

УДК 681.5.08

В.П. СВИДЕРСЬКИЙ, В.С. ЯРЕМЧУК, А.В. ФУРМАН
Хмельницький національний університет**СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ЛІНІЙНОГО ТЕПЛООВОГО РОЗШИРЕННЯ ПОЛІМЕРНИХ ТВЕРДИХ ТІЛ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ***Удосконалено спосіб визначення коефіцієнта лінійного теплового розширення полімерних твердих тіл.**Ключові слова: теплове розширення, ущільнення компресора, деталі клапана, точність досліджень, полімерні тверді тіла.*V.P. SVIDERSKYI, V.S. YAREMCHUK, A.V. FURMAN
Khmelnytsky National University**THE DETERMINING METHOD OF THE COEFFICIENT OF LINEAR THERMAL EXPANSION OF POLYMER SOLIDS OF SPECIAL FUNCTION**

The determining method of the coefficient of linear thermal expansion of expensive heat-resistant polymer solids was improved in the article. The accuracy of the research of the coefficient of linear thermal expansion of heat-resistant polymer materials is rather high and it equals 1.17–2.05 %. The objective of this work was the extension of functionality for research of the coefficient of linear thermal expansion of expensive heat-resistant composite materials. The authors analysed the device for determination of coefficient of linear thermal expansion of non-metallic solids.

Key words: thermal expansion, compressor compaction, valve components, accuracy of research, polymeric solids.

Вступ. Полімерні матеріали при нагріванні в порівнянні з металами і сплавами більш суттєво розширюються. Це призводить до виникнення значних механічних напруг, які необхідно враховувати при застосуванні полімерів в техніці.

Так, при застосуванні ущільнюючих елементів, деталей клапанів з полімерних матеріалів в компресорах без змащення необхідно детально розраховувати теплові зазори в місцях спряження. В іншому випадку при роботі компресора ущільнення, деталі клапанів в результаті теплового розширення можуть вийти з ладу [1, 2].

Величину напруження (σ), що виникає в результаті розширення затиснутого зразка полімерного матеріалу можна визначити за формулою [3]:

$$\sigma = M \cdot \beta \cdot \alpha \cdot \tau_{PO}, \quad (1)$$

де M – модуль пружності матеріалу; β – швидкість зростання температури; α – коефіцієнт лінійного теплового розширення (КЛТР); τ_{PO} – передекспоненціальний множник у рівнянні температурної залежності часу релаксації напруження.

Стійкість же до фрикційного або будь-якого іншого теплового удару матеріалу можна оцінити за допомогою коефіцієнта:

$$K = \delta \cdot \frac{\lambda}{\alpha}, \quad (2)$$

де δ – критерій зносостійкості, що дорівнює відношенню міцності до модуля пружності або твердості; λ – коефіцієнт теплопровідності.

Нами удосконалена установка і спосіб визначення коефіцієнта лінійного теплового розширення металевих і неметалевих твердих тіл [4–6].

Однак спосіб визначення коефіцієнта лінійного розширення розроблений нами раніше [6] має такий недолік: для вимірювання коефіцієнта лінійного теплового розширення використовують стрижні з досить великою довжиною 160 мм. Виготовлення ж таких зразків з термостійких дороговартісних полімерних композиційних матеріалів на основі політетрафторетилену, ароматичного поліаміду, поліфенілхіноксаліну, поліарілату, ароматичного полііміду і т.ін., що мають в 5–8 разів більший КЛТР ніж металів, не завжди можна реалізувати через їх технологічні особливості [7–9].

Мета роботи: розробити спосіб для визначення коефіцієнта лінійного розширення з достатньо високою точністю дороговартісних термостійких полімерних матеріалів.

