

8 Stanovení koeficientu teplotní roztažnosti

Teorie

Polymery podobně jako všechny pevné látky se při zahřívání roztahují a po ochlazení opět smršťují. Přijetím tepelné energie se zvyšuje vnitřní energie systému, atomy mohou kmitat kolem rovnovážné polohy s větší amplitudou a jejich vzájemné vzdálenosti se zvětšují. Teplotní objemová roztažnost pevných látek je charakterizována **koeficientem teplotní objemové roztažnosti β** definovaným vztahem

$$\beta = \frac{1}{V_0} \cdot \frac{dV}{dT} \quad (1)$$

kde

V_0 – objem měřený při teplotě 0°C (nebo jiné vztažné teplotě)

dV – změna objemu v teplotním intervalu dT .

Koeficient závisí obecně na teplotě, ale v určitém, nepříliš širokém, teplotním intervalu jej lze považovat za poměrně konstantní. Označujeme jej pak jako průměrný koeficient $\bar{\beta}$ a závislost objemu na teplotě vyjadřujeme vztahem

$$V = V_0 \cdot (1 + \bar{\beta} \cdot T) \quad (2)$$

kde

V – objem při teplotě T .

Pro tělesa, u kterých převládá jeden rozměr (tyče apod.), zavádíme délkovou roztažnost charakterizovanou analogicky **koeficientem teplotní délkové roztažnosti α_l** :

$$\alpha_l = \frac{1}{l_0} \cdot \frac{dl}{dT} \quad (3)$$

S použitím středního koeficientu teplotní délkové roztažnosti lze závislost délky na teplotě vyjádřit vztahem:

$$l = l_0 \cdot (1 + \bar{\alpha}_l \cdot T) \quad (4)$$

Vztah mezi oběma koeficienty lze při předpokladu tělesa ve tvaru krychle ($V = l^3$) vyjádřit rovnicí

$$\bar{\beta} = 3 \cdot \bar{\alpha}_l \quad (5)$$

U polymerů je situace poněkud komplikovanější. Vzhledem k délce polymerních řetězců jsou všechny veličiny závislé také na čase a tedy na rychlosti ohřevu. Střední koeficient délkové roztažnosti je konstantní pouze v oblasti teplot, kde se polymer roztahuje lineárně a neprobíhají náhlé strukturní změny v důsledku relaxačních pohybu polymerních řetězců. Podívejme se podrobněji na teplotní interval kolem **teploty skelného přechodu T_g** (teplota skelného přechodu). Při ochlazování na dostatečně nízkou teplotu ztuhne amorfní i semikrystalický polymer jako sklo. Ztrácí schopnost

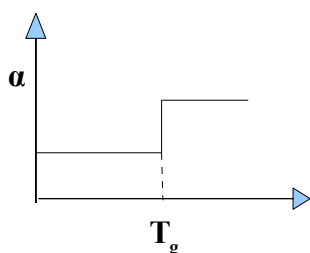
Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem
a státním rozpočtem České republiky.



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

trvalé deformace a chová se jako křehká tuhá látka. Ustává neuspořádaný Brownův i mikro-Brownův pohyb polymerních řetězců, který se mění na nízkofrekvenční vibrace. Za takových podmínek jsou znemožněny tvorba, zánik i migrace vakancí (volných míst). Pod teplotou T_g zůstává počet vakancí konstantní a nemění se ani jejich objemový podíl, který se nazývá **volný objem**. Při tomto přechodu (Obr.4.1) se skokem mění první derivace základních termodynamických funkcí (tj. objemu, entalpie, entropie), a tedy i teplotní objemová roztažnost. Nad T_g se polymer chová viskoelasticky a počet vakancí roste se zvyšující se teplotou. Důležitým předpokladem určování průměrného délkového koeficientu je izotropní chování, což znamená, že zkoumaný polymerní vzorek má stejné vlastnosti v celém objemu. Je-li vzorek anizotropní, roztažnost polymeru v daném rozměru v závislosti na teplotě je složitější a závisí na změnách ve struktuře materiálu při ohřevu vzorku.



Obr. 4.1 Závislost koeficientu teplotní objemové roztažnosti na teplotě.

