимі проводять термостатування зразка при температурі виміру до тих пір, поки не закінчиться видовження зразка. Температуру в термокамері доводять при стаціонарному режимі до температури T_1 .

При нестационарному режимі зразок нагрівають до температури на 10°C нижче нижньої температурної границі виміру.

Зразок встановлюють в термокамері і вводять в нього термопару або датчик температури, якщо випробування проводять в нестационарному режимі. У разі випробування тільки в стаціонарному режимі установка термопари в зразку не обов'язкова.

При нестационарному режимі випробування після досягнення в зразку температури не менше чим на 10°C нижче нижньої температурної границі виміру налаштовують вимірювач видовження на початок виміру і розпочинають нагрів зі швидкості не більше $1.5^{\circ}\text{C} / \text{хв}$.

При стаціонарному режимі випробування зразок термостатують при температурі T_1 , потім при температурі T_2 і знову при температурі T_1 .

За початок відліку приймають свідчення покажчика видовження при температурі, рівній нижній температурній границі. Вимір приросту довжини зразка роблять при температурах, що відповідають межах інтервалу.

Обробка результатів. Середній коефіцієнт лінійного теплового розширення (α) в $^{\circ}\text{C}^{-1}$ обчислюють за формулою:

$$\alpha = (l / l_0) \cdot (\Delta l / \Delta T),$$

де: Δl - приріст довжини зразка у границях інтервалу температур, мм;

$\Delta T = T_2 - T_1$ - приріст температури від t_1 до t_2 , $^{\circ}\text{C}$;

T_1, T_2 - нижня і верхня границі інтервалу температур, $^{\circ}\text{C}$;

l_0 - довжина зразка при $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$, мм.

Обчислення α_T або $\alpha_{T_1}^{T_2}$ роблять окремо для кожного зразка і для кожної головної осі анізотропії.

За результат випробування для кожної партії матеріалу і кожної головної осі анізотропії приймають середнє арифметичне значень окремих зразків, з округленням до $(1 \cdot 10^{-6})^{\circ}\text{C}^{-1}$.

2.4. Визначення деформацій полімерів при довготривалій дії температури

Методи вимірювання теплової усадки пластмас

Стандарт ГОСТ 18616-80 [27] поширюється на пластмаси і встановлює метод визначення усадки термопластичних та термореактивних пластмас.

Вимоги до зразків. Для визначення усадки і додаткової усадки термопластів застосовують зразки, форма і розміри яких вказані в табл. 2.5.

При випробуванні термореактивних формувальних мас застосовують зразки типу 1 та 3. За погодженням допускається застосовувати зразки типу 6 та 7.

Табл. 2.5. Форма та розміри зразків для випробувань

Тип зразка	Форма зразка	Розміри, мм		
		Довжина або діаметр	Ширина	Товщина
1	Брусок	120 ± 2	15 ± 0.5	10 ± 0.2
2	— // —	120 ± 2	10 ± 0.2	4 ± 0.2
3	— // —	80 ± 2	10 ± 0.2	4 ± 0.2
4	— // —	50 ± 1	6 ± 0.2	4 ± 0.2
5	Диск	50 ± 1	—	2 ± 0.2
6	— // —	100 ± 1	—	4 ± 0.2
7	— // —	100 ± 1	—	2.8 ± 0.2

Проведення випробувань. Випробування проводять не менше ніж на трьох зразках, отриманих послідовним формуванням в одному і тому ж гнізді прес-форми.

При визначенні усадки встановлюють розміри матриці прес-форми і зразків до і після термообробки.

Зразки вимірюють після витримки їх з моменту виготовлення не менше 16 год і не більше 24 год при $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$, включаючи час на кондиціонування.

Умови термообробки термореактивних формувальних мас повинні бути вказані в нормативно-технічній документації на матеріал. При відсутності

цих вказівок температура термообробки повинна бути для мочевіноформальдегідних формувальних мас $(80 \pm 3)^\circ\text{C}$, для всіх інших видів формувальних мас - $(110 \pm 3)^\circ\text{C}$. Час термообробки - (168 ± 2) год, при прискореному випробуванні - (48 ± 1) год. Час термообробки має бути зазначено в нормативно-технічній документації на конкретний матеріал.

Після закінчення термообробки зразки з термореактивних формувальних мас виймають з термостата, охолоджують до температури $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ і витримують при цій температурі і відносній вологості повітря $(50 \pm 5)\%$ не менше 3 год, після чого знову вимірюють зразки при цій же температурі з похибкою не більше 0,02 мм вищезазначеним способом.

Умови термообробки термoplastів встановлюють в залежності від температурних режимів експлуатації виробів з матеріалів, що випробуються.

Обробка результатів. Усадку (ϵ_y) в процентах обчислюють за формулою:

$$\epsilon_y = [(L_0 - L_1) / L_0] \cdot 100\% ,$$

де L_0 - розмір прес-форми, мм; L_1 - розмір зразка, мм.

Додаткову усадку (ϵ_y^*) у відсотках обчислюють за формулою

$$\epsilon_y^* = [(l_1 - l_2) / l_1] \cdot 100\% ,$$

де l_1 - розмір зразка перед термообробкою, мм; l_2 - розмір зразка після термообробки, мм.

Анізотропію усадки (a) або анізотропію додаткової усадки (a^*) обчислюють за формулами:

$$a = (\epsilon_y)_b / (\epsilon_y)_l ; \quad a^* = (\epsilon_y^*)_b / (\epsilon_y^*)_l$$

де $(\epsilon_y)_l$, $(\epsilon_y^*)_l$ - величина усадки або додаткової усадки вздовж напрямку лиття, %;

$(\epsilon_y)_b$, $(\epsilon_y^*)_b$ - величина усадки або додаткової усадки перпендикулярно напрямку лиття, %.

Методи вимірювання теплової усадки листових виробів з полівінілхлориду

Стандарт ГОСТ 11529-86 [17] поширюється на ПВХ матеріали (рулонні і плиткові) підлог і встановлює метод контролю зміни лінійних розмірів при довготривалих впливах температури.

І. Метод визначення зміни лінійних розмірів за рисками

Суть методу полягає у вимірюванні відстані між рисками, нанесеними на зразок до і після впливу на нього заданої температури протягом заданого часу.

Вимоги до зразків. Випробування проводять на трьох квадратних зразках з розміром сторони (150 ± 1) мм.

Апаратура та устаткування:

- електрична сушильна шафа, що забезпечує і підтримує температуру $(70 \pm 2)^\circ\text{C}$;

- оптичний пристрій, забезпечений вимірювальною шкалою з ціною поділки не більше 0,1 мм.

- розмічальний пристрій, що складається з металевого стержня і двох голлок, встановлених на відстані (100 ± 0.5) мм один від одного; радіус вістря голки повинен бути не більше 0,05 мм; схема розмічального пристрою приведена на рис. 2.8.

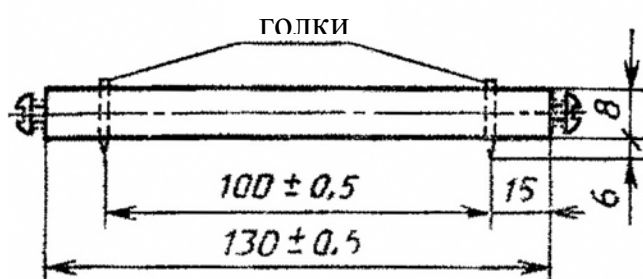


Рис. 2.8. Пристрій для розмітки зразків

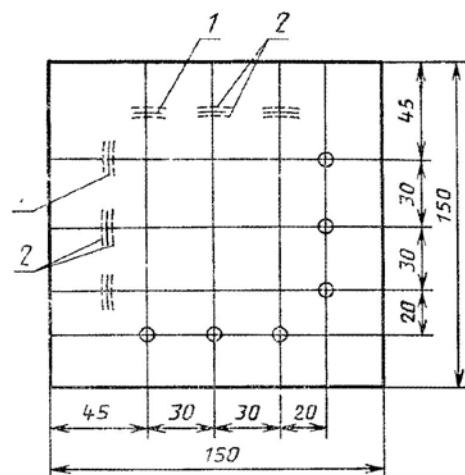


Рис. 2.9. Розмітка зразка для визначення усадки: 1 - риси до випробування, 2 - риси після випробування

Підготовка до випробування. Зразок кладуть на горизонтальну поверхню лицьовою стороною вгору і за допомогою пристрою для розмітки наносять по чотири лінії в поздовжньому і поперечному напрямках.

З крайніх точок перетину поздовжніх і поперечних ліній розмічальним шаблоном наносять лінії, як зазначено на рис. 2.9.

Проведення випробування. Розмічені зразки поміщають в сушильну шафу, нагріту до температури $(70 \pm 2)^\circ\text{C}$, на 5 год. Після витримки при підвищеній температурі зразок кондиціонують 30 хв при температурі $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$

Вищезазначеним способом розмічальним пристроєм знову наносять лінії.

Відстань між центрами двох ліній вимірюють за допомогою оптичного пристрою (мікроскопу МПБ-2 або катетометру В-630, що описані в розділі 2.2).

Обробка результатів. Деформацію усадки ϵ_y у відсотках обчислюють за формулою

$$\epsilon_y = (\Delta l / l) \cdot 100\% ,$$

де Δl відстань між двома лініями, мм; l відстань між голками розмічального пристрою, мм.

II. Метод визначення зміни лінійних розмірів за допомогою пристосування для фіксації зразка

Суть методу полягає у визначенні зміни відстані між протилежними сторонами зразка в подовжньому і поперечному напрямках після витримки при підвищеній температурі.

Вимоги до зразків. Для проведення випробувань з обраного матеріалу вирізають квадратні зразки з розмірами сторін (100 ± 1) мм, відступив від краю не менше ніж 20 мм.

Апаратура та устаткування: електрична сушильна шафа, що забезпечує і підтримує температуру $(70 \pm 2)^\circ\text{C}$; приладдя для фіксації зразка з вимірювальним індикатором годинникового типу ИЧ-10 (див. розділ 2.2).

Схема пристосування для фіксації зразка типу ППР зображена на рис. 2.10.

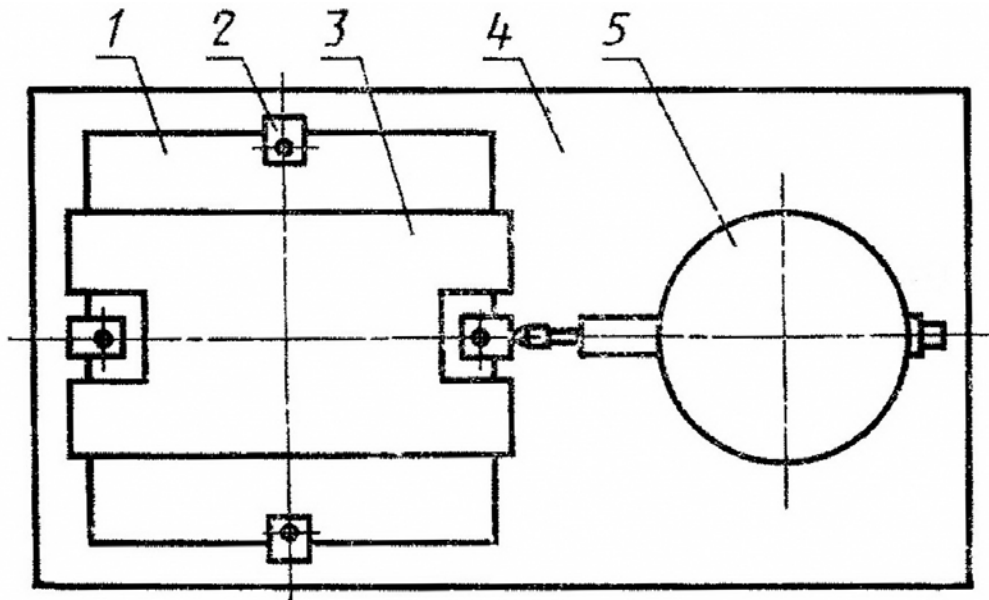


Рис. 2.10. 1 - зразок; 2 - затискувач; 3 - притискач; 4 - підставка; 5 - індикатор годинникового типу

Підготовка до випробування. На кожному зразку точками відзначають середину кожної зі сторін, а також поздовжній і поперечний напрями виготовлення зразка.

