

Mag- és Szilárdtestfizikai Laboratórium

1. Mechanikai mérések I. - Polimerek belsőúrlódásának vizsgálata

Barta Dániel

A mérés dátuma: 2009.04.23. csütörtök	Laborvezető neve: Vörös György	Értékelés:
A beadás dátuma: 2009.05.19. kedd	A mérést végezte: Barta Dániel - Lovász Béla - Rátkai László	

1. Bevezetés

1.1. Anyagok deformációi

Rugalmas deformáció során az anyag megterhelésekor, illetve a terhelés megszűnésekor a deformáció hangsebességgel terjed, az anyag a terhelés megszűntére visszatér eredeti állapotába. Hibákat tartalmazó anyag esetén a hőmérséklettel arányos idő szükséges a deformációhoz. Ha a deformáció a terhelés megszűntetésekor megszűnik, akkor anelasztikusnak nevezzük, ha nem, akkor plasztikus.

Ha a terhelés hatására a makromolekulák el is csúsznak egymáson, akkor viszkoelasztikus deformációról van szó.

Az anelasztikus és a viszkoelasztikus folyamatok termikusan aktiváltak: az anyagban az egyes állapotokat potenciálgát választja el, a potenciálgáton való átugrás valószínűségét a hőmérséklet szabja meg. Külső erő hatására a gát torzul. Egyes állapotok valószínűsége megnő. Ekkor, ha a szerkezet átrendeződik, akkor a külső erő munkát végez, amely hő formájában nyelődik el, ezt nevezzük belső súrlódásnak.

1.2. Polimerek

1.2.1. Amorf polimerek

Ha az anyag hőmérséklete kisebb, mint a rá jellemző üvegesedési hőmérséklet, akkor a polimerlánc termikus rezgései csak az oldalcsoportokra korlátozódnak, a láncok szegmensei helyben maradnak. Ekkor az anyag deformációja fémszerű, a maximális deformáció általában kisebb, mint 5%.

Ha a hőmérséklet eléri az üvegesedési hőmérsékletet, akkor a termikus rezgések kiterjednek a polimerlánc szegmenseire is. Ekkor jellemző a nagymértékű rugalmas alakváltozás (akár több száz százalékos), a deformáció erősen nem lineáris. Ha a hőmérséklet sokkal nagyobb az üvegesedési hőmérsékletnél, akkor a polimerláncok elcsúsznak egymáson, viszkózus folyás történik.

1.2.2. Kristályos polimerek

Ezekben az anyagokban a periodikus rendet a szegmensek közt kialakuló másodlagos kötések hozzák létre, ezek a kötések gyengébbek, mint az ionos, illetve fémes kötés, így a rugalmas állandók kicsik. A rugalmas modulusok erős hőfüggést mutatnak.

1.2.3. Töltött polimerek

A polimerhez olvadt állapotban szerves adalékanyagot kevernek, így változtatva az anyag fizikai tulajdonságait. A töltőanyag erősen befolyásolja az amorf és a kristályos fázis arányát.

1.3. Deformációs folyamatok vizsgálata

A polimer minta erő hatására bekövetkező alakváltozásának hőmérsékletfüggésének vizsgálatával akarjuk meghatározni a kívánt paramétereket. Ennek érdekében a vizsgálandó mintát periodikus feszültséggel terheljük. Emellett egy állandó feszültséggel húzzuk a mintát. Ha ez az erő nem volna nagyobb, mint a periodikus jel amplitúdója, akkor a minta kihajlana, és nem volna jó a mérés.

A periodikus jel hatására kialakuló deformáció fáziseltérésben van a terheléshez képest. Ennek segítségével a belső súrlódást (BS) így definiáljuk:

$$BS = \frac{1}{2\pi} \frac{\Delta W}{W} = \tan \varphi, \quad (1)$$

ahol ΔW az egy periódus alatti energiavesztés, W pedig a potenciális energia, φ pedig a fáziskülönbség. A belső súrlódás erősen hőmérséklet és frekvenciafüggő. A használt frekvencia nem lehet nagy mivel a minta hővezetése nem jó, ezért a túl nagy frekvenciájú feszültség hatására keletkező hő nem vezetődik el, így a minta a kelleténél jobban felmelegszik.