Основний розділ. Завданням роботи є розширення функціональних можливостей для дослідження КЛТР дороговартісних термостійких композиційних матеріалів. Це вирішується тим, що за цим способом застосовують зразки діаметром 5 мм і довжиною 20 мм, що встановлюються сферичним кінцем униз в скляну пробірку, а зверху на цей зразок розташовується скляний циліндричний стрижень такого ж діаметра довжиною 140 мм. Далі вимірюють зміну довжини такого комбінованого зразка під час нагріву до 100 °С в порівнянні з лінійним тепловим розширенням скляного зразка діаметром 5 мм і довжиною 160 мм.

Визначення коефіцієнта лінійного теплового розширення за цим способом виконується з достатньо

високою точністю для полімерних твердих тіл (рис. 1).

Твердотільний комбінований зразок, що складається з досліджуваного стрижня 8 довжиною 20 мм, сферичним кінцем донизу і зверху розташованого скляного стрижня 7 довжиною 140 мм, які розміщені у скляній пробірці 5, нагрівають в охолоджувальній рідині “Тосол А-40” (з температурою кипіння 120 °С) до температури 100 °С. Після цього, за допомогою пристрою для термостатування DigiCOP 17, з термопарою 18, такий комбінований зразок витримують при цій температурі протягом п’яти хвилин. Зміну довжини нагрітого комбінованого зразка порівняно з його початковою довжиною (при кімнатній температурі) вимірюють за допомогою важільно-зубчастої головки 2МИГ з ціною поділки 0,002 мм і діапазоном вимірювань 0–2 мм, з рухомим штоком 13, що може переміщатися у вертикальній площині. Окремо виконують такі ж дослідження для скляного зразка довжиною 160 мм.