Проведення випробування. Зразок з затискувачами фіксують на основі приладдя таким чином, щоб поздовжній напрямок зразка збігалоя з віссю вимірювального пристрою. Включають вимірювальний пристрій і записують показання індикатора.

Зразок з затискачами поміщають в електричну сушильну шафу, нагріту до температури $(70 \pm 2)^\circ\text{C}$, і витримують протягом 5 год.

Після термообробки зразок з затискачами витримують протягом 30 хв і знову обмірюють в поздовжньому і поперечному напрямках так само, як до термостатування.

Обробка результатів. Величину зміни лінійних розмірів ϵ_y у відсотках обчислюють за формулою

$$\epsilon_y = [(L_1 - L_2) / L] \cdot 100\% ,$$

де L_1 - показання індикатора при обмірі зразка до термообробки, мм;

L_2 - показання індикатора при обмірі зразка після термообробки, мм;

L - розмір зразка, який дорівнює 100 мм.

Методи визначення зміни довжини труб, виготовлених з термопластів, після прогріву

За стандартом **ГОСТ 27078-86** [30] визначають зміну довжини труб, виготовлених з непластифікованого полівінілхлориду, поліетилену і поліпропілену, після прогріву в рідкому і повітряному середовищах.

1. Метод визначення зміни довжини у рідкому середовищі

Метод полягає у вимірюванні відстані між мітками на поверхні зразка труби до і після його витримки в рідкому середовищі при заданих температурі і часу.

Вимоги до зразків. Для труб діаметром не більше 180 мм зразком являється відрізок труби довжиною (300 ± 20) мм, кінці якого повинні бути відрізані механічним способом перпендикулярно осі труби. Для труб діаметром понад 180 мм зразком є смуга довжиною (300 ± 20) мм і шириною 200 ... 300 мм, вирізана за утворюючими з відрізка труби шляхом механічної обробки.

Випробування проводять на трьох зразках.

Апаратура та устаткування:

- термостат з пристроєм, що переміщує рідину, і забезпечують підтримку заданої температури з відхиленням не більше $\pm 2^\circ \text{C}$; - термометр з ціною поділки 0.5°C ;

- рідина для наповнення термостату повинна бути нейтральна стосовно випробуваному матеріалу і стабільною при температурі випробування.

Підготовка до випробування. На зовнішню поверхню кожного зразка наносять три лінії паралельно осі труби на рівній відстані по периметру або ширині зразка. На кожній лінії роблять мітки на відстані не менше 100 мм один від одного і не менше 10 мм від торця зразка. Зразки перед випробуванням кондиціонують не менше 2 годин при температурі $23 \pm 3^\circ \text{C}$.

На кожному зразку вимірюють відстань між двома мітками з похибкою не більше 0.25 мм при температурі $(23 \pm 2)^\circ \text{C}$.

Проведення випробування. Температуру випробування і час витримки встановлюють відповідно до табл. 2.6. Зразки занурюють в рідину не менше

ніж на 200 мм за допомогою підтримуючого пристосування, виключаючи зіткнення їх один з одним і зі стінками термостату.

Таблиця 2.6

Температури та часи витримки зразків труб, виготовлених з різних матеріалів при випробуваннях у рідкому середовищі

Матеріал	Умови випробування		
	Температура °C	Час витримки, хв. при товщині стінки, мм	
		до 8 включно	більше 8
Полівінілхлорид непластифікований	150	15 + 1	30 + 1
Поліетилен високого тиску	100	15 + 1	30 + 1
Поліетилен низького тиску	110	15 + 1	30 + 1
Поліпропілен (гомополімер)	150	15 + 1	30 + 1
Поліпропілен (сополімер)	135	15 + 1	30 + 1

Зразки витримують в термостаті при підвищеній температурах протягом заданого часу, виймають та кондиціонують не менше 2 годин при температурі $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ і вимірюють відстань між мітками.

II. Метод визначення зміни довжини в повітряному середовищі

Метод полягає у вимірюванні відстані між двома мітками на поверхні зразка до і після його витримки в повітряному середовищі.

Вимоги до зразків ті ж самі, що при випробуваннях у рідкому середовищі.

Апаратура та устаткування: повітряна сушильна шафа з циркуляцією повітря, оснащена термостатуючим пристроєм, що забезпечує підтримку заданої температури з відхиленням $\pm 2^\circ\text{C}$; після розміщення зразків в сушильній шафі температура в ній повинна відновлюватись не більш ніж за 15 хв;

- термометр з ціною поділки 0.5°C ;

Проведення випробування. Температуру випробування і час витримки встановлюють відповідно до табл. 2.7. Зразки поміщають в сушильну шафу, виключаючи зіткнення їх один з одним і зі стінками шафи. Допускається розміщення зразків в горизонтальному положенні на шарі талька на полці сушильної шафи.

Зразки витримують в сушильній шафі при заданих температурах і часі, виймають та кондиціонують не менше 2 годин при температурі $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ і вимірюють відстань між мітками.

Таблиця 2.7

Температури та часи витримки зразків труб, виготовлених з різних матеріалів при випробуваннях в повітряному середовищі

Матеріал	Умови випробування			
	Температура $^\circ\text{C}$	Час витримки, хв. при товщині стінки, мм		
		до 8 включно	від 8 до 16 включно	більше 16
Полівінілхлорид непластифікований	150	60 + 1	120 + 5	240 + 5
Поліетилен високого тиску	100	60 + 1	120 + 5	240 + 5
Поліетилен низького тиску	110	60 + 1	120 + 5	240 + 5
Поліпропілен (гомополімер)	150	60 + 1	120 + 5	240 + 5
Поліпропілен (сополімер)	135	60 + 1	120 + 5	240 + 5

III. Обробка результатів.

По обох методах (випробування в рідкому та повітряному середовищах) відносну деформацію усадки труб (ϵ_y) у відсотках розраховують за формулою:

$$\epsilon_y = [|L - L_0| / L_0] \cdot 100\% ,$$

де L_0 - відстань між мітками до прогріву, мм;

L_2 - відстань між мітками після прогріву, мм;

$|L - L_0|$ - абсолютне значення зміни довжини зразка.

До розрахунку береться максимальне значення $|L - L_0|$.

Метод визначення повздовжньої усадки профілів полівінілхлоридних

Повздовжню усадку за ГОСТ 19111-77 [28] визначають за допомогою приладу, що зображений на рис. 2.11.

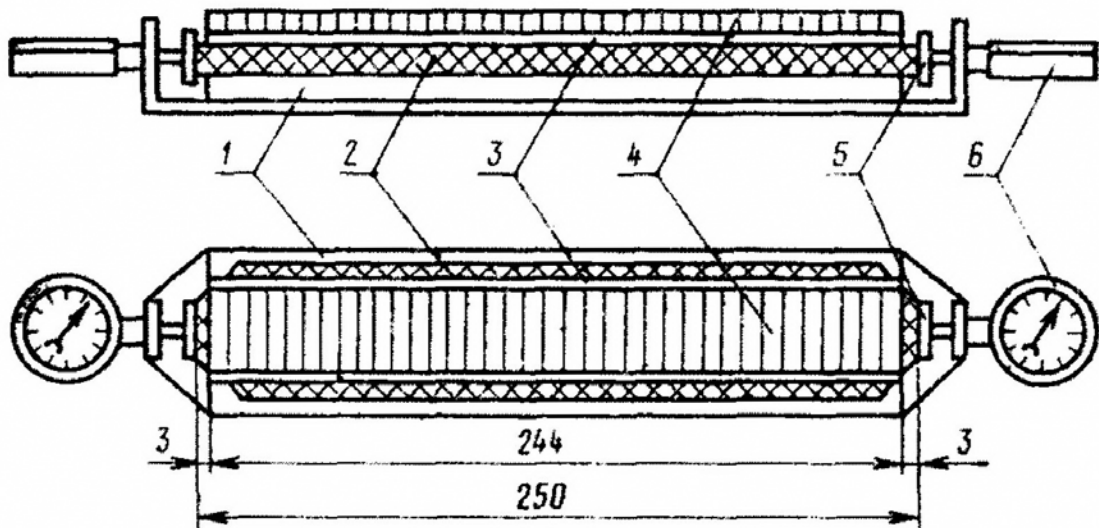


Рис. 2.11. Прилад для вимірювання температурної усадки ПВХ профілів: 1 - сталева стрічка; 2 - випробуваний зразок; металевий вкладиш довжиною 244 мм; 4 - притискний вантаж; 5 - голівка індикатору з металевим диском діаметром 15 мм і товщиною 1 мм; 6 - індикатор з точністю вимірювання 0.01 мм

Для проведення випробувань відрізають три зразка довжиною 250 мм кожний. Зразок укладають лицевою стороною донизу на сталеву плиту 1 між дисками голівок індикаторів 5 так, щоб вісь симетрії плоскої сторони зразка збігалася з осями голівок індикаторів, а торці зразка вступали за краї сталеві плати на 3 мм з кожної сторони.

Зразок вирівнюють за допомогою металевого вкладиша 3 та притискного вантажу 4. Гвинтами індикаторів 6 диски їх голівок доводять до контакту із закругленими торцями зразка і за показниками індикаторів обчислюють початкову довжину зразка з погрішністю до 0.01 мм.

Надалі зразок розміщують в сушильній шафі, де його піддають термічній обробці протягом 5 годин при температурі $(70 \pm 2)^{\circ}\text{C}$. Зразок виймають з сушильної шафи, охолоджують до температури $(20 \pm 2)^{\circ}\text{C}$, а потім вимірюють його у вказаній раніше послідовності і з тою ж погрішністю.

Усадку ε_y у відсотках обчислюють за формулою

$$\varepsilon_y = [(L_1 - L_2) / L_1] \cdot 100\% ,$$

де L_1 - початкова довжина зразка, мм;

L_2 - довжина зразка після термообробки, мм.

Метод визначення усадки поліетиленової термозбіжної плівки

Стандарт ГОСТ 25951-83 [29] розповсюджується на поліетиленову термозбіжну плівку, що виготовляється методом екструзії з послідувачим пневматичним розтягом, товщиною 0.03 ... 0.20 мм. Визначення усадки плівки проводять у повітряному або рідкому середовищі.

