FIATAL MŰSZAKIAK TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAKA XVIII.

Kolozsvár, 2013. március 21–22.

VISZKOELASZTIKUS VIZSGÁLAT MODELLEZÉSE

LENDVAI László, GONDA Viktor

Abstract

The paper deals with the analysis of viscoelastic testing of thermosetting resins using the finite element method (FEM). To conduct virtual experiments, we built a model for the dynamic mechanical analysis (DMA) method by using MSC MARC code. We describe one possible application of this model. We examined the effects of the preloading time on the complex modulus and the phase for low-medium frequency range.

Key words:

viscoelasticity, FEM, MSC.MARC Mentat, DMA

Összefoglalás

A cikk viszkoelasztikus tulajdonságokkal bíró polimer mechanikai vizsgálatának végelelemes modellezéséről szól. Virtuális kísérleteink során a dinamikus mechanikai tesztet vizsgáltuk az MSC MARC szoftver segítségével. A cikkben bemutatjuk a modell lehetséges alkalmazásainak egyikét. Meghatározzuk a komplex rugalmassági modulus és a fáziseltolás függését az előterhelési időtől és a frekvenciától.

Kulcsszavak:

viszkoelasztikus viselkedés, végelelemes módszer, MSC.MARC Mentat, DMA

1. Bevezetés

Viszkoelasztikus anyagokon végzett DMA mérések során a feszültséget jellemzően csak attól a ponttól vizsgálják, ahol a kezdeti, tranziens jelenségek már lecsengtek, ilyenkor áll be ugyanis az ún. állandósult állapot. Amennyiben ettől eltérően járunk el, az jelentős mértékben meghamisíthatja a mérési eredményeket. Szimulációnk során azt elemeztük, hogy az adott jelenségből kifolyólag bizonyos vizsgált paraméterek milyen mértékben változhatnak.

2. A viszkoelaszticitásról általánosságban

A viszkoelasztikus anyagok dinamikus jellemzőinek vizsgálatakor a próbatestben ébredő feszültséget mérjük szinuszosan lüktető nyúlásgerjesztés esetén, feszültséggerjesztés esetén pedig a nyúlást vizsgáljuk szinuszos feszültségterhelés során. A vizsgálat állandósult állapotának elérése után megfigyelhető, hogy a fellépő feszültség szintén szinuszos jellegű, melynek körfrekvenciája azonos a gerjesztésével, ám ahhoz képest δ fáziseltolásban van [1,2]. Akár nyúlás-, akár feszültséggerjesztésű gépről beszélünk, minden esetben a nyúlás lesz az a jellemző, amely a feszültséghez képest fázisban késni fog [2].

Nyúlásgerjesztés esetén a nyúlás-idő függvény az alábbi formában adható meg:

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_1 + \varepsilon_0 \cdot \sin(\omega t) \quad (1)$$

ahol ε_0 jelöli a szinuszosan lüktető nyúlás amplitúdóját, ε_1 annak középvértékét, ω a gerjesztés
körfrekvenciáját, a t pedig az időt.

A gerjesztés hatására jelentkező feszültség-idő függvény a következő alakban írható fel:

$$\sigma(t) = \sigma_1 + \sigma_0 \cdot \sin(\omega t + \delta) \quad (2)$$

mely egyenletben a δ jelenti a nyúlás és a feszültség közti fáziseltolást.

A modellezéssel előállított kísérleti eredmények kiértékelése során a 2. összefüggés ismeretlen elemeinek meghatározására szinuszos illesztést alkalmaztunk. A $\sigma(t)$ a modellezéssel generált adathalmaz, σ_1 , σ_0 és δ pedig ismeretlen tagok.

A feszültség időfüggvényét Fourier-sorának első két elemét meghatározhatjuk:

$$\sigma_1 = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt, \quad \sigma_0' = \frac{2}{T} \int_0^T x(t) \cdot \sin(\omega t) dt, \quad \sigma_0'' = \frac{2}{T} \int_0^T x(t) \cdot \cos(\omega t) dt \quad (3-5)$$

Majd a feszültség amplitúdóját a következő összefüggés segítségével írhatjuk fel:

$$|\sigma_0| = \sqrt{(\sigma_0')^2 + (\sigma_0'')^2} \quad (6)$$

Ezek alapján a fáziseltolás:

$$\delta = \arctan \frac{\sigma_0''}{\sigma_0'} \quad (7)$$

Ezek ismeretében meghatározható az anyag komplex rugalmassági modulusa, mely a tárolási és a veszteségi modulus összegeként írható fel:

$$E = E' + iE'' \quad (8)$$

ahol az E' a tárolási, az E'' pedig a veszteségi modulus:

$$E' = \frac{\sigma_0}{\varepsilon_0} \cos \delta, \quad E'' = \frac{\sigma_0}{\varepsilon_0} \sin \delta \quad (9-10)$$

3. Vizsgálati módszer és eredmények

Szimulációs vizsgálataink elvégzéséhez az MSC MARC végelelemes szoftverben hengeres próbatestet hoztunk létre. Az általunk megalkotott virtuális próbatest magasságát 8 mm-nek, átmérőjét 20 mm-nek vettük fel. A szerszámot merevnek feltételeztük. A próbatest és a szerszámlap közti súrlódási együttható értéke $\mu=0,2$ volt.

