



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA**

(11) **112598**

(13) **U**

(51) МПК

G01N 25/16 (2006.01)

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: **u 2016 05932**

(22) Дата подання заявки: **01.06.2016**

(24) Дата, з якої є чинними
права на корисну
модель: **26.12.2016**

(46) Публікація відомостей
про видачу патенту: **26.12.2016, Бюл.№ 24**

(72) Винахідник(и):

**Свідерський Владислав Петрович (UA),
Яремчук Василь Сергійович (UA)**

(73) Власник(и):

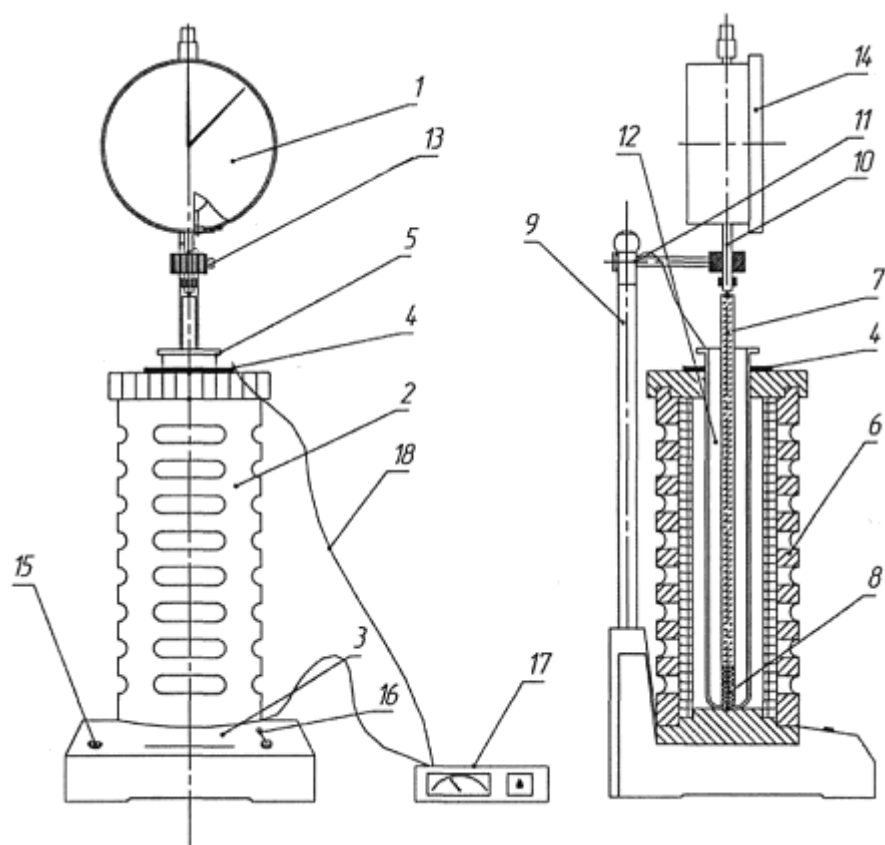
**ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ,
вул. Інститутська, 11, м. Хмельницький,
29016 (UA)**

(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ЛІНІЙНОГО ТЕПЛОВОГО РОЗШИРЕННЯ НЕМЕТАЛЕВИХ ТВЕРДИХ ТІЛ

(57) Реферат:

Спосіб визначення коефіцієнта лінійного теплового розширення неметалевих твердих тіл включає нагрівання зразка з дослідного матеріалу, вимірювання температури і зміни його довжини на заданій базі. При цьому застосовують комбінований зразок, що складається з дослідного неметалевого стрижня довжиною 20 мм (сферичним кінцем донизу) і зверху розташованого скляного стрижня довжиною 140 мм, які розміщують у скляній пробірці і нагрівають їх до температури 100 °С. Після цього окремо виконують такі ж дослідження для скляного зразка довжиною 160 мм і визначають його коефіцієнт лінійного теплового розширення, а зміну довжини дослідного стрижня і його коефіцієнт лінійного теплового розширення знаходять, порівнюючи зміну довжини комбінованого зразка і зміну довжини, розраховану для скляного стрижня довжиною 140 мм.

UA 112598 U



Корисна модель належить до способів визначення коефіцієнта лінійного теплового розширення неметалевих твердих тіл і може бути використана у компресоробудуванні, автомобілебудуванні та загальному машинобудуванні для дослідження теплового розширення матеріалів, а також у навчальному процесі.

Для прикладу, при використанні ущільнюючих елементів з неметалевих матеріалів у компресорах, які працюють без змащення, необхідно детально визначати та розраховувати теплові зазори в ущільненнях. Інакше, при роботі компресора, ущільнення в результаті теплового розширення може вийти з ладу [1].