І. Метод визначення усадки у повітряному середовищі

Випробування проводять у термостаті, який дозволяє встановлювати та підтримувати температуру $(180 \pm 5)^{\circ}\text{C}$. Для закріплення зразків використовують спеціальну рамку з гетинаксу або картону товщиною 2 мм (рис. 2.12).

Висота рамки 100 мм, ширина не менше 150 мм. Для обмеження закручування зразків під впливом температури на рамку зі зразками намотують під довільним кутом 2 ряди нитей як показано на рис. 2.12 та встановлюють шкалу для вимірювання довжини зразків після усадки.

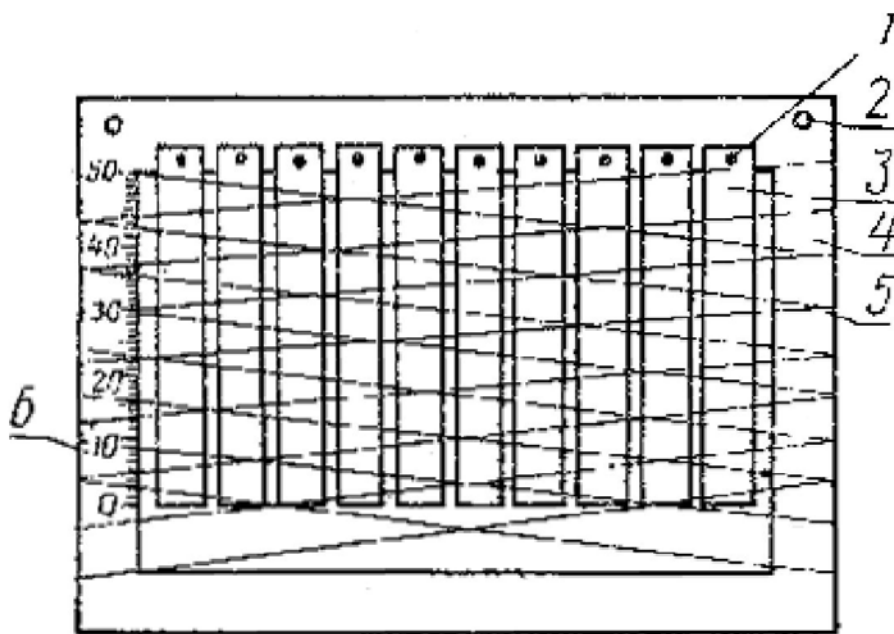


Рис. 2.12. Розміщення зразків на рамці: 1 - голки для кріплення зразків; 2 - отвори для закріплення рамки в термостаті; 3 - випробувальні зразки; 4 - рамка; 5 - нитки; 6 - шкала

Підготовка до випробування. Зразки для визначення усадки у формі прямокутної смужки розмірами 10 x 55 мм вирізають вздовж та поперек поздо-

вжньої осі полотно плівки по 5 штук у кожному напрямі. Допустиме відхилення від розмірів ± 5 мм. На відстані 5 мм від краю зразка наносять мітку.

Проведення випробувань. Після досягнення заданої температури (180 ± 5)⁰С, яку вимірюють з точністю 1⁰С, рамку зі зразками встановлюють вертикальному положення на штифти, що знаходяться в термостаті. Відстань до стінок повинно бути не більше 50 мм.

Час нагріву зразків плівки товщиною до 0.05 мм повинно складати (30 ± 1) с, вище 0.05 мм до 0.10 мм включно (40 ± 1) с, вище 0.10 мм (60 ± 1) с.

II. Метод визначення усадки у рідкому середовищі

Метод відрізняється від попереднього тим, що випробування проводяться не в повітрі, а в силіконовому маслі з низькою в'язкістю, гліцерином або гліколем.

Випробування проводять на смужках довжиною 150 мм шириною 15 мм або на зразках у формі квадрату зі стороною 100 мм. Зразки витримують при температурі (125 ± 0.5)⁰С протягом (10 ± 1) с. Допускається проводити випробування при температурі (110 ± 0.5)⁰С протягом (20 ± 1) с.

III. Обробка результатів

По обох методах (випробування в повітряному та рідкому середовищах) усадку ϵ_y у відсотках обчислюють за формулою

$$\epsilon_y = [(L_0 - L) / L_0] \cdot 100\% ,$$

де L_0 - початкова довжина зразка, мм;

L - довжина зразка після усадки, мм.

В усіх описаних методах за результат випробувань приймають середнє арифметичне всіх визначень (окремо в поздовжньому і поперечному напрямках) і характеристики розкиду даних, що оцінюються за величинами середнього квадратичного відхилення за ГОСТ 14359-69 [22].

2.5. Лабораторна робота № 4.2

Визначення температурних деформацій конструкційних пластмас

Мета роботи:

- ознайомитися з методом вимірювання деформацій, що виникають у полімерах при підвищених температурах;
- провести експерименти та виміряти температурні деформації при зміні температури;
- розрахувати абсолютну та відносну деформації зразків.

Прилади та обладнання:

1. інструмент для виготовлення зразків;
2. штангенциркуль ціною поділки 0.05 мм;
3. мікрометр з ціною поділки 0.01 мм;
4. катетометр В630;
5. температурна шафа або термостат;
6. вимірювач температури.

Досліджувані матеріали:

- конструкційні пластмаси різних класів та марок;
- плівкові полімери різних класів та марок;
- листові пластмаси.

Зразки (тип та розміри): Для випробувань застосовують зразки у вигляді лопаток згідно ГОСТ 11262-80 типу 2 або 3.

Для досліджень плівкових матеріалів застосовують зразки згідно ГОСТ 14236-81 у вигляді смужок шириною 10-25 мм і довжиною не менше 150 мм або квадратним пластинками розмірами не менше 100 x 100 мм.

Товщина зразків повинна бути в межах 0.2 ... 6.0 мм.

Перед дослідженнями вимірюють товщину й ширину зразків і обчислюють площу поперечного перерізу.

Дослід А. Вимірювання коефіцієнтів лінійного теплового розширення (КЛТР) α

Порядок проведення випробувань.

1. Перед початком випробування температура повітря в нагрівальному пристрої повинна бути $T_0 = (23 \pm 3)^\circ\text{C}$.
2. Випробувальний зразок встановити в нагрівальний пристрій у вертикальному положенні.
3. Виміряти довжину зразка при кімнатній температурі. Для цього сумістити горизонтальний штрих катетометра В-630 з одним краєм зразка і записати показ катетометра ($K1_0$). Сумістити штрих з іншим краєм зразка і записати показ ($K2_0$).
4. Встановлюють термометр в нагрівальний пристрій і включають обігрів з терморегулюючим пристроєм.
4. Після встановлення в нагрівальному пристрої заданої температури T_1 провести вимірювання за п. 3 і записати покази катетометра ($K1_T$ та $K2_T$).
5. Результати вимірювань занести в табл. 4.2а.

Табл. 4.2а. Результати вимірювання коефіцієнтів лінійного теплового розширення матеріалу _____

$T_0, ^\circ\text{C}$	$T_1, ^\circ\text{C}$	$K1_0$	$K2_0$	$K1_T$	$K2_T$

В таблиці записані такі дані:

T_0 – початкова температура;

T_1 – підвищена температура;

$K1_0, K2_0$ – показання катетометра при початковій температурі;

$K1_T, K2_T$ – показання катетометра при підвищеній температурі.

Розраховані характеристики зразків та матеріалу:

$\Delta T = T_1 - T_0$ - зміна температури, $^{\circ}\text{C}$;

$L_0 = K1_0 - K2_0$ - довжина зразка при початковій температурі, мм;

$L_T = K1_T - K2_T$ - довжина зразка при підвищеній температурі, мм;

$\Delta L = L_T - L_0$ - абсолютна температурна деформація зразка, мм;

$\varepsilon_T = \Delta L / L_0$ - відносна температурна деформація зразка, відносні одиниці;

$\alpha = \varepsilon_T / \Delta T$ - коефіцієнтів лінійного теплового розширення, 1/град.

Результати розрахунків занести в табл.4.2б.

Табл. 4.2б. Результати вимірювання коефіцієнтів лінійного теплового розширення матеріалу _____

$T_0, ^{\circ}\text{C}$	$T_1, ^{\circ}\text{C}$	$\Delta T, ^{\circ}\text{C}$	$L_0, \text{мм}$	$L_T, \text{мм}$	$\Delta L, \text{мм}$	$\varepsilon_T, \text{відн. од.}$	$\alpha, \text{1/град}$

Дослід Б. Вимірювання температурної усадки полімерних матеріалів α

Порядок проведення випробувань.

1. Перед початком випробування температура повітря в нагрівальному пристрої повинна бути $T_0 = (23 \pm 3)^{\circ}\text{C}$.

2. Виміряти початкову довжину зразка L_0 (мм) за допомогою штангенциркуля з точністю ± 0.1 мм.

3. Встановлюють термометр в нагрівальний пристрій і включають обігрів з терморегулюючим пристроєм.

4. Після встановлення в нагрівальному пристрої заданої температури T_1 витримати зразок при підвищеній температурі протягом заданого часу. Температура та час витримки задається керівником робіт.

5. Охолодити зразок та виміряти кінцеву довжину зразка L_T (мм) за допомогою штангенциркуля з точністю ± 0.1 мм.

6. Результати вимірювань занести в табл. 4.2в.

Табл. 4.2в. Результати вимірювання температурної усадки матеріалу

$T_0, ^\circ\text{C}$	$T_1, ^\circ\text{C}$	$L_0, \text{мм}$	$L_T, \text{мм}$	$\Delta L, \text{мм}$	$\varepsilon_y, \text{відн. од.}$

В таблиці записані такі дані:

T_0 – початкова температура;

T_1 – підвищена температура;

$L_0 =$ - довжина зразка у початковому стані, мм;

$L_T =$ - довжина зразка після витримки при підвищеній температурі, мм;

$\Delta L = L_T - L_0$ - абсолютна деформація усадки зразка, мм;

$\varepsilon_T = (\Delta L / L_0) \cdot 100\%$ - відносна деформація усадки зразка, відсотки.

Дані про випробування, що реєструються у протоколах:

– найменування і марка пластмаси _____

– стан матеріалу _____

– швидкість зміни температури _____, град/хв

– час проведення випробування _____, с

– площа поперечного перерізу зразка _____, мм²

– розміри зразка _____, мм

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

Додаткові дані про випробувані матеріали (з довідників): _____

Висновки по роботі: _____

Випробування виконані _____ 201__ р.

3. ВИЗНАЧЕННЯ РОБОЧИХ ТЕМПЕРАТУР ПЛАСТМАС ТА ГУМ

3.1. Вимірювання температур розм'якшення за Віка

Суть методу за ГОСТ 15088-83 [23] полягає у визначенні температури, при якій стандартний індентор під дією навантаження проникає у випробовуваний зразок, що нагрівається з постійною швидкістю, на глибину 1 мм.

При випробуваннях пористих пластмас за цим методом визначають температури, при якій зразок під дією сили стискається на 1 мм.

Випробування проводять в рідкому або повітряному середовищі.

Метод призначений для порівняльних випробувань пластмас і передбачає застосування двох випробувальних навантажень: А - величиною близько 10 Н або Б - величиною близько 50 Н. Величина навантаження передбачається в стандартах або технічних умовах на пластмаси.