1.4. Relaxációs modellek

Ezek segítségével meghatározhatjuk a belső súrlódás maximumához tartozó hőmérséklet és frekvencia közti összefüggést. Ha egy testet kismértékű állandó erővel terhelünk, akkor kétféle deformáció játszódik le: egy gyors rugalmas, és egy lassabb nyúlás. Ha a feszültséget elosztjuk az aktuális deformációval, megkapjuk az időfüggő Young-modulust. Ha csak a deformáció rugalmas részével osztjuk le, akkor a nem-relaxált modulust kapjuk (E_U).

1.5. A mérési feladatok

1. Mérjük meg egy polimer minta belső súrlódását (BS), deformációját (ε) és differenciális Young-modulusát a hőmérséklet függvényében.
2. A mérési adatok alapján az üvegesedési hőmérséklet meghatározása.
3. A mérési adatok alapján a hőtágulási-együttható meghatározása.
4. A mérési adatok alapján a Young modulus meghatározása.

A mérés során használt eszközök, és anyagok:

- MTS anyagvizsgáló gép
- Számítógép az adatok felvételéhez és feldolgozásához
- Folyékony nitrogén a hűtéshez
- Polimer minta

2. Mérés

2.1. Mérjük meg egy polimer minta belső súrlódását, deformációját és differenciális modulusát a hőmérséklet függvényében

A minta adatai:

A vizsgált minta hossza $l = 25$ mm.

A keresztmetszete $A = 10$ mm².

A mérési beállításaink:

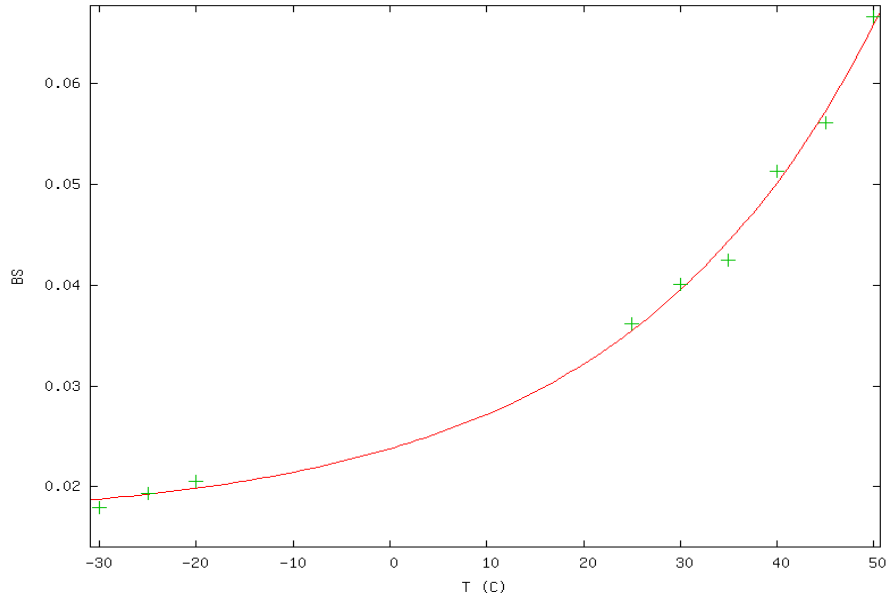
A mérést -30 °C-tól +50 °C hőmérsékletig végeztük 5 °C-os lépésenként. A mintát $F_s = 220$ N statikus erővel terheltük, amire még 200 N 1 Hz-es frekvenciájú periódikus jelet kapcsoltunk. A mérések adatait a következő táblázatban tüntettem fel, ahol T a hőmérséklet, BS a belső súrlódás, E a Young modulus:

T (°C)	BS	δBS	ε	$\delta \varepsilon$ (10^{-4})	E	δE
-30	0,017988	0,030433	-0,29102	4,8879	8819,3	0,038894
-25	0,019328	0,021845	-0,28438	4,1912	8556,6	0,038894
-20	0,020511	0,014688	-0,27928	2,5517	8342,9	0,038902
-15	0,025849	0,021538	-0,27460	3,3618	7965,5	0,038895
-10	0,034296	0,022497	-0,26877	2,9805	7523,0	0,038893
-5	0,052850	0,004426	-0,26218	3,3652	6873,6	0,038893
0	0,068813	0,005248	-0,25383	1,6871	5978,1	0,038914
5	0,069000	0,002928	-0,24187	2,7108	4944,8	0,038893
10	0,057484	0,004836	-0,23198	3,1643	4411,2	0,038894
15	0,047480	0,005141	-0,21945	4,2505	3989,2	0,038894
20	0,038770	0,006980	-0,20449	3,0707	3662,3	0,038893
25	0,036190	0,005374	-0,19184	3,1237e	3436,0	0,038894
30	0,040136	0,002873	-0,16817	6,3883	3108,8	0,038893
35	0,042531	0,004418	-0,15551	18,477e	2933,8	0,038903
40	0,051347	0,005275	-0,11957	32,007	2536,8	0,038911
45	0,056149	0,004777	-0,08755	33,716	2269,8	0,038910
50	0,066617	0,004451	-0,05353	75,112	2037,3	0,038929

1. táblázat. A belső súrlódás mérési adatai.

2.2. Az üvegesedési hőmérséklet meghatározása a mérési adatok alapján

Az üvegesedési hőmérsékletet úgy kaphatjuk meg, hogy a belső súrlódást ábrázoljuk a hőmérséklet függvényében. A pontokra egy Gauss-függvény és egy exponenciális függvény összege illeszthető. Ám ez így bonyolult. Először az exponenciális részt illesztjük, majd ezt levonjuk a mérési pontokhoz tartozó adatokból, és a maradékra illesztve a Gauss-görbét, a csúcspont adja meg az üvegesedési hőmérsékletet.



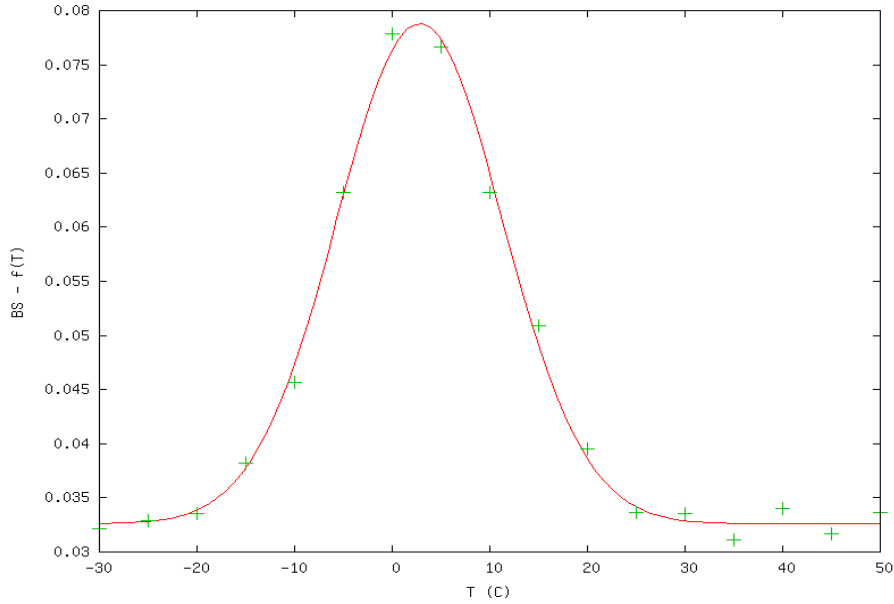
1. ábra. Az illesztett függvény az illesztési pontokkal.