Відомий спосіб для визначення коефіцієнта лінійного теплового розширення (КЛТР) твердих зразків вуглецевих матеріалів у діапазоні температур 20-600 °С, який має діапазон вимірювання КЛТР $(0,5-15) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ і який реалізується за допомогою установки ДКТ-40 [2].

Недолік цього способу полягає у тому, що область його застосування обмежена діапазоном вимірювання КЛТР.

Відомий спосіб визначення коефіцієнта лінійного теплового розширення композиційного матеріалу [3]. Недоліком цього способу є те, що він застосовується для вимірювання КЛТР листового композиційного матеріалу у порівнянні із зразком листового металевого еталонного матеріалу, з відомим коефіцієнтом лінійного теплового розширення. Однак, виготовлення листових композиційних матеріалів однакової щільності, а особливо композиційних матеріалів на основі фторопласта-4 є досить складною та пов'язаною зі значними труднощами технологічною задачею [4]. Асортимент виготовлених таких матеріалів, в основному представлений у вигляді втулок або стрижнів.

Більш універсальним є спосіб визначення коефіцієнта лінійного теплового розширення твердих тіл, який вибрано як найближчий аналог. До складу установки за цим способом входить: важільно-зубчаста вимірювальна головка 2МИГ; захисний кожух; корпус; прокладка; скляна пробірка; нагрівач; дослідний зразок; стійка; гвинт; кронштейн; термopара; шток; рухома поворотна шкала; індикаторна лампа; кнопка вимикача; термостатуючий пристрій [6].

Дослідний зразок твердого тіла, що заходиться в скляній пробірці, нагрівають в охолоджувальній рідині Тосол А 40 (з температурою кипіння 120 °С) до температури 100 °С. Після цього за допомогою термостатуючого пристрою DigiCOP з термopарою зразок витримують при 100 °С протягом 5 хвилин. Зміна довжини нагрітого зразка порівняно з його початковою довжиною (при кімнатній температурі) вимірюється з допомогою важільно-зубчастої головки 2МИГ з ціною поділки 0,002 мм і границею вимірювань 0-2 мм, яка має шток, що рухається вгору та вниз. Прилад складається з корпусу, всередині захисного кожуха знаходиться нагрівач, до якого під'єднано термостатуючий пристрій. При проведенні дослідів в нагрівач через прокладку та отвір в кришці приладу вводять скляну пробірку із дослідним стрижнем. На корпусі приладу встановлена стійка з кронштейном, що може повертатись навколо осі на 90 градусів. Кронштейн фіксують гвинтом.

Спосіб визначення коефіцієнта лінійного розширення [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, поліфенілхіноксакліну, поліарилату, ароматичного полііміду і т. ін., що мають у 5-8 разів більший КЛТР, ніж метали, не завжди можна реалізувати через їх технологічні особливості [5, 7, 8].

Задачею корисної моделі 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 у низ 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 порівняно 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 неметалевих твердих тіл.

На кресленні зображена установка для визначення коефіцієнта лінійного теплового розширення неметалевих твердих тіл, де: 1 - важільно-зубчаста головка; 2 - захисний кожух; 3 - корпус; 4 - прокладка; 5 - пробірка; 6 - нагрівач; 7 - скляний стрижень довжиною 140 мм; 8 - дослідний стрижень довжиною 20 мм, 9 - стійка; 10 - шток; 11 - кронштейн; 12 - охолоджувальна рідина "Тосол А-40"; 13 - гвинт; 14 - рухома поворотна шкала; 15 - індикаторна лампа; 16 - кнопка вимикача; 17 - пристрій для термостатування; 18 - термopара.

Твердотільний комбінований зразок, що складається з дослідного 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 10, що може переміщатися у вертикальній площині. Окремо виконують такі ж дослідження для скляного зразка довжиною 160 мм.

Ступінь розширення твердого тіла визначається коефіцієнтом лінійного теплового розширення.

Коефіцієнт лінійного теплового розширення α чисельно дорівнює відносній зміні лінійних розмірів тіла $\frac{\Delta L}{L}$, зумовлених зміною його температури на 1 К:

$$\bar{\alpha} = \frac{\Delta L}{L} \cdot \frac{1}{\Delta T} \quad (1)$$

Оскільки $\alpha = f(T)$, то формула (1) дозволяє визначити тільки середнє значення $\bar{\alpha}$ для заданого інтервалу зміни температури ΔT .

