POLIMEREK IDŐFÜGGŐ MECHANIKAI JELLEMZŐI, ÖSSZEFÜGGÉSEIK ELMÉLETI ÉS KÍSÉRLETI ELEMZÉSE

PHD ÉRTEKEZÉS
ÍRTA: NAGY PÉTER

TÉZISEK

1. Lineárisan viszkoelasztikus viselkedésű anyagokra összefüggéseket dolgoztam ki a szakítógéppel előállítható, valós mechanikai gerjesztések esetén mérhető anyagválaszok között.

1.1 Deformáció-gerjesztés esetében kimutattam, hogy a t_0 idejű ($t_0 \geq 0$) valós felterhelés mellett mért $F_1(t)$ feszültségrelaxációs görbe és az állandó befogósebesség mellett mért $F_2(t)$ szakítógörbe között a következő rekurzió, illetve összeg típusú összefüggések állnak fenn:

$$F_2(t) = F_1(t) + F_2(t - t_0)\,, \quad t \geq t_0 > 0 \tag{T1.1}$$

$$F_2(nt_o) = \sum_{i=1}^{n} F_1(it_0)\,, \quad n \geq 1,\ t_0 > 0 \tag{T1.2}$$

A (T1.1) átrendezésével az $F_1(t)$ az $F_2(t)$-ből számítható. A (T1.2) összeg az $F_1(t)$ integráljához tart $t_0 \to 0$ esetén.

1.2 Erőgerjesztés esetében kimutattam, hogy a t_0 idejű ($t_0 \geq 0$) valós felterhelés mellett mért $\varepsilon_3(t)$ kúszásgörbe és az állandó $\dot{F}_0$ erőváltozási sebesség mellett mért $\varepsilon_4(t)$ szakítógörbe között a következő rekurzió, illetve összeg típusú összefüggések állnak fenn:

$$\varepsilon_4(t) = \varepsilon_3(t) + \varepsilon_4(t - t_0)\,, \quad t \geq t_0 > 0 \tag{T1.3}$$

$$\varepsilon_4(nt_o) = \sum_{i=1}^{n} \varepsilon_3(it_0)\,, \quad n \geq 1,\ t_0 > 0 \tag{T1.4}$$

A (T1.1) átrendezésével az $\varepsilon_3(t)$ az $\varepsilon_4(t)$-ből számítható. A (T1.4) összeg az $\varepsilon_3(t)$ integráljához tart $t_0 \to 0$ esetén.

2. Termoplasztikus, 40-50% kristályos részarányú (T_g<0°C) poliolefinek esetében kimutattam, hogy a szobahőmérsékleten mért szakítógörbe értékek, mint terhelési szintek mellett erőgerjesztésnél a feszültségrelaxációs görbe, deformációgerjesztésnél a kúszásgörbe – szakítási időt kétszeresét nem túlhaladó időponthoz tartozó – értékei között lineáris kapcsolat azonosítható.

2.1 Tipplen H543 F iPP esetén kimutattam, hogy a különböző terhelési szinteken meghatározott feszültségrelaxációs görbék t=300 s időnél mért értékei a deformáció-gerjesztés mellett kapott szakítógörbe vonatkozó pontjaihoz hasonló lefutást mutattak, amelyet a közöttük fennálló homogén lineáris kapcsolat magas jósági tényezője (R^2=0,9975) igazol.

2.2 Tipplen H543 F iPP esetén kimutattam, hogy a különböző terhelési szinteken meghatározott kúszás görbék t=73,6 s (szakadási) időnél mért értékei az erőgerjesztés mellett kapott szakítógörbe vonatkozó pontjaihoz hasonló lefutást mutattak, amelyet a közöttük fennálló homogén lineáris kapcsolat magas jósági tényezője (R^2=0,9991) igazol.

3. Termoplasztikus, 40-50% kristályos részarányú (T_g<0°C) poliolefinek esetén szobahőmérsékleten végzett vizsgálatok alapján kimutattam, hogy a mikrorepedezés tartománya alatti különböző terhelési szinteken mért $F_1(t)$ feszültségrelaxációs görbék és a deformáció-gerjesztésű $F_2(t)$ szakítógörbék közötti kapcsolat egy nemlineárisan viszkoelasztikus (NLVE) és egy lineárisan viszkoelasztikus (LVE) típusú leképezés egymás utáni alkalmazásával becsülhető:

$$F_1(t) \overset{NLVE}{\rightarrow} F_{11}(t) \overset{LVE}{\rightarrow} F_{112}(t) \approx F_2(t) \tag{T3.1}$$

ahol $F_{11}(t) \overset{LVE}{\rightarrow} F_{112}(t)$ LVE leképezés a (T1.1) összefüggéssel adott:

$$F_{112}(t) = F_{11}(t) + F_{112}(t - t_0),\ t \geq t_0 > 0 \tag{T3.2}$$

Az $F_1(t) \overset{NLVE}{\rightarrow} F_{11}(t)$ leképezéshez két megoldást dolgoztam ki.

