

ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ЛІНІЙНОГО ТЕПЛООВОГО РОЗШИРЕННЯ ТВЕРДИХ ТІЛ

Свідерський В. П., Яремчук В. С.

Хмельницький національний університет, вул. Інститутська, 11
e-mail: svidersky.vladyslav@gmail.com, yaremchuk1954@gmail.com

Тверді тіла при нагріванні розширюються, змінюючи свої розміри та геометричну форму. Це може призвести до виникнення значних механічних напружень, а тому в техніці доводиться запобігати наслідкам теплового розширення твердих тіл, а також враховувати їх [1]. Ця властивість характерна для всіх речовин, коли вони нагріваються, її частинки починають інтенсивніше рухатись, що приводить до збільшення середніх відстаней між ними.

Теплове розширення матеріалів слід враховувати при проектуванні великогабаритних конструкцій, при розробці прес-форм для лиття деталей, при проектуванні фермових конструкцій тощо, коли значні зміни розмірів викликані зміною температури можуть привести до втрати працездатності складальних одиниць чи цілої конструкції. Теплове розширення може привести до порушення герметичності рам металопластикових вікон, зміни тиску повітря у шинах автомобілів, зміни довжини довгих ділянок труб систем опалення, нерівномірної зміни довжини залізничної колії, зниження к.к.д. холодного двигуна автомобіля із-за збільшення зазорів між поршнем і циліндром тощо [4].

Одним із параметрів, який характеризує ці зміни виступає коефіцієнт лінійного теплового розширення (КЛТР). Цей коефіцієнт позначений як α , чисельно дорівнює відносній зміні лінійних розмірів тіла $\Delta L/L$, зумовленій зміною його температури на 1 К:

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

Оскільки коефіцієнт $\alpha = \alpha(T)$, формула (1) дозволяє визначити тільки середнє значення α для даного інтервалу зміни температури ΔT .

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

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

Розв'язок диференційного рівняння (2) має вигляд: $\ln L = \alpha T + C$.

Константу інтегрування C знаходимо з початкових умов, задавши температуру $T = 0$, тоді $C = \ln L_0$.

Якщо розв'язати це логарифмічне рівняння, то основне рівняння взаємозв'язку розміру твердих тіл з температурою набуде вигляду:

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

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

Експериментально встановлено, що коефіцієнт α не є сталою величиною, а виступає функцією температури, що особливо помітно за умов низьких температур.

З рівняння (3) випливає, що із зміною температури довжина тіла змінюється за експоненціальним законом. Однак на практиці найчастіше використовують наближену формулу, яку одержують при розкладі розв'язку цього рівняння в ряд.

За $\alpha T \ll 1$, маємо $e^{\alpha T} = 1 + \alpha T + \dots$

Нехтуючи членами із степенями вище першої за температурою, отримаємо вираз $L = L_0 (1 + \alpha T)$. Оскільки довжина досліджуваного тіла L_0 за абсолютного нуля практично не може бути визначена, то зручно, використовуючи експоненціальний закон, знайти довжини тіла L_1 та L_2 за довільних значень температур: $L_1 = L_0 e^{\alpha T_1}$ та $L_2 = L_0 e^{\alpha T_2}$, звідки виходить, 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 температур ΔT .

На практиці частіше всього за величину T_1 беруть температуру танення льоду за нормальних умов, тобто 273,15 К (або $t = 0$ °С), а за L_1 відповідно довжину тіла L_0 за цієї температури. Тоді довжина тіла L за будь-якої іншої температури t (за шкалою Цельсія) може бути виражена рівнянням:

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

Оскільки $\bar{\alpha}$ залежить від T , то в багатьох практично важливих випадках виникає необхідність експериментально визначити та дослідити зазначену залежність.

Мета роботи: розробити схему та конструкцію установки і

запропонувати способи визначення коефіцієнта лінійного теплового розширення металевих та неметалевих твердих тіл, взявши за основу відому установку Д. І. Менделєєва.

Установка для визначення коефіцієнта лінійного розширення, що працює за методом Д. І. Менделєєва має такі недоліки:

а) в зв'язку з відсутнім термостатуванням зразка цю установку застосовують в основному для визначення середнього коефіцієнта лінійного розширення для більшості ізотропних речовин – металів;

б) зміна довжини нагрітого зразка порівняно з його початковою довжиною (при кімнатній температурі) вимірюється індикатором годинникового типу з ціною поділки шкали 0,01 мм, що не забезпечує достатньо точне вимірювання.

Нами запропонована установка та спосіб визначення коефіцієнта лінійного теплового розширення твердих тіл [2, 3].

Завданням розроблених установки і способу визначення КЛТР твердих тіл є розширення функціональних можливостей, а також підвищення точності вимірювання.