Вимоги до зразків. Для випробування застосовують зразки у вигляді пластини товщиною від 3.0 до 6.4 мм. Розмір випробувальної поверхні має бути не менше 10 мм по довжині сторони прямокутника або діаметра кола. Випробувальна і протилежна їй поверхні зразка повинні бути плоскими і паралельними.

Якщо товщина зразка перевищує 6.4 мм, її зменшують, обробляючи одну з поверхонь. Протилежна поверхня залишається необробленою і служить як випробувальна.

Допускається випробовувати зразки товщиною від 1.5 до 3.0 мм. У цьому випадку два зразка складають без видимих проміжків так, щоб їх загальна товщина перебувала в межах допустимих значень.

Зразки пористих пластмас повинні мати форму паралелепіпеда розмірами $(20 \pm 1) \times (20 \pm 1) \times (10 \pm 0.5)$ мм.

Зразки повинні мати плоску поверхню без видимих дефектів пористої структури і механічної обробки.

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.

Для вимірювання розмірів зразка застосовують штангенциркуль із цифровою індикацією.

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 [22] з урахуванням вимог методів випробувань та точності визначення вимірювальної величини з заданою вірогідністю.

Апаратура та устаткування.

Прилад для випробування по Віка складається з прикріпленого до штатива металевого стержня з несучою пластиною, індентора і вимірювального пристрою для визначення глибини вдавлення (рис. 3.1).

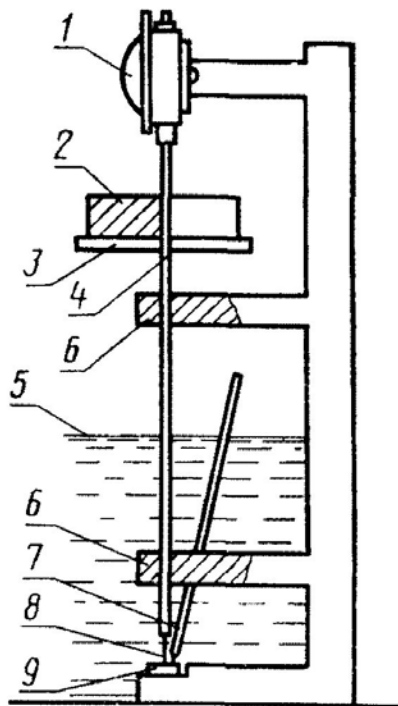


Рис. 3.1. Принципова схема приладу для вимірювання температури розм'якшення за Віка:
1 - вимірювальний прилад; 2 - вантаж;
3 - несуча пластина; 4 - металевий стержень;
5 - рівень рідини; 6 - напрямні втулки;
7 - засіб для вимірювання температури;
8 - індентор; 9 - зразок для випробувань

Прилад для випробування за Віка рекомендується виготовляти зі сплавів з низьким коефіцієнтом теплового лінійного розширення.

Металевий стержень (4) з пластиною (3) для розміщення вантажів, укріплений в металевій рамі так, щоб він міг вільно переміщатися в вертикальному напрямку. Підстава рами служить опорою для випробуваного зразка (9).

Індентор (8) циліндричної форми з загартованої нержавіючої сталі довжиною 3 мм і площею поперечного перерізу (1.0 ± 0.015) мм² прикріплений до нижнього кінця металевого стержня (4). Нижня поверхня індентора повинна бути перпендикулярна осі стержня і не повинна мати задирок.

При випробуванні пористих пластмас додатково використовують дві металеві пластинки розміром $(23 \times 23 \times 2)$ мм.

Вимірвальний прилад (1) реєструє досягнення глибини вдавлення (1.0 ± 0.01) мм або вимірює стиснення зразка при випробуванні пористих пластмас.

Вантажі (2) для навантаження зразка повинні бути розташовані на несучій пластині так, щоб центр ваги знаходився на осі металевого стержня. Загальна сила, прикладена до зразка, повинна знаходитися в межах:

(10 ± 0.1) Н для способу А, (50 ± 1.0) Н для способу В.

Загальна маса стержня з індентором і пластиною для вантажу не повинна перевищувати 1 Н для забезпечення попереднього навантаження.

Якщо показання вимірального пристрою, обумовлене різними тепловим розширенням елементів приладу для випробування за Віка, яке визначають в межах вимірюваних температур, замінивши випробуваний зразок зразком з боросилікатного скла або інвару, дорівнює або перевищує 0.02 мм, його значення для отриманої температури розм'якшення за Віка алгебраїчно додають до вимірального пристрою.

Рідинний або повітряний термостат. Термостат забезпечує нагрівання середовища, що передає тепло, в яку поміщається зразок для випробування за Віка. При випробуванні в рідкому середовищі зразок повинен знаходитися не менше ніж на 35 мм нижче поверхні рідини. Термостат повинен бути забезпечений регулятором, що забезпечує рівномірне підвищення температури зі швидкістю (50 ± 5) °С за годину або (120 ± 10) °С за годину.

Засіб для вимірювання температури середовища (7), що передає тепло, має забезпечувати вимір температури з похибкою не більше ± 0.5 °С.

Підготовка до випробування. Випробуваний зразок поміщають на нижню поверхню основи штатива під індентор ненавантаженого стержня. Будь-яка точка поверхні індентора повинна знаходитися на відстані не менше 3 мм від краю випробуваного зразка.

Зразок пористої пластмаси поміщають в центр нижньої металевої пластинки, а верхню пластинку встановлюють на зразок таким чином, щоб індентор стосувався центру площинки.

Прилад зі зразком занурюють в середовище, що передає теплоту. Засіб для вимірювання температури поміщають так, щоб датчик знаходився поруч зі зразком.

Проведення випробування. Випробування починають при температурі середовища, що передає теплоту, на 50°C нижче очікуваної температури розм'якшення. Якщо передбачувана температура розм'якшення нижче 75°C , допускається розпочати випробування при температурі середовища 20°C .

Через 5 хв поміщають вантажі на несучу пластинку і відзначають показання вимірювального пристрою або встановлюють його нульову позначку.

Температуру термостата рівномірно підвищують зі швидкістю $(50 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ за годину або $(120 \pm 10)^{\circ}\text{C}$ за годину.

Температура занурення індентора в зразок на глибину $(1 \pm 0,01)$ мм, є температурою розм'якшення за Віка для даного зразка.

Якщо під час випробування на одному із зразків з'являться значні зміни (утворення тріщин, спучування і т.п.), які можуть вплинути на результат, випробування необхідно повторити.

Обробка результатів. За температуру розм'якшення випробуваного матеріалу приймають середнє арифметичне значення виміряних температур, округлене до цілого градуса Цельсія, допустимі розбіжності між якими не повинні перевищувати 2°C при випробуванні в рідкому середовищі і 6°C при випробуванні в повітряному середовищі. Якщо розбіжності між окремими значеннями температури розм'якшення відрізняються від допустимих, то випробування повторюють.

Далі описаний один з варіантів конструкції та приладового забезпечення устаткування для визначення температури розм'якшення конструкційних пластмас та інших полімерних матеріалів, в якому враховано більшість вимог ГОСТ 15088-83 [1].

Випробувальний прилад типу Віка (рис. 3.2) складається з навантажувального пристрою, вимірювача деформації, нагрівального пристрою, системи регулювання і вимірювання температури.

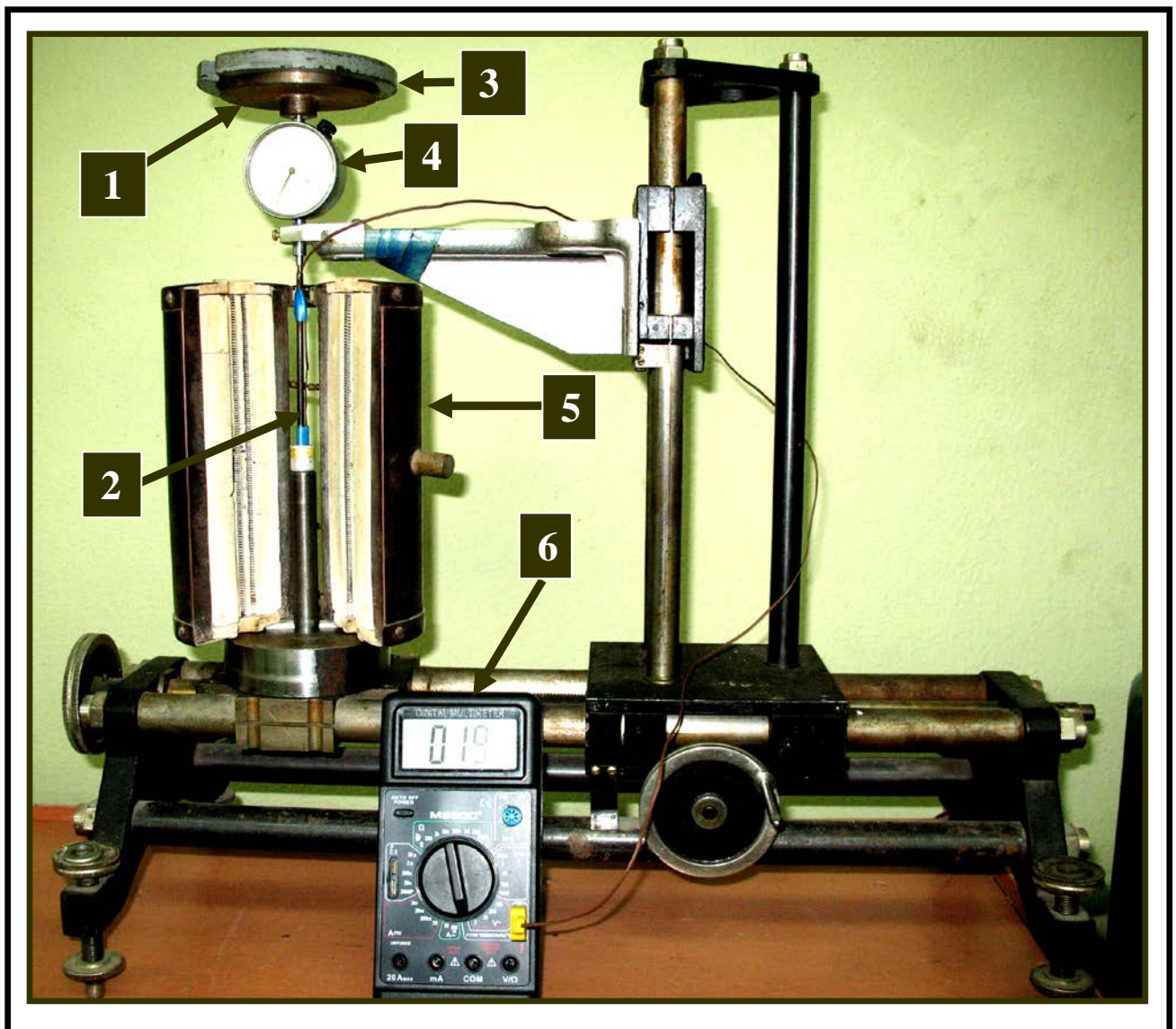


Рис. 3.2. Загальний вигляд випробувального приладу типу Віка:
1 – навантажувальний пристрій; 2 – індентор; 3 – змінний вантаж;
4 – вимірювач деформації (індикатор годинникового типу ИЧ-10);
5 – нагрівальний пристрій;
6 – цифровий вимірювач температури (прилад М890С⁺)

Навантажувальний пристрій складається із стрижня з площадкою для розміщення вантажів (1) і індентора (2) циліндричної форми, який знизу має плоско відшліфовану поверхню площиною 1 мм^2 (діаметр $1.13 \pm 0.01 \text{ мм}$).