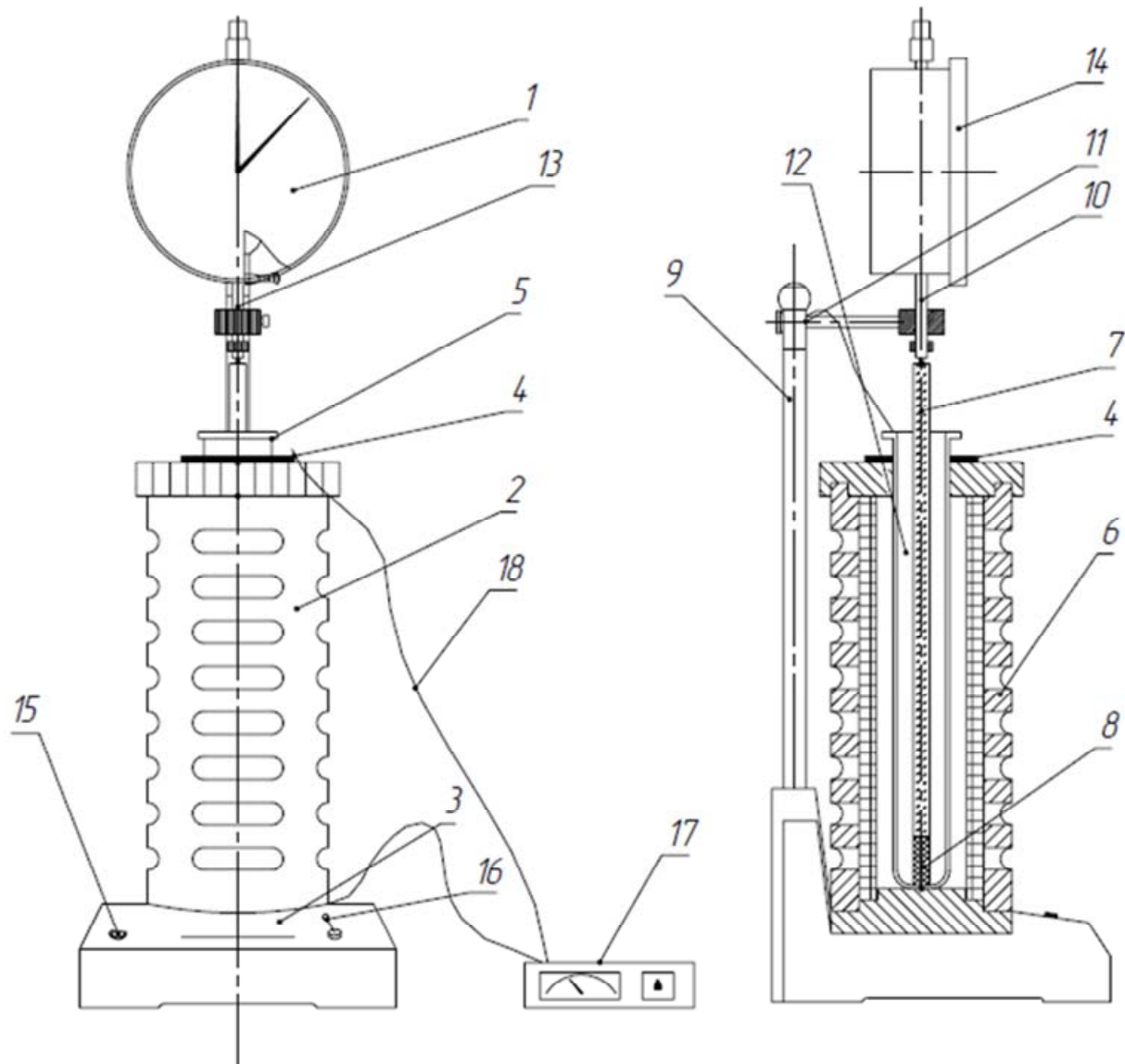


Рис. 1. Установка для визначення коефіцієнта лінійного теплового розширення неметалевих твердих тіл:

- 1 – важільно-зубчаста головка; 2 – захисний кожух; 3 – корпус; 4 – прокладка; 5 – пробірка; 6 – нагрівач;
7 – скляний стрижень довжиною 140 мм; 8 – досліджуваний стрижень довжиною 20 мм; 9 – стійка; 10 – кронштейн;
11 – гвинт; 12 – кришка; 13 – шток; 14 – рухома поворотна шкала; 15 – індикаторна лампа; 16 – кнопка вимикача;
17 – термостатуючий пристрій; 18 – термopapa

Проведення експерименту. 1. У пробірки з комплекту приладу опускають у кожну з них досліджуваний стрижень діаметром 5 мм і довжиною 20 мм, сферичним кінцем донизу, зверху на цей зразок встановлюють скляний стрижень такого ж діаметра довжиною 140 мм і наповнюють рідиною для охолодження “Тосол А-40” на 4/5 її об’єму (за кімнатної температури), після чого лабораторним термометром вимірюють температуру цієї рідини t_1 .

2. У кронштейн 10 встановлюють важільно-зубчасту головку 2МИГ і повертають її на чверть обороту в бік, до упору. Пробірку з досліджуваним комбінованим стрижнем через гумову прокладку 4 та отвір у кришці приладу 12 вносять у нагрівач. Після цього встановлюють у пробірку термopapa 18.

3. Відтягують шток важільно-зубчастої головки і встановлюють її над пробіркою, повертаючи кронштейн до упору в протилежному напрямі. Опускають шток у заглиблення на торці стрижня, фіксуючи кронштейн гвинтом.

4. За допомогою рухомої поворотної шкали важільно-зубчастої головки 14, встановлюють стрілку на нульову поділку. Після цього вмикають прилад в електромережу (світиться індикаторна лампа 15).

5. Зміну довжини комбінованого зразка ΔL визначають за відхиленням стрілки важільно-зубчастої головки від початкового положення, після термостатування зразка при температурі 100 °С протягом п'яти хвилин. Для більш правильного визначення коефіцієнта лінійного теплового розширення ($\bar{\alpha}$) виконують 3–5 відліків з точністю до половини ціни поділки шкали важільно-зубчастої головки 2МИГ (1 мкм).

