



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Pattantyús-Ábrahám Géza Doktori Iskola

**Kis permeabilitású
hiperelasztikus poli(dimetil-sziloxán) mátrixú
kompozitok**

TÉZISFÜZET

Csizmadia József

Budapest

2008.

1. A kutatás előzményei

A ferrogél szabadalma [A] adott szabadságot aktuátortechnikai fejlesztéseimhez, s kezdtem meg kutatásomat **nemkonvencionális aktuátorok** körében. Ennek során az új anyagnak nem csak előnyeit, de hátrányait is megismertem. Az alkalmazási igényeket teljesítő új, egyszerre nagyrugalmas, mágneses tér hatására deformálódó anyagcsaládot kellett alkossak. Ehhez és az új anyag viselkedésének leírásához kutatásomat a **kis permeabilitású hiperelasztikus poli(dimetil-sziloxán) kompozitokra** (továbbiakban: hipomák) kellett fókuszáljam. Az anyagtudományi „kitérő” részemről jelentősnek bizonyult.

A már említett ferrogélekről bizonyosságot nyert, hogy csak kisebb erőhatás kifejtésére alkalmasak [B]. A hipomák deformációs jelensége kompozitszerkezetéből fakad. Az effektust saját vizsgálataimon kívül tölem független kutatócsoportok is igazolták [C] [D], a mágneses tér és a deformáció összefüggését is meghatározták [E].

Kutatásom megkezdésekor többen szkeptikusak voltak azzal kapcsolatban, hogy a hipomákban megfelelő anizotrópia alakítható ki, ami a konstrukciós igényeket kielégíti. Munkámmal párhuzamosan a kételyek eloszlottak [F] [G]. Ez idő alatt ismét mások részletesebben feltárták a hipomák mágneses és rugalmassági jellemzőinek hőmérsékletfüggéseit [H] [I]. A kompozit viselkedésének megismerését az egyidejűleg folyó szendvicsszerkezeti vizsgálatok [J] is segítették, melyek ugyancsak szilikon közegben tanulmányozták a mágneses anyagok viselkedését. Az adathordozókhoz filmként használt keménymágnes-töltetű hipomák hőmérséklet- és röntgenbesugárzás-függő mágneses rezonanciaspektrumai régebb óta ismertek [K].

A vezető szilikonok térhódításával egyidejűleg a dielektromos jellemzők vizsgálatait elvégezték elektro-reológiai folyadék [L], gélek [M] [N] és kompozitok esetében [O] [P] egyaránt.

A vizsgált anyagok mechanikai tulajdonságai a magnetoreológiai [Q] és az általános kompozitvizsgálati [R] [S] átfogó irodalmak megállapításaihoz állnak közel.