Навантажувальний пристрій забезпечений вимірювачем деформації - індикаторною головкою ИЧ-10 (4) та змінними вантажами (3). Вантажі забезпечують загальне навантаження на зразок $10 \pm 0.25 \text{ Н}$ при навантаженні А або $50 \pm 0.25 \text{ Н}$ при навантаженні Б. Вимірювач деформації (4) реєструє занурення індентора в зразок під дією навантаження.

Нагрівальний пристрій (5) забезпечує рівномірне підвищення температури повітряного середовища в термошафі із швидкістю $5 \pm 1^\circ\text{C}$ за 6 хвилин або $50 \pm 5^\circ\text{C}$ за годину.

Для вимірювання температури використовують цифровий прилад (6) (тип М890С⁺) з точністю вимірювання 0.1°C . Термопара приладу повинна знаходитися на рівні зразків в зоні їх розташування.

Режими випробування	
1). Навантаження силою 10 або 50 Н	2). Підвищення температури до стану розм'якшення матеріалу

Особливості випробувань
1). Реєстрація результатів вимірювань температури на цифровому табло
2). Можливість підтримувати встановлену швидкість зміни температури
3). Візуальна реєстрація температури проникнення індентора на глибину 1 мм

Технічні дані приладу			
За навантаженням		За деформацією та температурою	
Максимальне випробувальне навантаження, Н	50.0	Максимальне переміщення траверси, мм	100
Межі зміни навантаження, Н	від 10 до 50	Діапазон швидкостей зміни температури, град/хв	від 0.5 до 1.0
Похибка вимірювання навантаження, %	не більше 1,0	Точність вимірювання переміщень, мм	0.01

3.2. Лабораторна робота № 4.3

Визначення температури розм'якшення пластмас

Мета роботи:

- ознайомитися з методом вимірювання температур розм'якшення пластмас за Віка;
- провести експерименти та виміряти температуру розм'якшення за встановленою програмою зміни температури;
- дослідити характер впливу типу пластмаси та наповнювача на температуру розм'якшення.

Прилади та обладнання:

1. інструмент для виготовлення зразків;
2. штангенциркуль ціною поділки 0.05 мм;
3. мікрометр з ціною поділки 0.01 мм;
4. випробувальний прилад типу Віка, що описаний в розділі 3.1;
5. індикатор годинникового типу ИЧ-10;
6. цифровий вимірювач температури.

Досліджувані матеріали:

- конструкційні пластмаси різних класів та марок;
- листові пластмаси;
- інші конструкційні пластмаси та композиційні матеріали.

Зразки (тип та розміри):

- зразки у вигляді пластин товщиною від 3.0 до 6.4 мм.

Розмір випробувальної поверхні - не менше 10 мм по довжині сторони прямокутника або діаметра кола.

Випробувальна і протилежна їй поверхні зразка повинні бути плоскими і паралельними.

Порядок проведення випробувань.

1. Перед початком випробування температура повітря в нагрівальному пристрої повинна бути $25\pm 5^{\circ}\text{C}$.
2. Випробувальний зразок встановити в навантажувальній пристрій під індентором так, щоб відстань його від країв зразка була не менше 3 мм.
3. Встановлюють термометр в нагрівальній пристрій і включають обігрів з терморегулюючим пристроєм.
4. Прикласти навантаження на зразок.
3. Закріпити зразок у затискувачах випробувальної машини.
4. Почати випробування та на кожному циклі при максимальному та мінімальному навантаженнях записувати покази індикатору деформації у мм.
5. Після випробування оглянути зразок та описати його зовнішній вигляд (наявність пошкоджень, слідів руйнування, зміну кольору тощо).
6. Якщо на зразку після випробування з'явилися зміни (наприклад, тріщини, роздув), які могли вплинути на результат випробування, то випробування вважається недійсним. В цьому випадку необхідно провести випробування іншого зразка.
7. Результати вимірювань оформити у вигляді таблиць та графіків.

Табл. 4.3. Результати вимірювань температур розм'якшення за Віка

Матеріал	№№ випробувань	Температура розм'якшення, $^{\circ}\text{C}$
_____	1	
	2	
	3	
	Середнє значення	
_____	1	
	2	
	3	
	Середнє значення	

За температуру розм'якшення по Віка пластмаси приймають середнє арифметичне температур розм'якшення окремих зразків одного матеріалу з округленням до цілого числа градусів.

Дані про випробування, що реєструються у протоколі:

- швидкість зміни температури _____, град/хв;
- навантаження _____, Н;
- час проведення випробування _____, хв;
- розміри плоскої поверхні зразка _____, мм;
- товщина зразка _____, мм.

Стислі відомості про випробувані матеріали (клас, фазовий та фізичний стани, наявність наповнювачів та стабілізаторів, галузі застосування, методи отримання та режим обробки, інша інформація):

Додаткові дані про випробувані матеріали (з довідників):

Висновки по роботі:

Випробування виконані _____ 201__ р.

3.3. Визначення характеристик пластмас та гум при знижених температурах

Метод визначення температури крихкості пластмас при ударі

За ГОСТ 16782-92 [25] визначаються температури, при яких пластмаси з температурою крихкості нижче 20°C , які не є жорсткими при звичайній температурі навколишнього середовища, стають крихкими і руйнуються в заданих умовах деформації.

Визначення. Температура крихкості $T_{\text{кр}}$ - це температура, при якій досягається 50% -ва ймовірність руйнування зразків при випробуванні їх за даним методом.

Швидкість випробування - це швидкість руху ударного бойка випробувальної машини в напрямку випробувального зразка, закріпленому в затискувачі.

Суть методу полягає в згині консольно закріпленого зразка на кут 90° навколо оправки заданого радіуса при постійній (заданій) швидкості випробування в інертному (газоподібним чи рідким) середовищі.

Апаратура та устаткування. Використовується прилад, що складається з затискувача для закріплення зразків, ударного бойка і механічного пристрою, що забезпечує нормальний взаємозв'язок всіх деталей і переміщення ударного бойка відносно випробовуваних зразків з постійною швидкістю.

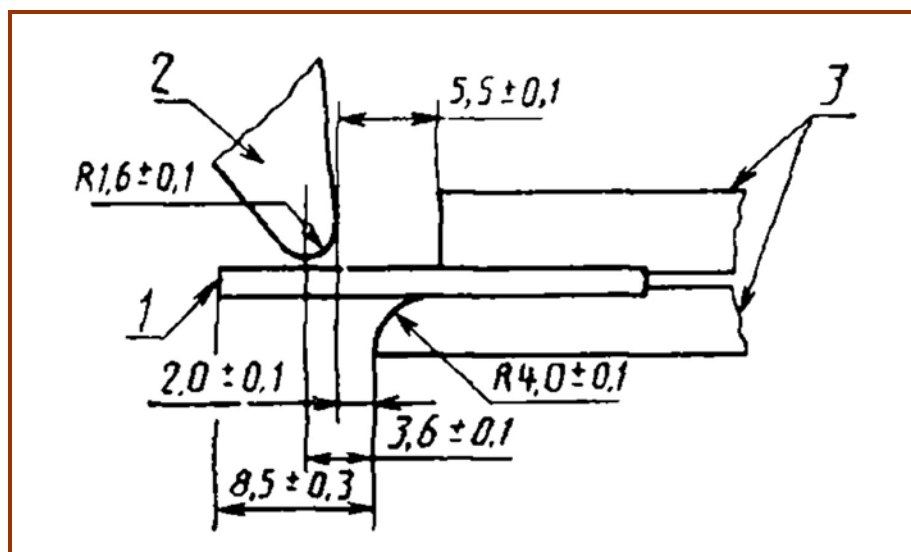


Рис. 3.3. Принципова схема затискання та навантаження зразка: 1 - випробувальний зразок; 2 - ударна кромка; 3 - затисне приладдя

Деталі ударного бойка і затискувача показані на рис. 3.3. На рис. 3.4 зображений затискувач з закріпленими в ньому зразками.

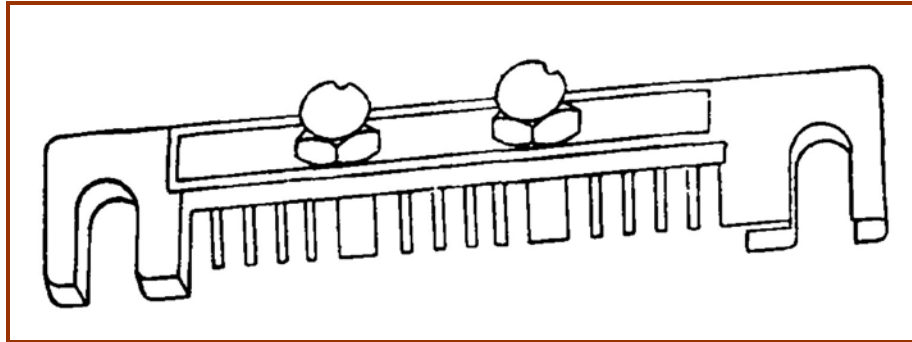


Рис. 3.4. Затисне приладдя з випробувальними зразками

Для випробування застосовують ударний боек, який приводиться в дію силою тяжіння.

Принципові розміри апаратури повинні бути такими:

- радіус ударного бойка — $(1.6 \pm 0,1)$ мм;
- радіус нижньої лапки затискача — $(4.0 \pm 0,1)$ мм;
- відстань між точкою удару ударного бойка і затискачем — $(3.6 \pm 0,1)$ мм;
- зазор між краєм ударного бойка і затискачем — $(2.0 \pm 0,1)$ мм.

Швидкість випробування повинна складати (2.0 ± 0.2) м / с при ударі і при подальшому переміщенні не менше ніж на 5 мм.

Вимірювач температури (термометр або термопара), має охоплювати діапазон температур, при яких проводять випробування, і показувати температуру з точністю $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$. Кульку термометра або мідь - константову термопару слід поміщати найближче до зразка для випробування.

Теплопровідне середовище. Використовують рідке або газоподібне теплопровідне середовище, яке не робить помітного впливу на випробовуваний матеріал. Температуру теплообмінного середовища при випробуванні слід підтримувати з точністю $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$. Допускається для газоподібного середовища похибка підтримки і вимірювання температури в криокамері на більше 1°C при температурах до мінус 80°C і не більше 2°C при температурах нижче мінус 80°C .

Вимоги до зразків. З листа, призначеного для випробування, вирізаються зразки довжиною (20.0 ± 0.25) мм, шириною (2.5 ± 0.05) мм і товщиною (1.6 ± 0.1) мм. Зразки Поверхня зразків повинна бути рівною і гладкою, без раковин, тріщин, сторонніх включень та інших видимих дефектів.

Кондиціонування. Зразки перед випробуваннями слід витримувати за ГОСТ 12423-66 при температурі (23 ± 2)⁰С і відносній вологості (50 ± 5)%. Зразки з надрізом кондиціонують після нанесення надрізу.