Lineáris viszkoelasztikus anyagmodellt használtunk. Az anyagtulajdonságok beállításához egy az M.S. Kiasat munkásságai [3] során felvett Prony-sor adatait vettük alapul. Az említett kutató telítetlen poliésztergyantán végzett mérések alapján felvett relaxációs görbét közelítette a 11. összefüggésben megadott alakú Prony-sorral:

$$E(t) = \sum_{n=1}^N E_n \exp\left(-\frac{t}{\tau_n}\right) \quad (11)$$

ahol N az elemek száma, τ_n a relaxációs idő, E_n a modulus spektrum n -edik elemének intenzitása.

Az 5 tagú Prony-sor elemeit az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat. A megfelelően illesztett ötelemű Prony-sor tagjai[3]

Tag	1	2	3	4	5
E [MPa]	188,7	184,7	217,7	229,7	1405,1
τ [s]	0,889	39,6	1030	27600	∞

Vizsgálataink során egy nyúlásgerjesztésű DMA berendezés működését szimulálva 3 különböző előterhelési idő (30, 300 és 3000 sec) esetében elemeztük, hogyan alakul a fáziseltolódás, a tárolási és a veszteségi modulus különböző frekvenciák mellett gerjesztve a próbatestünket.

2. táblázat. A vizsgálat során beállított paraméterek és a kapott értékek

Körffrek. ω [rad/s]	Fáziseltolás, δ [°]			Tárolási modulus [MPa]			Veszteségi modulus [MPa]		
	$t=30$ [s]	$t=300$ [s]	$t=3000$ [s]	$t=30$ [s]	$t=300$ [s]	$t=3000$ [s]	$t=30$ [s]	$t=300$ [s]	$t=3000$ [s]
0,01	22,53	6,78	6,65	1002	1585	1449	416	188	169
0,1	5,59	5,06	4,9	1767	1674	1611	173	148	138
1	6,49	6,45	6,09	1801	1735	1726	205	196	184
10	3,21	2,94	2,58	1878	1865	1862	105	96	84

1. ábra. A fáziseltolás, a tárolási és a veszteségi modulus alakulása a körffrekvencia függvényében különböző terhelési idők mellett

Mint az 1. ábrán is látható a 300, illetve a 3000 sec-hez tartozó eredmények gyakorlatilag minden esetben ugyanazt az értéket veszik fel. A 30 sec-ig tartó szimuláció esetében is elsősorban csak alacsonyabb frekvenciákon figyelhető meg jelentősebb eltérés az előző két terhelési időhöz képest. Eszerint attól tehetjük függővé a terhelés idejének hosszát, hogy milyen szigorúak az elvárásaink az eredmények pontosságát illetően. Mindazonáltal néhány perc eltelte után már csak abban az esetben érdemes folytatni a dinamikus gerjesztést, ha különösen pontos eredményeket várunk a méréstől.

4. Összefoglalás

Viszkoelasztikus anyagok dinamikus mechanikai vizsgálatára alkalmas modellt hoztunk létre. Számos felhasználási lehetőségei közül egyet kiemelve a viszkoelasztikus tulajdonságokkal bíró polimer-anyagok DMA vizsgálata során jelentkező kezdeti tranziens effektusokat elemeztük. Az állandósultnak tekinthető állapot eléréséhez szükséges idő frekvenciánként lényegesen eltérő lehet. Megállapítottuk, hogy néhány perc eltelte után a manapság alkalmazott mérőberendezésekre jellemző minimális gerjesztési frekvencia esetén is elhanyagolhatóvá válik az elemzett paraméterek hibája.

A modell továbbá alkalmas egyéb vizsgálatok elvégzésére. Lehetőséget biztosít a hőmérséklet, a próbatest geometriája, valamint a szerszám és a próbatest közti súrlódási együttható megváltoztatására is, valamint annak elemzésére, hogy ezeknek milyen hatásai lehetnek.

Köszönetnyilvánítás

A cikk a TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások című projekt keretében készült. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

Irodalom

- [1] Bodor Géza - Vas László M.: *Polimer anyagszerkezetan*, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2005
- [2] David Roylance: *Engineering Viscoelasticity*, Department of Material Science and Engineering, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA 02139, 2001
- [3] Mehdi S. Kiasat: *Curing shrinkage and residual stresses in viscoelastic thermosetting resins and composites*, Doktori disszertáció, Delfti Műszaki Egyetem, Hollandia, 2000

Lendvai László, BSc

Munkahely: Óbudai Egyetem Bánki Donát
Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar,
Cím: 1081, Magyarország, Budapest,
Népszínház utca 8.
E-mail: lendvai.laszlo@bgk.uni-obuda.

Gonda Viktor, egyetemi docens, PhD

Munkahely: Óbudai Egyetem Bánki Donát
Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar,
Cím: 1081, Magyarország, Budapest,
Népszínház utca 8.
E-mail: gonda.viktor@bgk.uni-obuda