Завдання вирішується тим, що за цим способом використання і застосування спеціального термостатуючого пристрою DigiCOP та охолоджуючої рідини «Тосол А-40» (температура кипіння 120 °С), яка на 4/5 заповнює скляну пробірку з дослідним зразком, дозволяє забезпечити рівномірний нагрів зразка до температури 100 °С, а більш точне визначення зміни довжини нагрітого зразка порівняно з його початковою довжиною (при кімнатній температурі) досягається за рахунок заміни індикатора годинникового типу з ціною поділки 0,01 мм на важільно-зубчасту головку типу 2МИГ з ціною поділки 0,002 мм.

Було проведено дослідження температурної залежності коефіцієнта лінійного теплового розширення металів та сплавів, при цьому підтверджено відомі факти, що КЛТР більшості металів зростає з підвищенням температури. Для більшості досліджених металів значення КЛТР, виміряного перпендикулярно до головної осі кристалу нижчі, ніж значення КЛТР, виміряного паралельно до головної осі кристалу, окрім Li та Be, що можна пояснити їх особливими властивостями.

Встановлено, що для залежностей КЛТР від температури, виміряного паралельно і перпендикулярно до головної осі кристалу існує надійний зв'язок при апроксимації поліномом другого порядку. Разом з тим, для більшості сплавів залежність КЛТР від температури апроксимується поліномами як першого так і другого порядків.

Полімерні матеріали при нагріванні, порівняно з металами та сплавами, більш суттєво розширюються. Це приводить до виникнення

значно більших механічних напруг, які необхідно враховувати при застосуванні конструкційних полімерів у техніці.

Так, при застосуванні в якості ущільнюючих елементів чи деталей клапанів з полімерних матеріалів в компресорах без змащення, необхідно більш детально розрахувати теплові зазори в місцях спряження, інакше при роботі компресора ущільнення та деталі клапанів у результаті теплового розширення можуть вийти з ладу.

Величину внутрішнього напруження σ , що виникає в результаті розширення стиснутого зразка полімерного матеріалу можна визначити з виразу:

$$\sigma = \hat{A} \cdot \beta \cdot \alpha \cdot \tau_{E\hat{t}}, \quad (6)$$

де E – модуль пружності матеріалу;

β – швидкість зростання температури;

α – коефіцієнт лінійного теплового розширення (КЛТР);

$\tau_{E\hat{t}}$ – 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:

$$\hat{E} = \delta \cdot \frac{\lambda}{\alpha}, \quad (7)$$

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

λ – коефіцієнт теплопровідності.

Разом з тим, спосіб визначення коефіцієнта лінійного розширення розроблений нами раніше [3] має суттєвий недолік: для вимірювання КЛТР використовують стрижні з досить великою довжиною $L = 160$ мм. Виготовлення ж таких зразків з термостійких дороговартісних полімерних композиційних матеріалів на основі політетрафторетилену, ароматичного поліаміду, поліфенілхіноксакліну, поліарілату, ароматичного полііміду тощо, які мають в 5–8 разів більший КЛТР ніж металів не завжди можна реалізувати через їх технологічні особливості. В зв'язку з цим нами розроблений та запатентований новий спосіб для визначення КЛТР неметалевих твердих тіл.

Завданням подальших досліджень є розширення функціональних можливостей для дослідження КЛТР дороговартісних термостійких полімерних матеріалів. Це вирішується тим, що за цим способом

застосовують зразки діаметром 5 мм і довжиною 20 мм, які встановлюють сферичним кінцем униз в скляну пробірку, а зверху на цей зразок розташовують скляний циліндричний стрижень такого самого діаметра, довжиною 140 мм. Далі вимірюють зміну довжини цього комбінованого зразка під час нагріву до температури 100 °С і порівнюють її з лінійним тепловим розширенням скляного зразка діаметром 5 мм та довжиною 160 мм. Визначення коефіцієнта лінійного теплового розширення за цим способом здійснюється з достатньо високою точністю для дорого вартісний конструкційних полімерних деталей. Точність виконаних досліджень складає 1,17–2,05 %.

Таким чином, визначивши експериментально КЛТР довільного твердого тіла, можна на основі закону Гука розрахувати деформації і напруги, які виникають в деталях та конструкціях за їх теплового розширення, що є досить важливим для використання при проектуванні різноманітних інженерних конструкцій у різних галузях машинобудування.

Література

1. Сіренко Г. О. Теплофізичні властивості металів та сплавів : монографія / Г. О. Сіренко, В. П. Свідерський, Л. В. Базюк ; за ред. Г.О. Сіренко. – Івано-Франківськ : Супрун В.П., 2015. – 230 с.
2. 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.
3. Пат. №98777 Україна, МПК G01N25/16. Спосіб визначення коефіцієнта лінійного теплового розширення твердих тіл / В. П. Свідерський, В. С. Яремчук ; заявник і патентовласник Хмельницький національний університет. – № u201411517 ; заявл. 23.10.2014 ; опубл. 12.05.2015, Бюл. № 9. – 12 с.
4. Яворський Б. М. Довідник з фізики для інженерів та студентів вищих навчальних закладів / Б. М. Яворський, А. А. Детлаф, А. К. Лебедев ; пер. з 8-го перероб. і випр. вид. – Тернопіль : Навчальна книга – Богдан, 2007. – 1040 с.