

Elektroreológiai elasztomer korongok külső elektromos tér hatására történő deformációjának vizsgálata

Investigation of deformation of electrorheological elastomer discs by external electric fields

BALOGH Diána (MSc), SZALAI István (DSc)

Pannon Egyetem, Mérnöki Kar, Mechatronikai Képzési és Kutatási Intézet
H-8900 Zalaegerszeg, Gasparich Márk u. 18/A. C épület

¹ balogh.diana@mk.uni-pannon.hu; ² szalai@almos.uni-pannon.hu

Abstract

The aim of our research was to examine different concentrations of barium titanate based on electrorheological (ER) elastomeric discs and to investigate the extent of their deformation due to external electric field. A laser sensor measuring system was set up for more exact measurements. As a result, the discs contracted to the outer space, the extent of which depended on the concentration of ER elastomeric filler. Further examination of the samples revealed a relationship between the barium titanate content and the amount of dielectric permittivity.

Keywords: electrorheological elastomers, contraction, dielectric permittivity

Kivonat

Munkánk során különböző koncentrációjú bárium-titanát alapú elektroreológiai (ER) elasztomer korongokat készítettünk és vizsgáltuk ezek külső elektromos tér hatására bekövetkező deformációjának nagyságát. A megfelelő mérésekhez egy lézerszenzoros mérőrendszert állítottunk össze. Megállapítottuk, hogy a korongok a külső tér irányában kontrakciót szenvednek, amelynek mértéke függ az ER elasztomer töltőanyag koncentrációjától. A minták további vizsgálata során összefüggést állítottunk fel a bárium-titanát tartalom és a dielektromos permittivitás nagyságára vonatkozólag.

Kulcsszavak: elektroreológiai elasztomer, kontrakció, dielektromos permittivitás

1. Bevezetés

A korszerű multifunkcionális anyagokkal végzett kutatásokban kiemelkedő szerepe van az intelligens anyagoknak, melyek képesek reagálni környezetük egy tulajdonságának megváltoztatására. Ezen anyagok egy olyan csoportjába tartoznak az elektroreológiai (ER) elasztomerek, amelyek mikro- vagy nanométeres méretű dielektromos részecskéket tartalmaznak elasztikus polimer mátrixba ágyazva. Az ER-elasztomerek esetén a hordozóanyag dielektromos permittivitása általában kisebb, mint a részecskéké. Külső elektromos térre érzékeny anyagokként viselkednek, azaz ha az elasztomert külső elektrosztatikus térbe helyezve polarizáljuk, a beágyazott részecskéknek dipólusmomentuma indukálódik, melynek nagysága arányos a beágyazott részecskék térfogatával és a dielektromos permittivítások különbségével. Külső elektromos térben az indukált dipólusok kölcsönhatása által az elasztomer korong geometriai méretei megváltoznak. A térrel párhuzamos irányban a dipólus-dipólus kölcsönhatás miatt kontrakció jön létre. A külső elektromos tér intenzitásának változtatásával méretváltozás érhető el. [1-2]

Kutatásainkat az elektromos tér hatására bekövetkező kontrakció aktuátorteknikai alkalmazásainak lehetősége motiválta, melyhez a dielektromos permittivitás mérését is társítottuk. Az aktuátorteknikai alkalmazások kidolgozásához pontos mérés technikát kell kialakítani a méretváltozások meghatározására. Jelen közleményünkben az ER elasztomer korongok elektromos tér okozta változásait és a mintákon mért dielektromos permittivitás változását mutatjuk be.

2. Anyagok és kísérleti berendezés

Kutatásunkhoz izotrop elektorreológiai elasztomer korongokat készítettünk, melyeket különböző koncentrációjú bárium-titanát töltőanyaggal láttunk el. A két-komponensű poli(dimetil-sziloxán) (PDMS) folyadék elegyben diszpergált bárium-titanát ($d < 5000$ nm) részecskéket a 3D nyomtatással készített korong alakú mintatartókba töltve, 350 K hőmérsékleten tartva, a minta 20 perc alatt kötött meg. Az 1. ábrán a fenti módon előállított bárium-titanát alapú ER elasztomer korongokat mutatjuk be.