Коефіцієнт лінійного теплового розширення при заданій температурі T , визначений для безмежно малого інтервалу температури dT , називають істинним:

$$\alpha_1 = \frac{dL}{L} \cdot \frac{1}{dT} \quad (2)$$

Розв'язок диференціального рівняння (2) має вигляд: $\ln L = \alpha T + C$. Константу інтегрування C знаходимо з початкових умов, коли $T = 0$, а $C = \ln L_0$.

Отже, основне рівняння залежності довжини твердих тіл від температури має вигляд:

$$L = L_0 e^{\alpha T} \quad (3)$$

де L - довжина тіла за температури T ; L_0 - довжина тіла за абсолютного нуля температури.

Експериментально встановлено, що коефіцієнт лінійного теплового розширення α не є постійною величиною, а виступає функцією температури, що особливо помітно за її низьких значень.

З рівняння (3) зрозуміло, що зі зміною температури довжина тіла змінюється за експоненціальним законом. Однак на практиці частіше всього використовують наближену формулу, яку одержують при розкладанні виразу $e^{\alpha T}$ в ряд.

При $\alpha T \ll 1$, маємо: $e^{\alpha T} = 1 + \alpha T + \dots$.

Нехтуючи членами із степенями, вище перших за температурою, отримуємо наступний вираз:

$$L = L_0(1 + \alpha T) \quad (4)$$

Оскільки довжина дослідного тіла L_0 за абсолютного нуля практично не може бути визначена, то зручно, використовуючи експоненціальний закон, знайти довжину тіла L_1 та L_2 за довільних температур: $L_1 = L_0 e^{\alpha T_1}$ та $L_2 = L_0 e^{\alpha T_2}$, звідки випливає, що $L_2 = L_1 e^{\bar{\alpha} \Delta T}$ або наближено:

$$L_2 = L_1(1 + \bar{\alpha} \Delta T) \quad (4)$$

де $\bar{\alpha}$ - середній коефіцієнт лінійного розширення тіла в інтервалі зміни температури ΔT .

На практиці, частіше за величину T_1 приймають температуру танення льоду при нормальних умовах, тобто 273,15 К (або $t=0$ °С), а за L_1 - відповідно довжину тіла L_0 при температурі T_1 . Тоді довжина тіла L за будь-якої температури t (за шкалою Цельсія) може бути визначена за допомогою рівняння:

$$L = L_0(1 + \bar{\alpha} t) \quad (5)$$

Встановивши експериментально $\bar{\alpha}$ будь-якого заданого твердого тіла, можна на основі закону Гука розрахувати деформації та напруження, які виникають у деталях та конструкціях при їх тепловому розширенні. Оскільки $\bar{\alpha}$ залежить від температури T , то в багатьох практично важливих випадках виникає потреба експериментально дослідити цю залежність.

Приклад виконання способу

1. У пробірки з комплекту приладу опускають у кожну з них дослідний 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 11 встановлюють важільно-зубчасту головку 2МИГ і повертають її на чверть обороту в бік, до упору. Пробірку з дослідним комбінованим стрижнем через гумову прокладку 4 та отвір у кришці приладу вносять у нагрівач. Після цього встановлюють у пробірку термопару 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 у таблицю.

Обробка результатів

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

$$\alpha_{ic} = \frac{L_{2c} - L_{1c}}{L_{1c}(t_2 - t_1)} = \frac{\Delta L_c}{L_{1c}(t_2 - t_1)}, \quad (6)$$

де t_1 та t_2 - початкова та кінцева температура тіла, °С; L_{1c} та L_{2c} - довжина тіла, що відповідає цим температурам, мм; ΔL_c - зміна довжини тіла, мм.

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

$$\bar{\alpha}_c = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_{ic}}{n}, \quad (7)$$

де α_{ic} - коефіцієнт лінійного теплового розширення за даними одного заміру; n - кількість замірів.

3. Визначають середню зміну довжини $\Delta \bar{L}_c$ скляного зразка ($L_{0c} = 140$ мм):

$$\Delta \bar{L}_c = L_{0c}(t_2 - t_1)\bar{\alpha}_c. \quad (8)$$

4. Віднімаємо від зміни довжини комбінованого зразка ΔL_{ik} середню зміну довжини $\Delta \bar{L}_c$ скляного зразка довжиною 140 мм знаходимо зміну довжини дослідного стрижня діаметром 5 мм і довжиною 20 мм:

$$\Delta L_{i3} = \Delta L_{ik} - \Delta \bar{L}_c. \quad (9)$$

5. Визначають чисельне значення коефіцієнта лінійного теплового розширення дослідного стрижня за формулою:

$$\alpha_{i3} = \frac{L_{23} - L_{13}}{L_{13}(t_2 - t_1)} = \frac{\Delta L_3}{L_{13}(t_2 - t_1)}.$$