6. Кнопкою вимикача 16 вимикають живлення приладу, виймають нагріту пробірку із зразком. Повторюють операції пп. 1–5 для скляного зразка діаметром 5 мм і довжиною 160 мм, а результати вимірювань заносять до таблиці.

Обробка результатів

1. Після закінчення роботи з приладом визначають чисельне значення коефіцієнта лінійного теплового розширення спочатку скляного зразка за формулою:

$$\alpha_i = \frac{L_2 - L_1}{L_1(t_2 - t_1)} = \frac{\Delta L}{L_1(t_2 - t_1)}, \quad (3)$$

де t_1 та t_2 – початкова та кінцева температура тіла, °С; L_1 та L_2 – довжина тіла, що відповідає цим температурам, мм; ΔL – зміна довжини тіла, мм.

2. Визначають вибіркове середнє значення коефіцієнта лінійного теплового розширення скляного зразка:

$$\bar{\alpha} = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i}{n}, \quad (4)$$

де α_i – коефіцієнт лінійного теплового розширення за даними одного заміру; n – кількість замірів.

3. Визначають середню зміну довжини ΔL_c скляного зразка ($L = 140$ мм):

$$\Delta L_c = L_1(t_2 - t_1)\alpha. \quad (5)$$

4. Віднімаємо від зміни довжини комбінованого зразка ΔL середню зміну довжини ΔL_c скляного зразка довжиною 140 мм знаходимо зміну довжини досліджуваного стрижня діаметром 5 мм і довжиною 20 мм:

$$\Delta L_3 = \Delta L - \Delta L_c \quad (6)$$

5. Визначають чисельне значення коефіцієнта лінійного теплового розширення досліджуваного стрижня за формулою (3).

6. Визначають вибіркове середнє значення коефіцієнта лінійного теплового розширення досліджуваного стрижня:

$$\bar{\alpha} = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i}{n}.$$

7. Знаходять вибіркиму дисперсію і середнє квадратичне відхилення коефіцієнта лінійного теплового розширення:

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (\alpha_i - \bar{\alpha})^2, \quad (7)$$

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2}. \quad (8)$$

8. Визначають вибірковий коефіцієнт варіації:

$$\gamma = \frac{\sigma}{\bar{\alpha}} \cdot 100 \%. \quad (9)$$

Приклад визначення коефіцієнта лінійного теплового розширення полімерного термостійкого композиційного матеріалу Ф4ВВ20 [7]. Комбінований зразок, що складається з досліджуваного стрижня матеріалу Ф4ВВ20 довжиною 20 мм, сферичним кінцем донизу і зверху розташованого скляного стрижня довжиною 140 мм, які розміщені у скляній пробірці на 4/5 наповнену рідиною “Тосол А-40”, при температурі $t_1 = 20$ °С, нагрівають до температури 100 °С. Дослідження також виконують для скляного зразка довжиною 160 мм. Результати п'яти дослідів наведені у таблиці 1.

Таблиця 1

Експериментальні та розрахункові дані

№ з/п	ΔL_{ic} , мм, скляний зразок, $L_0 = 160$ мм	$\alpha_{ic} \times 10^{-6}$, K^{-1} , скляний зразок	$\bar{\alpha}_{\bar{n}}, \times 10^{-6}$, K^{-1} , скляний зразок	ΔL_{ic} , мм, скляний зразок, $L_0 = 140$ мм	ΔL_{ik} , мм, комбінований зразок, $L_0 = 160$ мм	ΔL_{iz} , мм, досліджуваний зразок, $L_0 = 20$ мм	$\alpha_{iz} \times 10^{-6}$, K^{-1} , досліджуваний зразок	$\bar{\alpha}_{\zeta}, \times 10^{-6}$, K^{-1} , досліджуваний зразок	Коефіцієнт варіації γ , %
1	0,106	8,3	8,5	0,095	0,201	0,106	66,3	67,0	1,17
2	0,111	8,7			0,203	0,108	67,5		
3	0,108	8,4			0,201	0,106	66,3		
4	0,109	8,5			0,202	0,107	66,9		
5	0,110	8,6			0,204	0,109	68,1		