Az illesztett függvény:

$$f(T) = a \cdot e^{bT} + c, \quad (2)$$

ahol az illesztett paraméterek értéke és hibája: $a = 0,00734051 \pm 0,001054$, $b = 0,0381656 \pm 0,002735$, és $c = 0,0164456 \pm 0,001106$. A relatív hibák: $\delta a/a = 14,36\%$, $\delta b/b = 7,166\%$, és $\delta c/c = 6,723\%$.

Levontam az eredeti adatokból a fenti $f(T)$ függvényt és a transzformált adatokra Gauss-görbét illesztettem. A Gauss-görbe középpontjából meghatározható az üvegesedési hőmérséklet.



2. ábra. Az üvegesedési hőmérséklet meghatározása.

Az illesztett görbe:

$$g(T) = a \cdot e^{\frac{(T-T_0)^2}{\sigma^2}} + b, \quad (3)$$

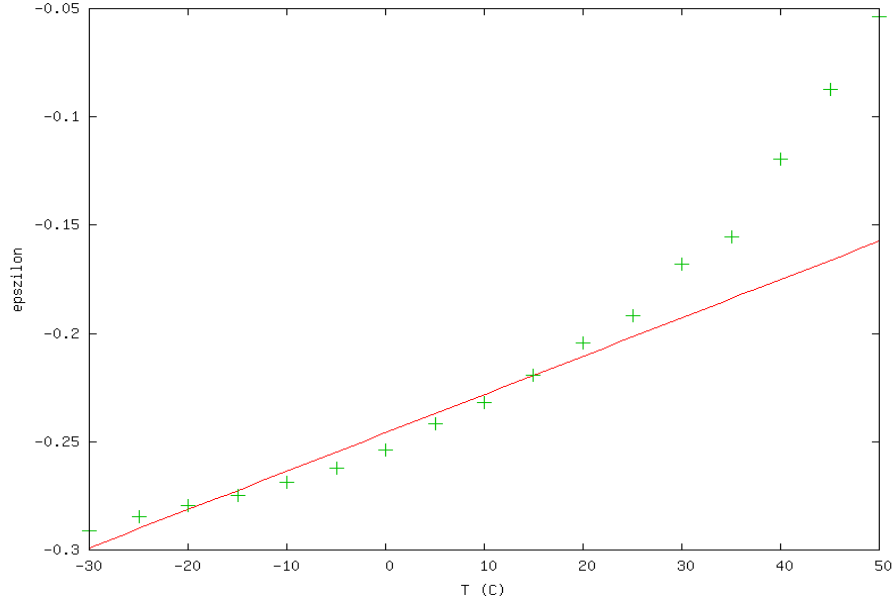
ahol az illesztett paraméterek értéke és hibája: $a = 0,0462058 \pm 0,000937$, $\sigma = 12,0168 \pm 0,3114$, $T_0 = 2,81283 \pm 0,1875$, és $b = 0,0326102 \pm 0,0004435$. Azaz a relatív hibák: $\delta a/a = 2,028\%$, $\delta \sigma/\sigma = 2,591\%$, $\delta T_0/T_0 = 6,667\%$, és $\delta b/b = 1.36\%$. A számított üvegesedési hőmérséklet: $T_g = -2,81 \pm 0,19 \text{ } ^\circ\text{C}$, aminek relatív hibája 6,76%.

2.3. A hőtágulási-együttható meghatározása

A hőtágulási-együtthatóról feltételezzük, hogy leírható a

$$\varepsilon^H(T) = \alpha(T - T_0) \quad (4)$$

kifejezéssel, ahol ε^H a minta hőtágulásából adódó deformáció. Ábrázolva az ε^H deformációt – amely adatokat az 1. táblázatból veszünk – a hőmérséklet függvényében és az adatokra egyenest illesztve kiszámítható a minta α hőtágulási-együtthatója.



2. ábra. Az ε^H deformáció a hőmérséklet függvényében.

