Szilárd testek hőtágulási együtthatójának mérése

Mérőpár: Példa Pál és Minta Mónika (S1/1)
Mérésvezető: Dr. Demo Dénes
Mérés időpontja: 2004.09.29.

Kivonat

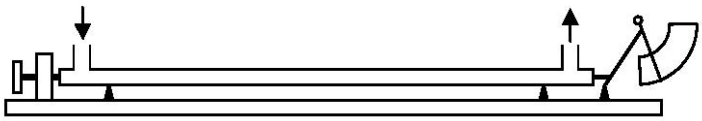
A laboratóriumi gyakorlat során egy fém minta lineáris hőtágulási együtthatóját határoztuk meg a minta hőmérsékletének kontrollált változtatásával és az adott hőmérsékletekhez tartozó mintahosszúság mérésével. Az ezrelék alatti relatív megnyúlás tartományában igazoltuk a hőmérsékletváltozás és a megnyúlás között feltételezett lineáris kapcsolatot, valamint a hőtágulási együttható értéke alapján azonosítottuk a vizsgált minta anyagát.

1. Elméleti összefoglaló

Kísérletek bizonyítják, hogy a nem túl nagy $\Delta t = t - t_0$ hőmérséklet-változás hatására fellépő $\Delta l = l - l_0$ hosszúságváltozás a $\Delta l = \alpha l_0 \Delta t$ összefüggés szerint arányos a test t_0 hőmérsékleten mért l_0 hosszával és a hőmérséklet-változással, ahol α a vizsgált anyag lineáris hőtágulási együtthatója [1]. A lineáris hőtágulási együttható tehát a mért hossz- és hőmérséklet-változásokból számítható. A valóságban a hőtágulás csak kicsiny hőmérséklet-változások, illetve mérsékelt pontosság esetében közelíthető lineárisan. Abban az esetben, ha tágabb hőmérséklet-intervallumban vagy nagyobb pontossággal vizsgáljuk a hőtágulást, akkor az alábbi sorfejtés szerinti további állandókat is be kell bevezetni $l = l_0 \left(1 + \alpha \Delta t + \beta \Delta t^2 + \ldots\right)$.

2. Mérési elrendezés és a mérés menete

A mérés célja α meghatározása. A kísérlet során egy hosszú fémcső hőtágulását vizsgáljuk. A cső belsejében termosztát segítségével szabályozható hőmérsékletű vizet keringtetünk. A minta egyik vége csavarmikrométerhez, másik vége pedig a kis hosszváltozások észlelését könnyítő mechanikai áttételhez csatlakozik (1. ábra).



1. ábra. *A kísérleti elrendezés vázlata. A nyilak a szabályozható hőmérsékletű víz áramlási irányát jelzik a vizsgált mintadarabban. A mintadarab bal oldalán a mikrométercsavaros rögzítés, jobb oldalon a hosszmérés elrendezése látható.*

A hőmérséklet mérése termopárral történik, amelynek referencia pontját olvadó jégbe helyezzük. A termopár hőfoktényezője 37 μV/K. Ez alapján a cső hőmérséklete a

$$t[\mathrm{K}] = \frac{U[\mathrm{mV}]}{0,037} \tag{1}$$

összefüggés szerint határozható meg.

A mérés során először meg kell győződnünk arról, hogy valóban van-e jég a termopár megfelelő végénél. Ezután megmértük a cső hosszát, amire $t_0 = 21{,}62$ °C hőmérsékleten $l_0 = (0{,}53 \pm 0{,}002)$ m adódott. A hibát az okozza, hogy maga a cső nehezen volt hozzáférhető, ezért a mérést bizonytalanság terheli, amelyet 2 mm-re becsülünk. Ezt követően bekapcsoltuk az áramoltatót és a fűtést, majd 2-3 perc hőmérséklet stabilizálódás után leolvastuk a termofeszültség értékét és a minta hosszváltozását. A mérést nagyjából $t = 40$°C-nak megfelelő feszültség értékig végeztük. A termofeszültséget μV pontossággal mértük, de a cső hőmérséklete nem mindenhol teljesen egyforma, így a hőmérsékletmérés hibáját 0,1°C-nak becsüljük.