Проведення випробування. Зразки для випробувань надійно закріплюють в затисне приладдя, яке поміщають у випробувальний прилад. При випробуванні зразків з надрізом надріз повинен знаходитися на бічній стороні зразка по дотичній до закругленої нижньої лапки затискача.

Зразки витримують при температурі випробування при використанні рідкого середовища 3 хв, при використанні газоподібного середовища 20 хв, що забезпечує досягнення рівноважного стану по температурі. Здійснюють удар, згинаючи зразки навколо оправки.

Зразки виймають з кріокамери і відзначають число зруйнувалися зразків. Руйнування характеризується розломом на дві або більше частин або появою видимих тріщин.

Випробування проводять при чотирьох або більше температурах в діапазоні, в якому відбувається від 10 до 90% руйнувань (при визначенні нижченаведеним графічним методом 0 і 100% руйнування в розрахунок не приймається).

Випробовують не менше 100 зразків. При проведенні випробувань при чотирьох температурах при кожній температурі випробовують не менше 25 зразків. При проведенні випробувань при більшій кількості температур при кожній температурі можна випробувати меншу кількість зразків, але не менше 10.

Метод визначення температури крихкості пластмас при здавлюванні зразка, складеного петлею

За ГОСТ 16783-71 [26] визначаються температури температури крихкості при здавлюванні складених петлею зразків товщиною не більше 0,5 мм.

Стандарт передбачає два режими випробування: статичний і динамічний і три варіанти випробування: А, Б і В. Вибір режиму і варіанти випробування передбачається в стандартах та технічних умовах на пластмаси.

За варіантом випробування А (повного) визначають температуру, при якій 50% випробувальних зразків стають крихкими, руйнуючись при заданій деформації в встановлених умовах механічного впливу. Випробування складається з ряду дослідів, які проводять при кількох температурах, застосовуючи для кожного з них однакову кількість зразків. Після кожного дослідів зразки оглядають і встановлюють відносну кількість зруйнованих зразків. На основі отриманих даних знаходять температуру крихкості аналітичним або графічним способом.

За варіантами випробування Б і В (неповним) проводять дослідів при одній певній температурі і встановлюють кількість зруйнованих та незруйнованих зразків. Варіанти Б і В використовують в основному для заводського контролю.

Температура крихкості служить для порівняльної характеристики пластмас при заданих умовах випробування. Вона не є нижньою границею робочих температур виробів, так як ця границя залежить від конкретних умов експлуатації виробу.

Апаратура та устаткування. Випробування проводять на приладі, який містить такі основні частини: затискувач для закріплення зразків; пуансон для здавлювання зразка; нижня основа, на яку поміщають робочу частину зразка; морозильна камера; вимірвач температури.

Основні розміри і взаємне розташування затискувача, пуансона, нижньої основи та зразка в початковий і кінцевий моменти дії пуансона на зразок відповідають **рис. 3.5**.

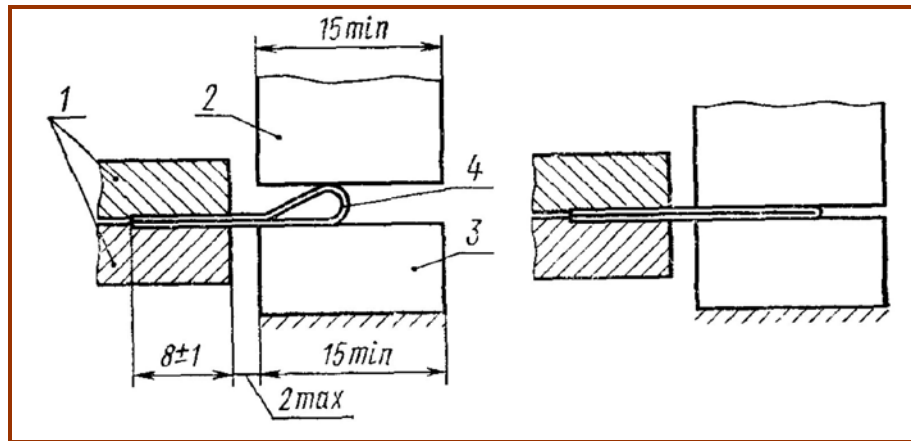


Рис. 3.5. Принципова схема затискання та навантаження зразка: 1 - затискувач; 2 - пуансон для здавлювання зразка; 3 - нижня основа; 4 - випробувальний зразок

Швидкість руху пуансона в процесі деформування зразка повинна становити: $(0.75 \pm 0.10) \cdot 10^{-2}$ м / с - в статичному режимі та (2.0 ± 0.2) м / с - в динамічному режимі.

Охолоджуючим середовищем в морозильній камері може бути повітря, а також інші гази і рідкі суміші (наприклад, етиловий спирт з твердим двоокисом вуглецю). Середовище не повинно бути агресивним по відношенню до випробуваної пластмаси.

Температура газового випробувального середовища підтримується з похибкою до $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$ при температурах до мінус 80°C і з похибкою до $\pm 3^{\circ}\text{C}$ при більш низьких температурах. Температура рідкої випробувальної середовища підтримується з похибкою до $\pm 1^{\circ}\text{C}$.

Вимірювач температури випробувального середовища повинен мати ціну поділки 1°C . При вимірюванні температури кулька термометра або робоча частина термопар повинні знаходитися поблизу місця розташування випробуваних зразків.

Вимоги до зразків. Зразки для випробувань повинні мати форму смужки довжиною (40 ± 1) мм, шириною (6 ± 0.5) мм, товщиною (0.5 ± 0.05) мм.

Кондиціонування. Зразки перед випробуваннями слід витримувати за ГОСТ 12423-66 при температурі $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ і відносній вологості $(50 \pm 5)\%$.

Проведення випробування.

Варіант А (повний). Температуру випробувального середовища в морозильній камері доводять до величини, близької до очікуваної температури крихкості випробуваної пластмаси.

Зразки закріплюють затискувачами і поміщають в випробувальне середовище, де їх витримують при заданій температурі. Час витримки зразків в газовому середовищі має становити (5 ± 1) хв, в рідкому середовищі (2 ± 1) хв, відраховуючи від моменту встановлення заданої температури.

Після зазначеної витримки зразки в випробувальному середовищі за допомогою пуансона піддають деформації, виймають з камери і оглядають.

Якщо у зразку не виявлені явні ознаки руйнування (поділ на частини, великі тріщини), то його вручну здавлюють таким же чином, як це відбувалося в процесі випробування, і неозброєним оком оглядають поверхню зразка в місці перегину. При виявленні на поверхні зразка тріщини або будь-якого іншого ушкодження зразок вважають зруйнованим.

При кожній заданій температурі випробують не менше 10 зразків. Після їх огляду визначають кількість зруйнованих зразків у відсотках до числа випробуваних.

Варіанти Б і В (неповні). Випробування проводять, як передбачено у варіанті А, але при одній температурі, що встановлена в стандартах і технічних умовах на пластмаси.

За варіантом Б пластмаса вважається такою, що витримала випробування, якщо зруйнувалося не більше 5 з 10 випробуваних зразків.

За варіантом В пластмаса вважається такою, що витримала випробування, якщо не зруйнувався жоден з 5 випробуваних зразків.

Обробка результатів. Нижчеописаним способом визначають температуру крихкості пластмас за результатами випробувань, що одержані методом удару (ГОСТ 16782-92) та методом здавлювання петлі (ГОСТ 16783-71, варіант випробування А).

Результати обробляють аналітичним або графічним способами.

При аналітичному способі обробки результатів випробувань температуру крихкості в $^{\circ}\text{C}$ обчислюють за формулою:

$$T_{\text{кр}} = T' + \Delta T \cdot (S / 100 - 0.5), \quad (3.1)$$

де T' - найвища температура, при якій руйнуються всі зразки, $^{\circ}\text{C}$;

ΔT - обраний температурний інтервал між послідовними випробуваннями, $^{\circ}\text{K}$;

$S = (N_T / N_{\text{ЗАГ}}) \cdot 100\%$ - відсоток зразків, що зруйнувалися при кожній температурі (від температури, що відповідає відсутності руйнування, до температури T' включно);

N_T - число зразків, що зруйнувалися при температурі T ;

$N_{\text{ЗАГ}}$ - загальне число зразків, випробуваних при температурі T .

При графічному способі обробки результатів випробувань будують графік залежності відсотку зруйнованих зразків від температури.

Графік будують на координатній сітці (рис. 3.6), вісь абсцис якої має нерівномірну шкалу абсцис, що дає можливість представити графік у вигляді прямої лінії.

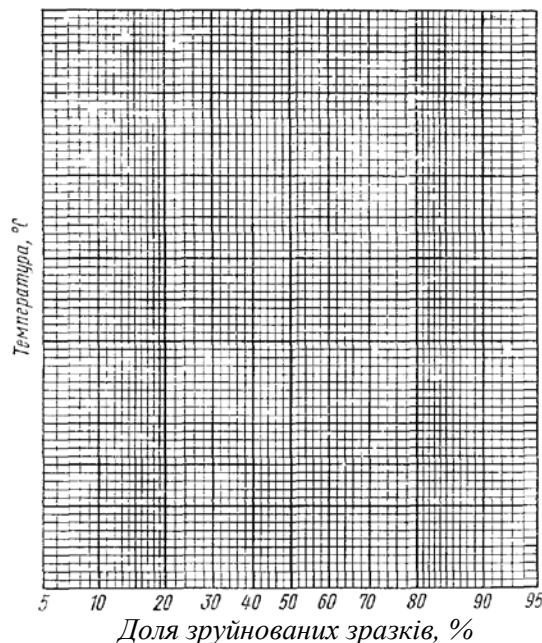


Рис. 3.6. Координатна сітка для графічної обробки результатів випробувань

По осі ординат відкладають температуру дослідів, а по осі абсцис - відсоток зруйнованих зразків. На отриманій прямій знаходять точку, абсциса якої дорівнює 50%; ордината її, значення якої округлюють до 1°C , є шуканої температурою крихкості.

Приклад обробки результатів випробувань

При випробуванні зразків пластмаси одержані такі результати:

Температура випробування, °С	Зруйновані зразки		Незруйновані зразки, шт
	шт	%	
-6	0	0	10
-8	3	30	7
-10	4	40	6
-12	8	80	2
-14	9	90	1
-16	10	100	0
-18	10	100	0

а) аналітичний спосіб

Застосовуючи формулу (3.1), одержуємо:

$$T' = -16^{\circ}\text{C}; \quad \Delta T = 2^{\circ}\text{C}; \quad S = 30 + 40 + 80 + 90 + 100 = 340\%;$$

$$T_{KP} = -16 + 2 (340 / 100 - 0.5) = -10.2 \approx \underline{\underline{-10^{\circ}\text{C}}}.$$

б) графічний спосіб

За результатами випробувань будують графік (рис. 3.7). Далі за графіком згідно вищенаведеного методу знаходять температуру, що відповідає руйнуванню 50% зразків. В данном случає $T_{KP} = -9.9 \approx \underline{\underline{-10^{\circ}\text{C}}}$.