3.1 Kimutattam, hogy a Tipplen H543 F iPP esetén az alábbi nemlineáris függvény alkalmas az $F_1(t) \rightarrow F_{11}(t)$ külső leképezésként:

$$F_{11}(t) = F_{11}(t_o) - a(\varepsilon_0)\left[F_1(t_0) - F_1(t)\right]^{b(\varepsilon_0)} e^{c(\varepsilon_0)[F_1(t_0) - F_1(t)]} \tag{T3.3}$$

ahol a, b, c az ε_0 terhelési szintektől függő állandók. A becsült és a mért szakítógörbe értékek jó illeszkedését a tapasztalt magas (az ε_0=0,08% és ε_0=1,0% közötti kezdeti nyúlásszint tartományban $R^2 \geq$ 0,9986) jósági tényezők bizonyítják.

3.2 Kimutattam, hogy a Tipplen H543 F iPP esetén az alábbi nemlineáris függvények alkalmazhatók az $F_1(t) \rightarrow F_{11}(t)$ belső, a $h(t)$ monoton növekedő függvénnyel meghatározott, alábbi alakú változó transzformációs leképezéshez:

$$F_{11}(t) = F_0 - b\left[F_0 - F_1\left(h(t)\right)\right] \tag{T3.4}$$

ahol F_0=$F(t_0)$ és b>0 állandó és

$$h1(t_1) = a\left(\frac{t_1 - t_0}{t_B - t_1}\right)^c + t_0 = a\left(\frac{\frac{t_1 - t_0}{t_B - t_0}}{1 - \frac{t_1 - t_0}{t_B - t_0}}\right)^c + t_0 \qquad c = 1 \text{ esetén } \dot{h}(t_0) > 0 \tag{T3.5}$$

$$h3(t_1) = a\,\frac{t_1 - t_0}{t_B - t_1}\left[1 + \left(\frac{t_1 - t_0}{t_D - t_0}\right)^c\right] + t_0,\ c > 0 \tag{T3.6}$$

$$h5(t_1) = a\,\mathrm{tg}\,\frac{\pi(t_1 - t_0)}{2(t_B - t_0)} + t_0, \quad t_0 < t_1 < t_B \tag{T3.7}$$

$$h6(t_1) = a(t_1 - t_0)^k e^{\frac{c}{1-\frac{t_1-t_0}{t_B-t_0}}} + t_0\,, \quad k = 1 \text{ esetén } \dot{h}(t_0) > 0 \tag{T3.8}$$

A becsült és a mért szakítógörbe értékek jó illeszkedését a tapasztalt magas jósági tényezők ($h1$: R^2=0,9984, $h3$: R^2=0,9920, $h5$: R^2=0,9932 és $h6$: R^2=0,9994, ε_0=0,08% kezdeti nyúlásszintnél) bizonyítják.

4. Termoplasztikus, 40-50% kristályos részarányú (T_g<0°C) poliolefinek esetén szobahőmérsékleten végzett vizsgálatok alapján kimutattam, hogy a mikrorepedezés tartománya alatti különböző terhelési szinteken mért $\varepsilon_3(t)$ kúszásgörbék és az erőgerjesztésű $\varepsilon_4(t)$ szakítógörbék közötti kapcsolat egy nemlineárisan viszkoelasztikus és egy lineárisan viszkoelasztikus típusú leképezés egymás utáni alkalmazásával becsülhető:

$$\varepsilon_3(t) \overset{NLVE}{\rightarrow} \varepsilon_{33}(t) \overset{LVE}{\rightarrow} \varepsilon_{334}(t) \approx \varepsilon_4(t) \tag{T4.1}$$

Az $\varepsilon_{33}(t) \overset{LVE}{\rightarrow} \varepsilon_{334}(t)$ LVE leképezés (T1.1) felhasználásával adható meg:

$$\varepsilon_{334}(t) = \varepsilon_{33}(t) + \varepsilon_{334}(t - t_0)\,,\ t \geq t_0 > 0 \tag{T4.2}$$