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

$$\bar{\alpha}_3 = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_{i3}}{n}.$$

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

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (\alpha_{i3} - \bar{\alpha}_3)^2, \quad (10)$$

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2}. \quad (11)$$

8. Визначають вибірковий коефіцієнт варіації:

$$\gamma = \frac{\sigma}{\alpha_3} \cdot 100\%. \quad (12)$$

- 5 Приклад 1. Визначення коефіцієнта лінійного теплового розширення неметалевого термостійкого композиційного матеріалу Ф4УВ20 [5]. Комбінований зразок, що складається з дослідного стрижня матеріалу Ф4УВ20 довжиною 20 мм, сферичним кінцем донизу і зверху розташованого скляного стрижня довжиною 140 мм, які розміщені у скляній пробірці, на 4/5 наповненій рідиною "Тосол А-40", при температурі $t_1=20^\circ\text{C}$, нагрівають до температури 100°C .
- 10 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	Скляний зразок				ΔL_{ik} , мм, комбінований зразок, $L_{0c} = 160$ мм	ΔL_{i3} , мм, дослідний зразок, $L_{03} = 20$ мм	Дослідний зразок		Коефіцієнт варіації γ , %
	ΔL_{ic} , мм, $L_{0c} = 160$ мм	$\alpha_{ic} \times 10^{-6}$, 1/К	$\bar{\alpha}_c \times 10^{-6}$, 1/К	$\Delta \bar{L}_c$, мм, $L_{0c} = 140$ мм			$\bar{\alpha}_{i3} \times 10^{-6}$, 1/К	$\bar{\alpha}_3 \times 10^{-6}$, 1/К	
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		

- 15 Приклад 2. Визначення коефіцієнта лінійного теплового розширення неметалевого термостійкого полімерного матеріалу - ароматичний поліамід Фенілон С-2 [7]. Комбінований зразок, що складається з дослідного 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 наповненій рідиною "Тосол А-40", при температурі $t_1=20^\circ\text{C}$, нагрівають до температури 100°C . Дослідження також виконують для
- 20 скляного зразка довжиною 160 мм. Результати п'яти дослідів наведені у таблиці 2.

Таблиця 2

Експериментальні та розрахункові дані

№ з/п	Скляний зразок				ΔL_{ik} , мм, комбінований зразок, $L_{0k} = 160$ мм	ΔL_{i3} , мм, дослідний зразок, $L_{0k} = 20$ мм	Дослідний зразок		Коефіцієнт варіації γ , %
	ΔL_{ic} , мм, $L_{0c} = 160$ мм	$\alpha_{ic} \times 10^{-6}$, 1/К	$\bar{\alpha}_c \times 10^{-6}$, 1/К	$\Delta \bar{L}_c$, мм, $L_{0c} = 140$ мм			$\bar{\alpha}_{i3} \times 10^{-6}$, 1/К	$\bar{\alpha}_3 \times 10^{-6}$, 1/К	
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		

- 25 Приклад 3. Визначення коефіцієнта лінійного теплового розширення неметалевого термостійкого полімерного матеріалу ароматичний поліімід ПМ-69 [8]. Комбінований зразок, що складається з дослідного стрижня матеріалу ароматичного поліімід ПМ-69 довжиною 20 мм, сферичним кінцем донизу і зверху розташованого скляного стрижня довжиною 140 мм, які

розміщені у скляній пробірці, на 4/5 наповненій рідиною "Тосол А-40", при температурі $t_1=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, нагрівають до температури $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. 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	Скляний зразок				$\Delta L_{\text{ік}}$, мм, комбінований зразок, $L_{\text{ок}} = 160\text{ мм}$	$\Delta L_{\text{із}}$, мм, дослідний зразок, $L_{\text{ок}} = 20\text{ мм}$	Дослідний зразок		Коефіцієнт варіації γ , %
	$\Delta L_{\text{іс}}$, мм, $L_{\text{ос}} = 160\text{ мм}$	$\alpha_{\text{іс}} \times 10^{-6}$, 1/К	$\bar{\alpha}_{\text{с}} \times 10^{-6}$, 1/К	$\Delta L_{\text{с}}$, мм, $L_{\text{ос}} = 140\text{ мм}$			$\alpha_{\text{із}} \times 10^{-6}$, 1/К	$\bar{\alpha}_{\text{з}} \times 10^{-6}$, 1/К	
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 для визначення коефіцієнта лінійного теплового розширення неметалевих твердих тіл дає можливість виконувати їх дослідження в діапазоні $(30-80) \cdot 10^{-6}\text{ K}^{-1}$ для зразків довжиною 20 мм, причому точність досліджень є досить високою: коефіцієнт варіації знаходиться в межах 1,17-2,05 %.