1. ábra

Bárium-titanát alapú PDMS ER-elasztomer korongok

A minták készítése során fokozottan ügyeltünk arra, hogy homogén diszperziót hozzunk létre. Ehhez ultrahangos diszpergáló berendezést és vákuum szárítószekrényt használtunk. A homogén diszperziójú minták tömeg összemérés alapján eltérő tömegszázalékos összetételben ($c=0\%$ és $c=50\%$ között) 5%-os eltérésekkel készültek. A különböző töltöttségű ER-elasztomer mintákból 2-4 darabot készítettünk, így a vizsgálati eredmények pontossága ellenőrizhető.

A korongok deformációjának vizsgálatához összeállítottunk egy mérőrendszert (lásd 2. ábra), amely alkalmas különböző nagyságú elektromos terek hatására bekövetkező méretváltozások pontos mérésére. Az ER-elasztomer korongot az ábrán látható módon egy síkkondenzátor elektródái közé helyeztük, melyre egy nagyfeszültségű tápegységet (NF) kapcsoltunk. Így $U=0$ V és $U=3000$ V között tudtuk változtatni az elasztomer korongra adott feszültséget, mely a mintán néhány mikrométeres elmozdulást eredményezett az elektromos tér hatására. A kontrakció méréséhez egy szabályozható laboratóriumi tápegységre (TF) kapcsolt BOD 26K-LA01-S4-C típusú lézeres távolságmérő szenzort (L) használtunk. A szenzor az elasztomer korongok méretváltozásait feszültségváltozássá alakítja, amelyet egy multiméter (MM) segítségével mértünk.

Az ER-elasztomer korongok dielektromos permittivitásának vizsgálatát impedancia analízátor segítségével végeztük, és nagyságának meghatározásához az alábbi összefüggést alkalmaztuk:

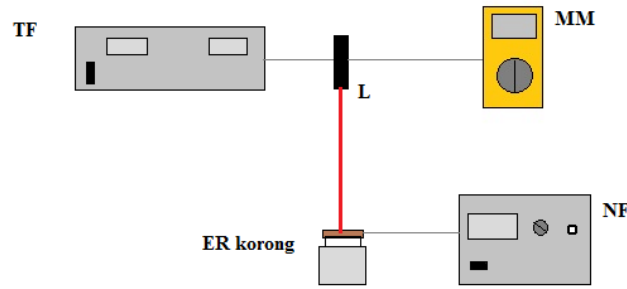
$$\epsilon_r = \frac{t_a \cdot C_p}{A \cdot \epsilon_0} = \frac{t_a \cdot C_p}{\pi \cdot (r)^2 \cdot \epsilon_0} \quad (1)$$

ahol t_a – ER elasztomer korong magassága,

C_p – párhuzamos kapacitás,

A – mérőfej keresztmetszete,

r - mérőfej sugara, amely $r = 2,5 \cdot 10^{-3}$ [m] és $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12}$ [F/m].



2. ábra

ER-elasztomer korongok kontrakciójának mérési rendszere

3. Mérési eredmények és értékelésük

A 3. ábrán mutatjuk be az ER-elasztomer korong alakú mintákra kapott mérési eredményeinket. A minták az elektromos tér irányában kontrakciót szenvednek. Ez a dipólus-dipólus kölcsönhatással magyarázható, azaz az egymás mögött lévő, azonos irányú dipólusok vonzó erőt fejtenek ki egymásra.

Mint az ábrán látható $E=0$ V/m és $E \approx 10^6$ V/m között változtatott külső elektromos tér hatására bekövetkező kontrakció egy telítési állapot eléréseig másodfokú összefüggést mutat. Ez a vizsgált minták esetén azt jelenti, hogy $c=5\%$ és $c=35\%$ között másodfokú összefüggés áll fenn a térerősség és a kontrakció között. $c=40\%$ -nál telítési állapotra jellemző kapcsolat kezdődik, melyet legerőteljesebben a $c=50\%$ -os mintákon mért eredmények mutatnak. A mérési adatokra az alábbi másodfokú egyenletet illesztettük:

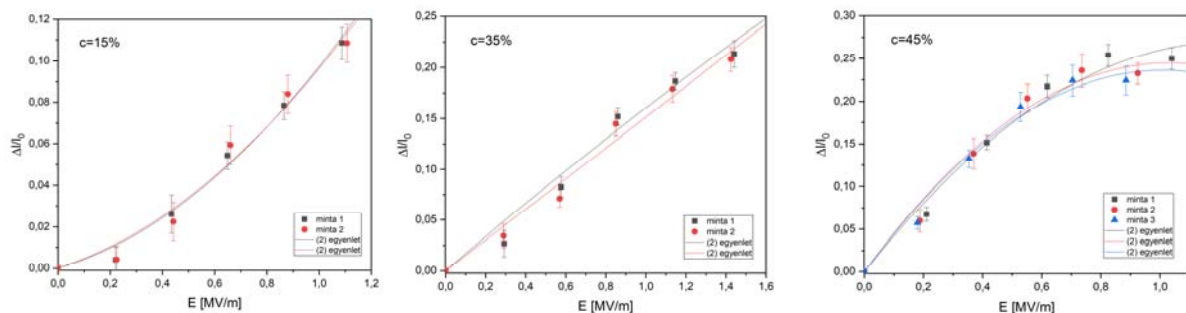
$$\frac{\Delta l}{l_0} = b \cdot E^2 \quad (2)$$

ahol: Δl - ER elasztomer korong magasságváltozása,

l_0 – ER elasztomer korong kezdeti magassága,

E – elektromos térerősség nagysága,

b – másodfokú egyenlet együtthatója.

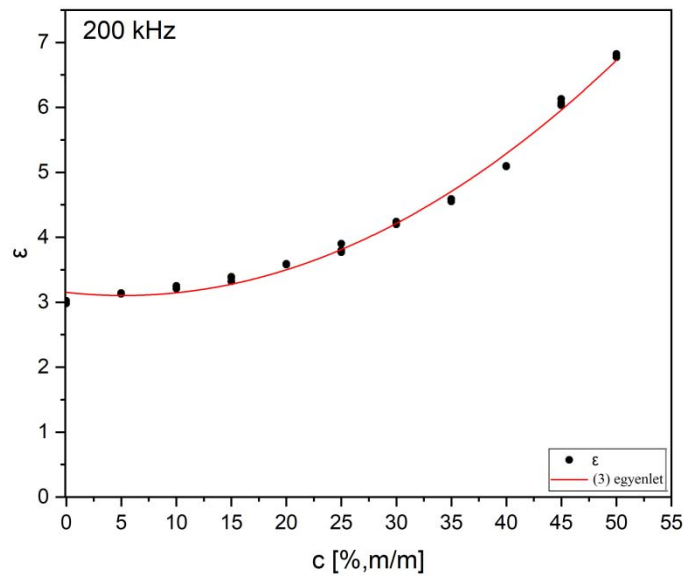


3. ábra

Külső elektromos tér hatására bekövetkező kontrakció eltérő koncentrációjú minták esetén

A 4. ábrán láthatók a dielektromos permittivitás mérésekor kapott eredményeink. Egyértelműen látható, hogy a töltőanyag koncentráció növekedése és a dielektromos permittivitás értéke között jó közelítéssel szintén másodfokú kapcsolat áll fenn. A dielektromos permittivitás mért értékeire az alábbi másodfokú egyenlet illeszthető:

$$\varepsilon = a + b \cdot c^2 \quad (3)$$



4. ábra

Dielektromos permittivitás koncentráció-függvénye

4. Összefoglalás

Bárium-titanát alapú elektorreológiai elasztomer korongokat készítettünk és mértük azok külső elektromos tér hatására bekövetkező kontrakcióját. Megállapítottuk, hogy különböző koncentrációkon a kontrakció mértéke és az elektromos térerősség között egy telítési állapot eléréséig másodfokú összefüggés áll fenn. Vizsgálataink kiterjedtek a dielektromos permittivitás mérésére is. A mérési eredmények megmutatták, hogy a töltőanyag koncentráció növekedése és a dielektromos permittivitás értéke között jó közelítéssel szintén másodfokú kapcsolat áll fenn.

A mérési eredmények arra engednek következtetni, hogy a közeljövőben lehetséges egy bárium-titanát alapú ER-elasztomerekkel működtetett aktuátor kifejlesztése.

5. Irodalomjegyzék

- [1] C. Niu, X. Dong, M. Qui: Enhanced Electrorheological Properties of Elastomers Containing TiO₂/Urea Core-Shell Particles, ACS Appl. Mater Interfaces, 24855, **11** (2015)
- [2] R. Tao: Electro-Rheological Fluids and Magneto-Rheological Suspensions, Word Scientific, London (2004)

6. Köszönetnyilvánítás

A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg. EFOP-3.6.2-16-2017-00002