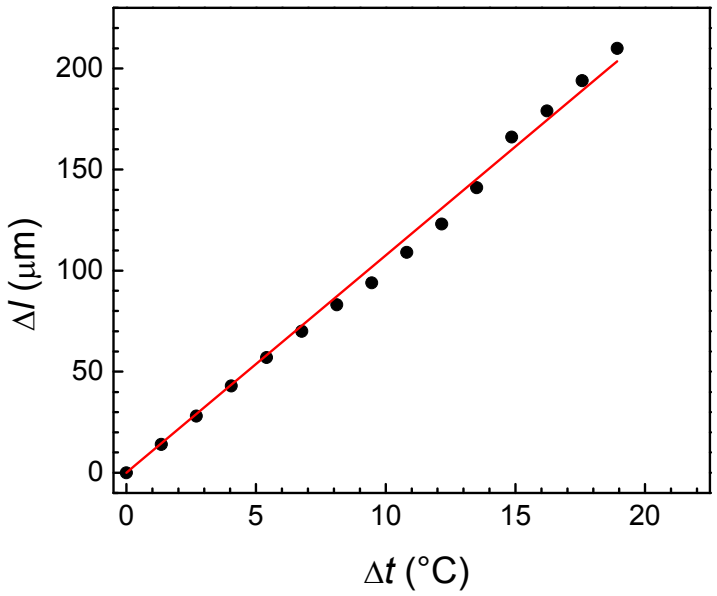
3. Mérési eredmények és kiértékelésük

A mért termofeszültség és hosszváltozás, valamint a származtatott hőmérséklet adatokat az 1. táblázat tartalmazza.

Az egyes Δt hőmérséklet-változásokhoz tartozó Δl hosszváltozás értékek, valamint a rájuk legkisebb négyzetek módszerével illesztett $y = bx$ alakú egyenes a 2. ábrán láthatóak. Az illesztett egyenes $b = (1{,}0 \pm 0{,}012) \cdot 10^{-5}$ m/K meredekségéből számolva az α hőtágulási

1. táblázat. *A mért termofeszültség és megnyúlás adatok és a származtatott hőmérséklet értékek.*

U (mV)	t (°C)	Δt (°C)	Δl (m)
0,80	21,62	0	0
0,85	22,97	1,35	$1{,}4 \cdot 10^{-5}$
0,90	24,32	2,70	$2{,}8 \cdot 10^{-5}$
0,95	25,68	4,05	$4{,}3 \cdot 10^{-5}$
1,00	27,03	5,41	$5{,}7 \cdot 10^{-5}$
1,05	28,38	6,76	$7{,}0 \cdot 10^{-5}$
1,10	29,73	8,11	$8{,}3 \cdot 10^{-5}$
1,15	31,08	9,46	$9{,}4 \cdot 10^{-5}$
1,20	32,43	10,81	$1,09 \cdot 10^{-4}$
1,25	33,78	12,16	$1,23 \cdot 10^{-4}$
1,30	35,14	13,51	$1,41 \cdot 10^{-4}$
1,35	36,49	14,86	$1,66 \cdot 10^{-4}$
1,40	37,84	16,22	$1,79 \cdot 10^{-4}$
1,45	39,19	17,57	$1,94 \cdot 10^{-4}$
1,50	40,54	18,92	$2,10 \cdot 10^{-4}$



2. ábra. *A mért megnyúlás értékek a referencia hőmérséklettől való eltérés függvényében. A folytonos vonal a mérési adatokra a legkisebb négyzetek módszeréveé illesztett, origón átmenő egyenest mutatja.*

együttható értéke

$$\alpha = \frac{\Delta l}{\Delta t} \cdot \frac{1}{l_0} = \frac{b}{l_0} = 1,89 \cdot 10^{-5}\mathrm{K}^{-1}. \tag{2}$$

A hőtágulási együttható relatív hibája

$$\frac{\Delta\alpha}{\alpha} = \frac{\Delta b}{b} + \frac{\Delta l_0}{l_0} = \frac{0,012}{1,0} + \frac{0,002}{0,53} = 0,016, \tag{3}$$

így α értékére (1,89±0,03)·10^{-5} K^{-1} adódik.

Ez az érték nagyon közel esik az ón lineáris hőtágulási együtthatójához (α_{Sn} = 2,20·10^{-5} 1/K) [2], de a cső valószínűleg alumíniumból (α_{Al} = 2,31·10^{-5} 1/K) [2] van. Ehhez az értékhez is közel van a mért érték, de nem hibahatáron belül. Ennek egyik lehetséges oka, hogy a cső ötvözött alumíniumból készült.

4. Az eredmények összefoglalása

A laboratóriumi gyakorlat során egy fém minta lineáris hőtágulási együtthatóját határoztuk meg a minta hőmérsékletének kontrollált változtatásával és az adott hőmérsékletekhez tartozó mintahosszúság mérésével. Az ezrelék alatti relatív megnyúlás tartományában igazoltuk a hőmérsékletváltozás és a megnyúlás között feltételezett lineáris kapcsolatot. A feltételezésünk szerint alumínium ötvözet minta hőtágulási együtthatójának általunk mért és a szakirodalomban elfogadott értékei között jó nagyságrendi egyezést találtunk.

Hivatkozások

[1] N. W. Ashcroft and N. D. Mermin, *Solid State Physics*, Saunders College, 1976.

[2] *WebElements: the periodic table on the web*
http://www.webelements.com/physics.html