Джерела інформації:

1. Поршневые компрессоры / Б.С. Фотин, И.Б. Пирумов, И.К. Прилуцкий, П.И. Пластинин. - Л.: Машиностроение, 1987. - 372 с.

2. Дилатометр ДКТ-40 [Электронный ресурс]. - Режим доступа: granat-e.ru/dkt-40.html

3. Пат. № 2111480 Российская Федерация, МПК G01N 25/16. Способ определения температурного коэффициента линейного расширения композиционного материала / В.Ф. Кутынов, Ю.С. Ильин; заявитель и патентообладатель ЦАГИ им. проф. Н.Е. Жуковского. - № 97111652/25; заявл. 07.07.1997, опубл. 20.05.1998.

4. Пугачев А.К. Переработка фторопластов в изделия: Технология и оборудование / А.К. Пугачев, О.А. Росляков. - Л.: Химия, 1987. - 168 с.

5. Сиренко Г.А. Антифрикционные карбопластики / Г.А. Сиренко. - К.: "Техніка", 1985. - 195 с.

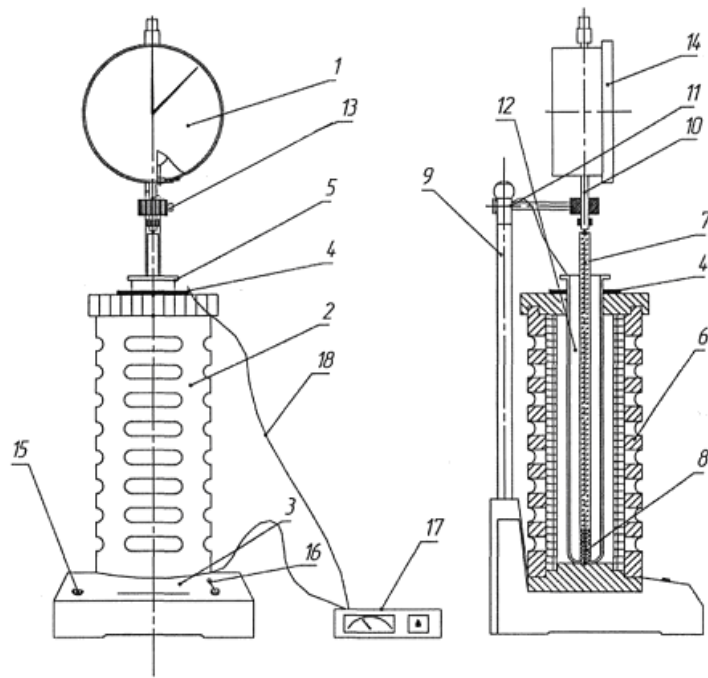
6. Пат. № 9877 Україна, МПК G01N 25/16. Спосіб визначення коефіцієнта лінійного теплового розширення твердих тіл / В.П. Свідерський, В.С. Яремчук; заявник і патентовласник Хмельницький нац. університет. - № u201411517; заявл. 23.10.2014, опубл. 12.05.2015, Бюл. № 9. - 12 с.

7. Термостойкие ароматические полиамиды / Л.Б. Соколов, В.Д. Герасимов, В.М. Савинов, В.К. Беляков. - М.: Химия, 1975. - 256 с.

8. Полиимиды - класс термостойких полимеров / М.И. Бессонов, М.М. Котон, В.В. Кудрявцев, Л.А. Лайус. - Л.: Наука, 1983. - 328 с.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Спосіб визначення коефіцієнта лінійного теплового розширення неметалевих твердих тіл, що включає нагрівання зразка з дослідного матеріалу, вимірювання температури і зміни його довжини на заданій базі, який **відрізняється** тим, що застосовують комбінований зразок, що складається з дослідного неметалевого стрижня довжиною 20 мм (сферичним кінцем донизу) і зверху розташованого скляного стрижня довжиною 140 мм, які розміщують у скляній пробірці і нагрівають їх до температури $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, після чого окремо виконують такі ж дослідження для скляного зразка довжиною 160 мм і визначають його коефіцієнт лінійного теплового розширення, а зміну довжини дослідного стрижня і його коефіцієнт лінійного теплового розширення знаходять, порівнюючи зміну довжини комбінованого зразка і зміну довжини, розраховану для скляного стрижня довжиною 140 мм.



Комп'ютерна верстка В. Мацело

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Василя Липківського, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601