4.1 Kimutattam, hogy a vizsgált Tipplen H543 F iPP esetén az alábbi összefüggés alkalmas az $\varepsilon_3(t) \rightarrow \varepsilon_4(t)$ külső leképezésként:

$$\varepsilon_4(t) = \int_{t0}^{t} h_4(x)dx + \dot{\varepsilon}(t - t_0) \tag{T4.3}$$

A $h_4(t)$ függvényt a következő nemlineáris egyenlettel becsültem:

$$\hat{h}_4(t) = \frac{a\left(\dfrac{G_3(t)}{G_{30}}\right)^n}{\left(1 - \dfrac{G_3(t)}{G_{30}}\right)^m} \tag{T4.4}$$

ahol a, n m és G_{30} változtatható paraméterek, és $G_3(t)$-t a következő összefüggés alapján a mért kúszás görbéből (ε_3) számítottam:

$$G_3(t) = \int_{t0}^{t} \varepsilon_3(x)dx \tag{T4.5}$$

A becsült és a mért szakítógörbe értékek jó illeszkedését a tapasztalt magas (az F_0=100 N és F_0=400 N közötti terhelési szint tartományban $R^2 \geq 0{,}9978$) jósági tényezők bizonyítják.

4.2 Kimutattam, hogy a vizsgált Tipplen H543 F iPP esetén az alábbi nemlineáris függvények alkalmazhatók az $\varepsilon_3(t) \rightarrow \varepsilon_{33}(t)$ belső, a $h(t)$ monoton növekedő függvénnyel meghatározott, alábbi alakú változó transzformációs leképezéshez:

$$\varepsilon_{33}(t) = \varepsilon_0 + b\left[\varepsilon_3\big(h(t)\big) - \varepsilon_0\right] \tag{T4.6}$$

ahol $\varepsilon_0=\varepsilon(t_0)$, b>0 állandó és a $h(t)$ függvények megegyeznek a (T3.5-T3.8) egyenletekkel. A becsült és a mért szakítógörbe értékek jó illeszkedését a tapasztalt magas jósági tényezők ($h1$: R^2=0,9989, $h3$: R^2=0,8257, $h5$: R^2=0,9981 és $h6$: R^2=0,9773, F_0=100 N kezdeti terhelési szintnél) bizonyítják.

5. Termoplasztikus, 40-50% kristályos részarányú (T_g<0°C) poliolefinek esetén szobahőmérsékleten végzett vizsgálatok alapján kimutattam, hogy az erőgerjesztésű $\varepsilon_4(t)$ szakítógörbék és a különböző, a mikrorepedezés tartománya alatti terhelési szinteken mért $\varepsilon_3(t)$ kúszásgörbék közti kapcsolat egy lineárisan viszkoelasztikus és egy nemlineárisan viszkoelasztikus leképezés egymás utáni alkalmazásával becsülhető:

$$\varepsilon_4(t)\xrightarrow[S_4]{LVE}\varepsilon_{43}(t)\xrightarrow[S_{43}]{NLVE}\bar{\varepsilon}_{433}(t)\xrightarrow{Lin.transzf.}\varepsilon_{433}(t)\approx\varepsilon_3(t) \tag{T5.1}$$

Az $\varepsilon_4(t)\xrightarrow[S_4]{LVE}\varepsilon_{43}(t)$ LVE leképezés az alábbi módon adható meg:

$$\varepsilon_{43}(t)=S_4\left[\varepsilon_4(t)\right]=\varepsilon_4(t)-\varepsilon_4(t-t_0),\, t\geq t_0 \tag{T5.2}$$

Kimutattam, hogy a vizsgált Tipplen H543 F iPP esetén az alábbi összefüggés alkalmazható az $\varepsilon_{43}(t)\xrightarrow[S_{43}]{NLVE}\bar{\varepsilon}_{433}(t)$ belső változótranszformációs leképezéseként:

$$\bar{\varepsilon}_{433}(t)=\varepsilon_{43}(h^{-1}(t)),\; t_0\leq t\leq t_{s3} \tag{T5.3}$$

$$\text{amiből}\quad \varepsilon_{433}(t)=\varepsilon_0+b_{433}\left(\varepsilon_{43}(h^{-1}(t))-\varepsilon_0\right) \tag{T5.4}$$

$$\text{és}\quad h^{-1}(t)==h6^{-1}(t)=t_0+(t_B-t_0)\left(\frac{\ln(1+\frac{t-t_0}{t_a})}{c+\ln(1+\frac{t-t_0}{t_a})}\right) \tag{T5.5}$$

A becsült és a mért kúszásgörbe értékek jó illeszkedését az F_0=100 N – F_0=400 N terhelési szint tartományban az $R^2\geq$0,9962 jósági tényező bizonyítja.