Experiment

Roztažnost pevných látek měříme na zařízeních, které nazýváme **dilatometry**. Vzhledem k tomu, že přesné měření objemové roztažnosti je experimentálně značně náročné (kalibrace dilatometru a kapiláry, znalost teplotní roztažnosti použitého média, evakuace dilatometru při jeho plnění apod.), je výhodnější u izotropních látek určovat koeficient délkové roztažnosti.

K tomu účelu použijeme jednoduchý dilatometr, složený ze dvou skleněných trubek, které se do sebe zasouvají. Do vnější trubice se vloží vzorek ve tvaru tyčinky o známé délce ($l_0 \approx 50$ mm) a zasune se vnitřní trubice. Dilatometr se uchyťí do držáku, spojí s indikátorem prodloužení a vloží do temperační lázně, jejíž teplota je stejná jako teplota, při které byla určována výchozí délka zkušebního tělesa.

Po vynulování indikátoru se systém zahřívá takovým způsobem, že se jeho teplota zvýší přibližně o $(5 - 8)^\circ\text{C}$ a počká se na dosažení rovnovážného stavu, ve kterém se odečítá prodloužení zkušebního tělesa. Tento postup se opakuje asi 10 krát do dosažení teploty přibližně 85°C . Pro ustálení teploty je třeba vyčkat alespoň 10 minut.

Pokud sklo, ze kterého je dilatometr zhotoven, není křemenné, je nutno provést ještě korekci na roztažnost skla dilatometru. Za předpokladu, že teplota obou trubek dilatometru bude po délce dilatometru v každém místě stejná, budou se délkové změny skla navzájem kompenzovat, kromě části vnější trubice o délce totožné s délkou zkušebního tělesa. Protože se tato část skleněného dilatometru bude také roztahovat, ale opačným směrem než měřený polymer, bude experimentálně stanovená změna délky zkušebního tělesa menší než skutečná:

$$l = l_0(1 + \bar{\alpha}_p \cdot T) - l_0 \cdot \bar{\alpha}_s \cdot T \quad (6)$$

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

$$l = l_0 + l_0(\bar{\alpha}_p \cdot T - \bar{\alpha}_s) \cdot T \quad (7)$$

po úpravě dostaneme

$$\frac{\Delta l}{l_0} = \alpha_{\text{exp}}^- \cdot T \quad (8)$$

kde

$\bar{\alpha}_p$ je střední hodnota koeficientu teplotní délkové roztažnosti polymeru

$\bar{\alpha}_s$ je koeficient teplotní délkové roztažnosti skla dilatometru ($\approx 3,3 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$).

α_{exp}^- je experimentální hodnota koeficientu délkové roztažnosti

Získáme-li průměrný koeficient α_{exp}^- jako směrnici lineární závislosti relativního prodloužení na teplotě, skutečná střední hodnota koeficientu teplotní délkové roztažnosti korigovaná na roztažnost dilatometru je pak dána vztahem

$$\bar{\alpha}_p = \alpha_{\text{exp}}^- + \bar{\alpha}_s \quad (9)$$

Zadání: Stanovte koeficient lineární teplotní roztažnosti polymerů

Pomůcky a přístroje

- vzorky polypropylenu a jeho kompozitu
- skleněný délkový dilatometr
- termostat
- digitální mikrometr
- digitální setinový indikátor

Postup měření

1. Změřte pětkrát původní délku vzorku
2. Upevněte dilatometr se vzorkem nehybně k indikátoru prodloužení a nastavte nulovou polohu.
3. Ponořte vzorek do lázně termostatu a temperujte na počáteční měřicí teplotu 30°C.
4. Temperujte na této teplotě 10 -15 minut a sledujte prodloužení vzorku.
5. Po ustálení údaje na indikátoru zapište hodnotu prodloužení
6. Teplotu zvyšujte po 8 – 10 K a opakujte kroky 3-5
7. Vyměňte vodu v lázni termostatu a postup měření opakujte pro kompozit

Úkoly:

1. Z naměřených hodnot určete průměrné hodnoty délek vzorku l_0 a chybu měření
2. Experimentální výsledky zpracujte graficky
3. Určete hodnoty průměrných koeficientů délkové roztažnosti s korekcí na roztažnost skleněného dilatometru
4. Diskutujte přesnost měřicí metody a uveďte všechny faktory, které ovlivnily výsledky
5. Porovnejte získané hodnoty s tabulkovými hodnotami s koeficientů

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

6. Porovnejte roztažnost obou měřených materiálů

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem
a státním rozpočtem České republiky.



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