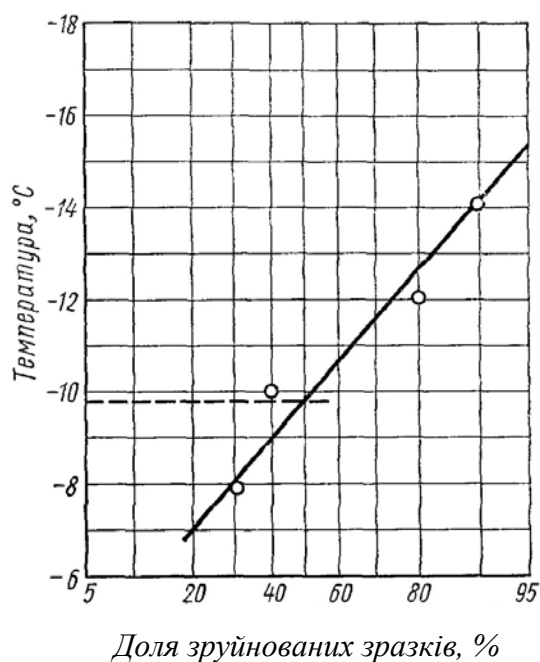


Рис. 3.7. Координатна сітка для графічної обробки результатів випробувань

Метод випробування ударним навантаженням на холоді виробів з полівінілхлориду

Стандарт ДСТУ Б В.2.6-15-99 [14] поширюється на вироби, які виготовлені з жорсткого полівінілхлориду (ПВХ). Виріб вважається таким, що пройшов випробування, якщо при визначенні опору ударним навантаженням на холоді (-15°C) число зруйнованих зразків не перевищує 10% від загальної кількості випробуваних зразків.

Вимоги до зразків. Відбирають 10 однакових зразків ПВХ завдовжки 300 ± 5 мм. Поверхня зразків повинна бути рівною і гладкою, без раковин, тріщин, сторонніх включень та інших видимих дефектів.

Апаратура та устаткування. Випробування проводять на установці схема якої наведена на **рис. 3.8**. Направляючі установки повинні мати заокруглену поверхню яка дозволяє вільне, з мінімальною силою тертя, переміщення копра (ударного бойка); опора копра повинна мати масу не менше 50 кг, маса копра (ударного бойка) повинна бути (1 ± 0.005) кг. Копер повинен мати напівсферичну ударну поверхню $R_{\text{сф}} = (25 \pm 0.5)$ мм, шорсткість поверхні бойка – не більше $R_a = 0.32$ мкм.

Підготовка до випробування. Перед випробуванням зразки вигримуються в морозильній камері протягом однієї години при температурі -15°C . Відхилення від заданої температури повинне складати не більше -2°C .

Проведення випробування. Зразок установлюється на упори таким чином, щоб боек під час удару потрапляв в центр однієї з камер профілю.

Копер установлюють на висоту (1500 ± 10) мм від поверхні зразка що випробовується, а потім здійснюють удар.

Після випробувань зразки оцінюють візуально. Пошкодження (тріщини, відшарування та інші дефекти) можуть отримати не більше 10% зразків що випробовуються.

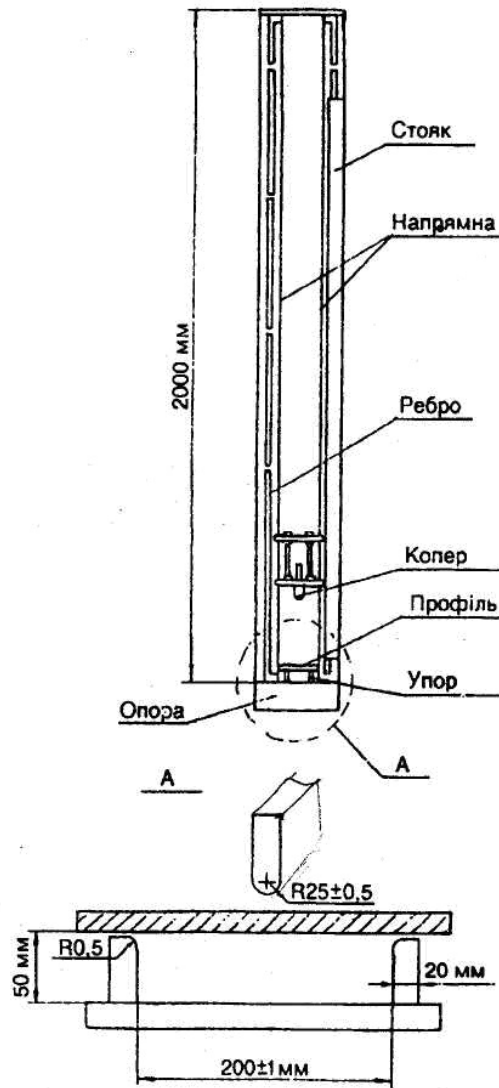


Рис. 3.8. Схема установки для перевірки виробу з ПВХ на ударну міцність на холоді

Метод визначення температурної границі крихкості гуми

Метод, що пропонується в **ГОСТ 7912-74** [16], розповсюджується на гуму і встановлює порядок випробування гуми на крихкість при згині. Сутність методу полягає у визначенні температурної границі крихкості гуми – самої низької температури, при якій гума в умовах випробування не руйнується.

Вимоги до зразків. Для випробування застосовують зразки типів А або Б у вигляді смужок, виготовлених із пластин товщиною (2 ± 0.2) мм вирубним ножом. Ширина зразків обох типів 6.0 ± 0.5 . Довжина зразка типу А дорівнює 25^{+1} мм, типу Б - 45_{-1} мм.

Примітка:

1. Якщо в нормативно-технічній документації по гумі, гумових виробів і методах їх випробувань нема вказівок про тип зразків, випробування проводять на зразку типу А.

2. Допускається випробування зразків, виготовлених з гумових виробів, при цьому спосіб виготовлення зразків, місце на гумових виробів, при цьому способі виготовлення зразків, місце на виробі, звідки вирізається зразок, і інші відомості приводять в нормативно-технічній документації на гумові вироби і методи їх випробування.

Зразки вирубують так, щоб напрям їх повздовжньої осі співпадав з напрямком вальцювання. Кількість зразків при кожній температурі випробування повинна дорівнювати чотирьом.

Апаратура і матеріали. Випробування проводять за допомогою приладу, до складу якого входять:

- ударник для згину зразків;
- затискувач для консольного закріплення не менше чотирьох зразків;
- морозильна камера з рідким середовищем, обладнана пристроєм для перемішування середовища і забезпечуючи охолодження зразків в середовищі до температури випробування, витримку і випробування їх при цій температурі.

Швидкість руху ударника при згині зразка має складати (2 ± 0.2) м/с. Основні розміри і взаємне розташування затиску, ударника і зразка перед згином наведені на (рис. 3.9).

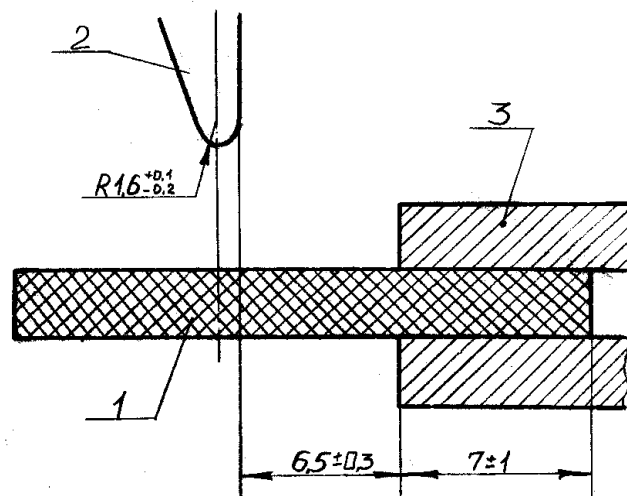


Рис. 3.9. Схема навантаження зразка для вимірювання температури крихкості гуми: 1 - зразок гуми; 2 - ударник для згину зразка; 3 - затискувач

Погрішність приладу вимірювання температури середовища на повинна перевищувати $\pm 1^{\circ}\text{C}$ при температурах до мінус 40°C та $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$ – при температурах від мінус 41°C до мінус 80°C . Для вимірювань часу випробувань використовують секундомір або інші прилади з погрішністю вимірювання не більше ± 5 с.

Проведення випробування. Температуру охолодження середовища доводять до значення величини, близької до очікуваної температури крихкості випробувальної гуми. Частина приладу, призначену для встановлення зразків, занурюють в криокамеру і витримують при температурі випробування не менше 10 хв. Закріплюють в затискачі чотири зразки і занурюють в охолоджену до температури випробування камеру. Зразки витримують протягом (3 ± 0.5) хв., починаючи з моменту встановлення заданої температури.

По закінченні цього часу по зразках, що знаходяться в камері, здійснюють ударником один удар. Повертають ударник в початкове положення, затискач із зразком витягають з камери, зразки виймають із затискача та оглядають кожен зразок.

Зразок вважають зруйнованим при наявності хоча б одного з наступних ознак руйнування: розділення зразка на частини, наявність одної або кількох тріщин, розщеплення, викришування.

Випробування починають з температури, при якій очікується руйнування гуми, а якщо ця температура не відома навіть орієнтовно, її підбирають. Підвищуючи температуру з інтервалом 10°C , проводять випробування до температури, при якій гума не руйнується. Потім температуру понижують на 8°C , проводять випробування при цій температурі і у випадку руйнування гуми підвищують температуру з інтервалом 2°C . Проводять випробування до тих пір, доки не буде встановлена температура, при якій гума не руйнується.

Ця температура, являється самою низькою температурою, при якій не проходить руйнування, являє собою температурну границю крихкості резини.

Приклад визначення температурної границі крихкості гуми.

При температурі мінус 70°C гума зруйнувалася. Підвищують температуру на 10°C , встановлюючи її рівною мінус 60°C , і проводять випробування. При цій температурі також встановлено руйнування гуми. Знову підвищують те-

мпературу на 10°C , встановлюючи її рівною мінус 50°C , і проводять випробування. При цій температурі гума не зруйнувалася.

Знижують температуру на 8°C , встановлюючи її рівною мінус 58°C , і проводять випробування. При цій температурі гума зруйнувалася.

Підвищують температуру на 2°C , встановлюючи її рівною мінус 56°C , і проводять випробування. При цій температурі гума зруйнувалася. Знову підвищують температуру на 2°C , встановлюючи її рівною мінус 54°C . При цій температурі гума не зруйнувалася. **Температурна границя крихкості гуми дорівнює мінус 54°C .**

Приклад визначення температурної границі крихкості на відповідність вимогам нормативно-технічної документації.

У нормативно-технічної документації на гуми або гумові вироби зазначено, що температурний межа крихкості гуми повинна бути не вище мінус 50°C . У цьому випадку випробування проводять при температурі мінус 50°C . Якщо жоден з чотирьох зразків не зруйнувався, це означає, що температурний межа крихкості гуми не вище мінус 50°C . Якщо хоча б один зразок зруйнувався, це означає, що температурний межа крихкості випробуваної гуми вище мінус 50°C .

Метод визначення морозостійкості гуми за еластичним відновленням після стиску

Метод, що описаний в ГОСТ 13808-79 [21], розповсюджується на гуму і встановлює порядок визначення її морозостійкості по еластичному відновленню після стиску. Суть методу полягає у визначенні здатності зразка, стисненого при температурі $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ і витриманого при низькій температурі, відновлювати свою висоту при низькій температурі після звільнення від навантаження.