Az illesztett függvény:

$$\varepsilon^H(T) = a \cdot T + b, \quad (5)$$

ahol az illesztett paraméterek értéke és hibája: $a = 0,00176993 \pm 0,0001086$ és $b = 0,245892 \pm 0,001894$. A relatív hibák: $\delta a/a = 6,136\%$ és $\delta b/b = 0,7703\%$. Innen a hőtágulási-együttható:

$$\alpha = \frac{a}{b} = (71,97 \pm 4,42) \cdot 10^{-4} \frac{1}{T}, \text{ azaz a relatív hiba: } 6,136\% \quad (6)$$

2.4. A Young modulus meghatározása

A differenciális modulust a mérési adatokat a laborban kiértékelve rögtön megkaptuk. Az adatokat a hőmérséklet függvényében ábrázoltam, és a pontokra egy negyedfokú $f(T) = a \cdot T^4 + b \cdot T^3 + c \cdot T^2 + d \cdot x + e$ görbét illesztettem. Ennek a görbének az inflexiós pontjaira vagyunk kíváncsiak.

Az illesztési paraméterek:

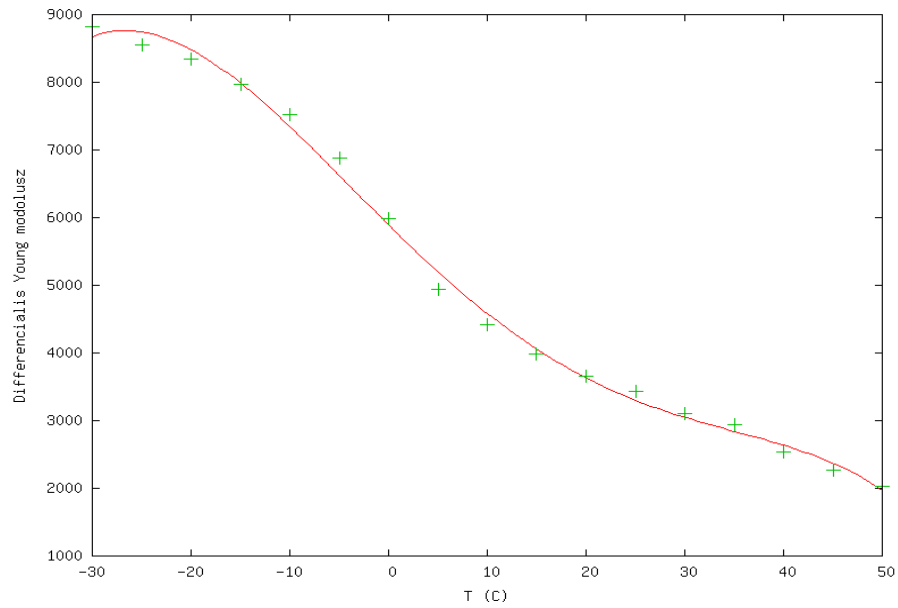
$$a = -0,000889331 \pm 0,0001722 \text{ (19,37\%)}$$

$$b = 0,0551481 \pm 0,007766 \text{ (14,08\%)}$$

$$c = 0,764398 \pm 0,2067 \text{ (27,04\%)}$$

$$d = -143,345 \pm 5,798 \text{ (4,045\%)}$$

$$e = 5893,76 \pm 71,23 \text{ (1,209\%)}$$



2. ábra. A differenciális Young modulusz a hőmérséklet függvényében.

A negyedfokú görbe második deriváltja: $f(T) = 12a \cdot T^2 + 6b \cdot T + c$, ahol ez zérussal egyenlő, ott lesz a görbének inflexiós pontja. Így:

$$T_{1,2} = \frac{-0,3309 \pm \sqrt{0,1095 - 4 \cdot 0,01067 \cdot 0,7644}}{2 \cdot (-0,01067)}, \quad (7)$$

ezért $T_1 = 2,51 \text{ } ^\circ\text{C}$ és $T_2 = 28,50 \text{ } ^\circ\text{C}$ a két inflexiós pont helye.

3. Irodalomjegyzék

[1.] Vörös György: Polimerek belsőúrlódásának vizsgálata - mérés leírás,
<http://szft.elte.hu/oktat/szlab/meresleirasok/belosurlodas.pdf>.

.....
 Barta Dániel