Hivatkozások

- [A] Zrínyi Miklós, Simon Cs., Gács J.: *Mágneses tulajdonságú polimergélek, eljárások, azok előállítására, azok alkalmazására*. Magyar Szabadalom: P95 02059
- [B] M. Farshad, M. Le Roux: *Compression properties of magnetostrictive polymer composite gels*, doi:10.1016/j.polymeresting.2004.09.007, *Polimer Testing*, 2005.
- [C] Giap V. Duong, R. Groessinger, M. Schoenhart, D. Beuno-Besques: *The lock-in technique for studying magnetoelectric effect*, doi:10.1016/j.jmmm.2007.03.185, *JMMM*, 2007.
- [D] Xinchun Guan, X. Dong, J. Ou: *Magnetostrictive effect of magnetorheological elastomer*, doi:10.1016/j.jmmm.2007.05.043, *JMMM*, 2007.
- [E] M. Farshad, A. Benine: *Magnetoactive elastomer composites*, doi:10.1016/S0142-9418(03)00103-X, *Polimer Testing*, 2004.
- [F] James E. Martin: *Using triaxial magnetic fields to create optimal particle composites*, doi:10.1016/j.compositesa.2004.10.020, *Composites-A*, 2005.
- [G] G. Ausanio, C. Hison, V. Iannotti, C. Luponio, L. Lanotte: *Elastomagnetic effect in novel elastic magnets*, doi:10.1016/j.jmmm.2003.12.1170, *JMMM*, 2004.
- [H] Stanislaw Bednarek: *Thermomagnetoelastic and electroelastic properties of a ferromagnetic composite within an elastomer matrix*, *Materials Science and Engineering B*, 55, 201-209, 1998.
- [I] Stanislaw Bednarek: *Elastic and magnetic properties of heat-shrinkable ferromagnetic composites with elastomer matrix*, *Materials Science and Engineering B* 77, 120–127, 2000.
- [J] C. Hison, V. Iannotti, J. Ausanio, C. Luponio, Luciano Lanotte: *A magnetoelastic amorphous ribbon in a silicone sheath as stress sensor and self indicator of strain threshold*, doi:10.1016/S0924-4247(03)00157-2, *Sensors and Actuators A*, 2003.
- [K] B.Z. Rameev, B. Aktas, R.I. Khaibullin et al: *Magnetic properties of iron-and cobalt-implanted silicone polymers*, *Vacuum* 58, 551-560, 2000.
- [L] Espín, M. J et al: *Effects of electric fields and volume fraction on the rheology of hematite/silicone oil suspensions*, *Rheologica Acta*, 44., 71-79, 2004.
- [M] X. Zhang, Weihua Li, X. L. Gong: *An effective permeability model to predict field-dependent modulus of magnetorheological elastomers*, *NSNS*, doi:10.1016/j.cnsns.2007.03.029, 2007.
- [N] Toshikatsu Tanaka: *Nanodielectrics*, Weseda, Fukuoka, 2007.
- [O] V. E. Gul': *Structure and Properties of Conducting Polymer Composites – New Concepts in Polymer Science*, VSP, Utrecht, 1996.
- [P] Tuncer, E., Gubanski, S. M.: *Electrical properties of filled silicone rubber*, *J. Phys: Condensed Matter*, 12, 1873, 2000.
- [Q] Marke Kallio: *The elastic and damping properties of magnetorheological elastomers*, VTT, p.149, Tampere, 2005.
- [R] Salvatore Torquato: *Random Heterogenous Materials – Microstructure and Macroscopic Properties*, p702, Springer Verlag, New York, 2000.
- [S] R. W. Cahn, P. Haasen, E. J. Kramer: *Material Science and Technology – Structure and Properties of Composites*, p625, VHC, Basel, 1993.

2. Célkitűzések

Célkitűzésem az alábbiak voltak.

- A) Egy új anyagcsalád megalkotása, amely mágneses, illetve mágnesezhető, nagyrugalmasságú és az elektromágneses gerjesztés által keletkező lokális melegedések miatt akár 2—300 °C-ig is hőálló.
- B) Az új anyagcsalád alkalmazási szempontból legjellemzőbb tulajdonságainak megismerése révén olyan összefüggések feltárása, melyekkel igény szerinti tulajdonságú kompozit összetétele tervezhető.

3. Alkalmazott vizsgálati módszerek

- pásztázó elektronmikroszkóp (SEM) vizsgálatok
- energiadiszperzív röntgen-analizátor (EDAX) vizsgálatok
- rezgőmintás magnetométerrel (VSM) végzett mérések
- koercitív-tér-mérés
- szuszceptibilitás-mérés (Gouy)
- elongáció mérés
- kezdeti permeabilitás mérése
- terjedési együttható mérése
- dinamikus mechanikai analízis (DMA)
- szakítóvizsgálatok
- nyomó vizsgálatok (→ Mooney-Rivlin)
- fárasztó vizsgálatok

4. Az eredmények hasznosítása

Kutatási eredményeim révén számos új aktuátortechnikai megoldás válik lehetségessé.