Приклад визначення коефіцієнта лінійного теплового розширення полімерного термостійкого матеріалу ароматичний поліамід Фенілон С-2 [8]. Комбінований зразок, що складається з досліджуваного стрижня матеріалу ароматичного поліаміду Фенілон С-2 довжиною 20 мм, сферичним кінцем донизу і зверху розташованого скляного стрижня довжиною 140 мм, які розміщені у скляній пробірці на 4/5 наповнену рідиною “Тосол А-40”, при температурі $t_1 = 20$ °С, нагрівають до температури 100 °С. Дослідження також виконують для скляного зразка довжиною 160 мм. Результати п’яти дослідів наведені у таблиці 2.

Таблиця 2

Експериментальні та розрахункові дані

№ з/п	ΔL_{ic} , мм, скляний зразок, $L_0 = 160$ мм	$\alpha_{ic} \times 10^{-6}$, $1/K$, скляний зразок	$\bar{\alpha}_{\bar{n}}, \times 10^{-6}$, K^{-1} , скляний зразок	ΔL_{ic} , мм, скляний зразок, $L_0 = 140$ мм	ΔL_{ik} , мм, комбінований зразок, $L_0 = 160$ мм	ΔL_{iz} , мм, досліджуваний зразок, $L_0 = 20$ мм	$\alpha_{iz} \times 10^{-6}$, K^{-1} , досліджуваний зразок	$\bar{\alpha}_{\zeta}, \times 10^{-6}$, K^{-1} , досліджуваний зразок	Коефіцієнт варіації γ , %
1	0,106	8,3	8,5	0,095	0,152	0,057	35,6	36,5	2,05
2	0,111	8,7			0,155	0,06	37,5		
3	0,108	8,4			0,153	0,058	36,3		
4	0,109	8,5			0,154	0,059	36,9		
5	0,110	8,6			0,153	0,058	36,3		

Приклад визначення коефіцієнта лінійного теплового розширення полімерного термостійкого матеріалу ароматичний поліамід ПМ-69 [9]. Комбінований зразок, що складається з досліджуваного стрижня матеріалу ароматичного поліаміду ПМ-69 довжиною 20 мм, сферичним кінцем донизу і зверху розташованого скляного стрижня довжиною 140 мм, які розміщені у скляній пробірці на 4/5 наповнену рідиною “Тосол А-40”, при температурі $t_1 = 20$ °С, нагрівають до температури 100 °С. Дослідження також виконують для скляного зразка довжиною 160 мм. Результати п’яти дослідів наведені у таблиці 3.

Таблиця 3

Експериментальні та розрахункові дані

№ з/п	ΔL_{ic} , мм, скляний зразок, $L_0 = 160$ мм	$\alpha_{ic} \times 10^{-6}$, $1/K$, скляний зразок	$\bar{\alpha}_{\bar{n}}, \times 10^{-6}$, K^{-1} , скляний зразок	ΔL_{ic} , мм, скляний зразок, $L_0 = 140$ мм	ΔL_{ik} , мм, комбінований зразок, $L_0 = 160$ мм	ΔL_{iz} , мм, досліджуваний зразок, $L_0 = 20$ мм	$\alpha_{iz} \times 10^{-6}$, K^{-1} , досліджуваний зразок	$\bar{\alpha}_{\zeta}, \times 10^{-6}$, K^{-1} , досліджуваний зразок	Коефіцієнт варіації γ , %
1	0,106	8,3	8,5	0,095	0,191	0,096	60,0	61,28	1,27
2	0,111	8,7			0,194	0,099	61,9		
3	0,108	8,4			0,193	0,098	61,3		
4	0,109	8,5			0,193	0,098	61,3		
5	0,110	8,6			0,194	0,099	61,9		

Отже, запропонований спосіб визначення коефіцієнта лінійного теплового розширення полімерних твердих тіл дає можливість виконувати їх дослідження в діапазоні $(30-80) \cdot 10^{-6} K^{-1}$ для зразків довжиною 20 мм, причому точність досліджень є досить високою: коефіцієнт варіації знаходиться в межах 1,17–2,05 %.