Вимоги до зразків. Зразки для випробувань повинні мати форму циліндра висотою (10 ± 0.2) мм.

Апаратура і матеріали.

Прилад для випробування складається з таких частин: опорні і стискаючі площадки (рис. 3.10); пристрій для вимірювання висоти зразка; пристрій

для навантаження і розвантаження зразка; кріостат та засіб вимірювання температури.

Прилад для випробування повинен забезпечувати:

- вимірювання висоти зразка з похибкою вимірювань не більше 0.05 мм;
- стиснення зразка до встановленої деформації за час не більше 30 с;
- звільнення зразка від навантаження за час не більше 30 с, відновлення і вимір його висоти при температурі випробування;
- розміри площадок, щоб стислий зразок не виступав за межі майданчиків;
- витримку зразка в процесі випробування в рідкому середовищі при температурі від 0 до мінус 70⁰С з перемішуванням рідини в кріостаті.

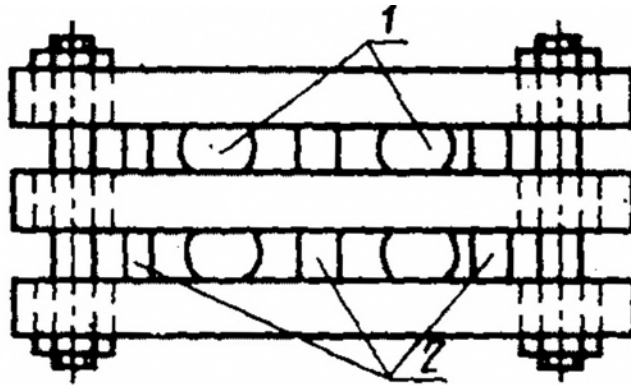


Рис. 3.10. Струбцина для стискування зразків: 1 - зразки; 2 - обмежувачі

Похибка засобів вимірювання температури середовища в кріостаті не повинна перевищувати $\pm 1^{\circ}\text{C}$ при температурі до мінус 40⁰С та $\pm 1,5^{\circ}\text{C}$ - при температурах від мінус 41⁰С до мінус 70⁰С. Для вимірювань часу випробувань використовують секундомір або інші прилади з погрішністю вимірювання не більше ± 5 с.

Підготовка до випробування. Перевіряють установку нуля вимірювача висоти зразків. Вимірювач висоти повинен встановлюватися на нуль в положення, коли опорний і стискаючий майданчики стикаються між собою, або показують з похибкою не більше 0,03 мм висоту калібру, встановленого між майданчиками.

Проведення випробування. Кріостат охолоджують до температури випробування. Частина приладу з опорним стискаючим майданчиками занурюють в кріостат і витримують при температурі випробування не менше 10 хв, потім виймають з кріостату і витирають опору, що стискає майданчики, і прилеглі до них частини приладу.

Зразок розміщують між опорним і стискаючим майданчиками охолодженого приладу і вимірюють його первісну висоту h_0 .

Випробування проводять при деформації стиску зразка $(20 \pm 2)\%$ від висоті стисненого зразка h_1 . Зразок стискають до висоти h_1 , потім частину приладу зі стисненим зразком занурюють в кріостат, підготовлений до роботи, і після досягнення в ньому заданої температури випробування витримують при цій температурі 5 ± 0.5 хв.

Після закінчення зазначеного часу зразок звільняють від навантаження, не виймаючи його з кріостату. Звільнений від навантаження зразок витримують в кріостаті при температурі випробування протягом 3 ± 0.25 хв, потім в цих же умовах вимірюють висоту зразка h_2 .

Обробка результатів

Коефіцієнт морозостійкості по еластичному відновленню після стиску (K_B) обчислюють за формулою:

$$K = \frac{h_1 - h_2}{h_0 - h_1}, \quad \text{де } h_0 - \text{висота зразка до стиснення, мм; } h_1 - \text{висота стисну-$$

того зразка, мм; h_2 - висота зразка після відновлення, мм.

За результат випробування приймають середнє арифметичне показників всіх випробуваних зразків, округлене до другого десяткового знака.

Застосування методу рекомендується при K_B не менше 0.20.

3.4. Лабораторна робота № 4.4

Визначення температури крихкості конструкційних пластмас та гум

Мета роботи:

- ознайомитись с методикою випробувань пластмас та гум при знижених температурах;
- визначити температуру крихкості ряду конструкційних пластмас та гум.

Прилади та обладнання:

1. морозильна камера;
2. двоокис вуглецю (сухий лід);
2. пристрій для деформування зразків при знижених температурах;
3. штангенциркуль з ціною поділки 0.05 мм;
4. мікроскоп МПБ-2 для обстеження поверхонь зразків після випробування.

Досліджувані матеріали:

- конструкційні пластмаси різних класів та марок;
- технічні гуми.

Зразки (тип та розміри):

Для випробувань застосовують зразки у вигляді смужок згідно ГОСТ 16782-92, ГОСТ 16783-71 або ГОСТ 7912-74. Перед дослідженнями вимірюють товщину й ширину зразків і обчислюють площу поперечного перерізу.

Методика проведення випробувань:

1. Температуру випробувального середовища в морозильній камері довести до заданої величини;
2. Зразки помістити в випробувальне середовище та витримати їх при заданій температурі протягом (5 ± 1) хв.
3. Протягом не більше 5 с встановити зразок у пристрій для деформування зразків при знижених температурах та за допомогою пуансона провести деформування зразка на кут 90^0 та оглянути зразок.
4. Якщо у зразку не виявлені явні ознаки руйнування (поділ на частини, великі тріщини), то його вручну здавлюють таким же чином, як це відбувалося

в процесі випробування, і оглядають поверхню зразка в місці перегину. При виявленні на поверхні зразка тріщини або будь-якого іншого ушкодження зразок вважають зруйнованим.

Результати обстеження зразків заносять у таблицю:

Табл. 4.4. Результати обстеження зразків після охолодження та згину на 90°

Матеріал	Температура	Ознаки руйнування та стан поверхонь зразків

Завдання:

- зробити висновок про можливість використання випробуваного матеріалу при зниженій температурі;

- пояснити причини втрати здатності до великих деформацій випробуваних матеріалів при знижених температурах;

- за результатами, отриманими в лабораторних роботах 4.3 та 4.4, встановити температурні області безпечної експлуатації даного матеріалу.

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

Додаткові дані про випробувані матеріали (з довідників):

Висновки по роботі:

Випробування виконані _____ 201__ р

Література

1. Джур Є.О. **Полімерні матеріали в ракетно - космічній техніці**: Підручник: – К.: Вища освіта, 2003.
2. Карпинос Д.М., Олейник В.И. **Полимеры и композиционные материалы на их основе в технике**. – К.: Наукова думка, 1987.
3. Кулезнев В.Н. Шершнеv В.А. **Химия и физика полимеров**. – М.: Высшая школа, 2003.
4. Нарисава И. **Прочность полимерных материалов**. – М.: Химия, 1987.
5. Билибин А.Ю. **Функциональные свойства полимеров**: Учеб. пособие. – СПб.: Изд-во СПб. ун-та, 1998.
6. Шидловський М.С. **Нові матеріали** [Електронний ресурс]: методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів спеціальності «Динаміка і міцність машин» / НТУУ «КПІ». – К.: НТУУ «КПІ», 2009. –53с.
– Доступ: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/125>
7. Шидловський М.С., Шпак Д.Ю. **Нові матеріали. Частина 1: «Міцність і деформування полімерних та композиційних матеріалів при короткочасному навантаженні»** [Електронний ресурс]: практикум до лабораторних робіт для студентів спеціальності «Динаміка і міцність машин» / – К.: НТУУ «КПІ», 2009. –37с.
– Доступ: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/123>
8. Шидловський М.С., Шпак Д.Ю. **Нові матеріали. Частина 2: «В'язкопружні властивості полімерних та композиційних матеріалів при тривалому навантаженні»** [Електронний ресурс]: практикум до лабораторних робіт для студентів спеціальності «Динаміка і міцність машин» / – К.: НТУУ «КПІ», 2009. –45с.
– Доступ: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/124>
9. Шидловський М.С., Бабенко А. Є., Боронко О. О., Трубачев С. І. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «**Нові матеріали**» для студентів спеціальності «Динаміка і міцність машин» – **Частина 3. «Динамічні властивості конструкційних пластмас та композиційних матеріалів»**. Для студентів напрямку підготовки 6.050501 «Прикладна механіка» [Електронний ресурс] – К.: НТУУ «КПІ», 2016. – 41 с.
– Доступ: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/16260>
10. Шидловський М.С., Шпак Д.Ю. **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» – К.: НТУУ «КПІ», 2011. –36 с.
– Доступ: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/1541>

11. Шидловський М.С., Шпак Д.Ю., Тимошенко О.В. **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» / – К.: НТУУ «КПІ», 2012. –48 с. – Доступ: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/1542>
12. Шидловський М.С., Боронко О.О., Шпак Д.Ю. **Методи досліджень механічних властивостей матеріалів та виробів динамічними методами** [Електронний ресурс]: практичний посібник для студентів напрямку підготовки 6.050501 «Прикладна механіка» / НТУУ «КПІ» – К.: НТУУ «КПІ», 2014. – 81 с. Доступ : <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/7794>
13. ДСТУ 3021-95 «**Випробування і контроль якості продукції. Терміни і визначення**»
14. ДСТУ Б В.2.6-15-99 «**Конструкції будинків і споруд. Вікна та двері полівинілхлоридні. Загальні технічні умови**»
15. ГОСТ 166-89 «**Штангенциркули. Технические условия**»
16. ГОСТ 7912-74 «**Резина. Метод определения температурного предела хрупкости**»
17. ГОСТ 11529-86 «**Материалы поливинилхлоридные для полов. Методы контроля**»
18. ГОСТ 12020-72 «**Пластмассы. Метод определения стойкости к действию химических сред**»
19. ГОСТ 12021-84 «**Пластмассы и эбонит. Метод определения температуры изгиба под нагрузкой**»
20. ГОСТ 12423-2013 (ISO 291:2008) «**Пластмассы. условия кондиционирования и испытания образцов (проб)**»
21. ГОСТ 13808-79 «**Резина. Метод определения морозостойкости по эластическому восстановлению после сжатия**»
22. ГОСТ 14359-69 «**Пластмассы. Методы механических испытаний. Общие требования**»
23. ГОСТ 15088-2014 «**Пластмассы. Метод определения температуры размягчения термопластов по Вика**»
24. ГОСТ 15173-70 «**Метод определения среднего коэффициента линейного температурного расширения**»
25. ГОСТ 16782-92 «**Пластмассы. Метод определения температуры хрупкости при ударе**»
26. ГОСТ 16783-71 «**Пластмассы. Метод определения температуры хрупкости при сдавливании образца, сложенного петлей**»

27. ГОСТ 18616-80 «Пластмассы. Метод определения усадки»
28. ГОСТ 19111-77 «Изделия погонажные профильные поливинилхлоридные. Технические условия»
29. ГОСТ 25951-83 «Пленка полиэтиленовая термоусадочная. Технические условия»
30. ГОСТ 27078-86 «Трубы из термопластов. Методы определения изменения длины труб после прогрева»