Висновки:

Удосконалено спосіб визначення коефіцієнта лінійного теплового розширення дороговартісних

термостійких полімерних матеріалів.

Точність виконаних досліджень коефіцієнта лінійного теплового розширення полімерних термостійких матеріалів є досить високою і складає 1,17–2,05 %.

Література

1. Фотин Б. С. Поршневые компрессоры / Б. С. Фотин, И. Б. Пирумов, И. К. Прилуцкий, П. И. Пластилин. – Москва : Машиностроение, Ленинград. отд-е, 1987. – 372 с.
2. Видякин Ю. А. Оппозитные компрессоры / Ю. А. Видякин, Е. Б. Доброклонский, Т. Ф. Кондратьева. – Москва : Машиностроение. 1979. – 280 с.
3. Слонимский Г. Л. Механическая работоспособность и теплостойкость полимеров / Г. Л. Слонимский, А. А. Аскадский // Механика полимеров. – 1972. – № 1. – С. 47–62.
4. Свідерський В. П. Удосконалення експериментальної установки для визначення коефіцієнта лінійного теплового розширення металевих і неметалевих твердих тіл / В. П. Свідерський, В. С. Яремчук, Ю. О. Захарчук // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2013. – № 3. – С. 281–285.
5. Пат. № 98835 Україна, МПК G01N25/16. Установка для визначення коефіцієнта лінійного теплового розширення твердих тіл / В. П. Свідерський, В. С. Яремчук ; заявник і патентовласник Хмельницький національний університет. – № u201412299 ; заявл. 14. 11.2014 ; опубл. 12.05.2015, Бюл. № 9. – 12 с.
6. Пат. № 98777 Україна, МПК G01N25/16. Спосіб визначення коефіцієнта лінійного теплового розширення твердих тіл / В. П. Свідерський, В. С. Яремчук ; заявник і патентовласник Хмельницький нац. університет. – № u201411517 ; заявл. 23.10.2014 ; опубл. 12.05.2015, Бюл. № 9. – 12 с.
7. Сиренко Г. А. Антифрикционные карбопластики / Г. А. Сиренко. – Киев : Техніка, 1985. – 195 с.
8. Термостойкие ароматические полиамиды / [Л. Б. Соколов, В. Д. Герасимов, В. М. Савинов, В. К. Беляков]. – Москва : Химия, 1975. – 256 с.
9. Полиимиды – класс термостойких полимеров / М. И. Бессонов, М. М. Котон, В. В. Кудрявцев, Л. А. Лайус. – Ленинград : Наука, 1983. – 328 с.
10. Яремчук В. С. Спосіб вимірювання коефіцієнта лінійного теплового розширення / В. С. Яремчук, В. П. Свідерський // Повышение качества, надежности и долговечности технических систем и технологических процессов : сб. тр. XII Междунар. науч.-техн. конференции, 9–16 дек. 2014 г., Таба (Египет). – Хмельницкий : ХНУ, 2014. – С. 111–118.
11. Пат. № 112598 Україна, МПК G01N25/16. Спосіб визначення коефіцієнта лінійного теплового розширення неметалевих твердих тіл / В. П. Свідерський, В. С. Яремчук ; заявник і патентовласник Хмельницький нац. університет. – № u201605932 ; заявл. 01.06.2016 ; опубл. 26.12.2016, Бюл. № 24. – 12 с.

Рецензія/Peer review : 20.11.2016 р.

Надрукована/Printed : 23.4.2017 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Диха О. В.