5. Új tudományos eredmények

I. TÉZIS

Kis permeabilitású hiperelasztikus poli(dimetil-sziloxán) mátrixú kompozitot (=hipomák) alkottam. Pásztázó elektronmikroszkópos (SEM) vizsgálatokkal igazoltam, hogy hipomákban szerkezeti anizotrópia hozható létre a szemcsék orientálása révén megfelelő gyártástechnológiával. A szerkezeti anizotrópiának következménye a mágneses anizotrópia is. Megállapítottam, hogy a mátrix és a töltőanyag között határovezeti sáv (határfázis) definiálható, mely a töltőanyag körül kéregképződést eredményezhet.

A téziszhez tartozó közlemények: [1] [2] [3]

II. TÉZIS

Hipomák rezgőmintás magnetométeres (VSM) vizsgálatai alapján kimutattam, hogy a mátrix kellő rögzítést biztosít a töltőanyag szemcséknek a kompozit mágneses stabilitása érdekében nagyobb (2,5 évet meghaladó) időtartamban is azok saját lemágnesező terével szemben. Igazoltam, hogy a töltőanyagok mágneses tulajdonságait a hipomák gyártástechnológiája módosíthatja annak kémiai összetétele, és szemcsemérete módosításával. Bizonyítottam, hogy keménymágneses tulajdonságú hipomák is megvalósítható.

A téziszhez tartozó közlemények: [4] [5] [6] [7]

III. TÉZIS

Megállapítottam, hogy a hipomák fajlagos mágnesezettségének telítési értéke elsősorban a kitöltéstől, azaz komponensek arányától függ, méghozzá a komponensek tömegarányában kell összegezni azok fajlagos telítési mágnesezettségeit. Bizonyítottam, hogy 25%-os szélességű hibasávokban a kompozitok identifikálhatóak. A kitöltés alapján és a VSM mérés alapján számított telítési mágnesezettségek eltérése átlagosan 8% alatti.

A téziszhez tartozó közlemény: [8] [9]

IV. TÉZIS

A hipomák szakítóvizsgálati eredményei alapján megállapítottam, hogy az adalékolás csökkenti a mátrix szakítószilárdságát. A szakítószilárdság a kitöltési tényező növelésével lineárisan csökken annak 0-0,75 tartományában EFI töltőanyag használatával.

Megállapítottam továbbá, hogy a kompozitoknak a kitöltési tényező spektrumában a mátrix szempontjából átmeneti csoportja van. A kompozit ebben a sávban mutatja a legalacsonyabb szakítószilárdságot.

A tézishoz tartozó közlemény: [10]

V. TÉZIS

Dinamikus mechanikai analízis (DMA) vizsgálatokra támaszkodva, a veszteségtényezők 273K alatti maximumainak analízise alapján megállapítottam, hogy az adalékolással a dinamikus mechanikai veszteségtényező csúcértéke csökken, valamint annak maximuma a kitöltés növelésével negatív irányba tolódik el.

A tézishoz tartozó közlemény: [10]

VI. TÉZIS

Új, a mágneses ellenállás elvén alapuló mérési módszert fejlesztettem ki kis permeabilitású rugalmas anyagok kezdeti permeabilitásának mérésére. Elemeztem a mérés alkalmazásának előnyeit és hátrányait. Megadtam a mérés kalibrációjának és kiértékelésének módját.

A tézishoz tartozó közlemények: [11] [12] [13] [14] [15]

Tézisekhez nem kapcsolódó közlemények: [16] [17] [18]

6. Saját közleményeim

- [1] J. Csizmadia: *Structure of Magnetic Rubber*, 3rd International Conference of PhD Students, Miskolc, p.1-8., 2001.
- [2] Nagy J., Csizmadia J. etc: *Mágneses tulajdonságú polimer kompozit és eljárás ennek előállítására (P 02 01946)*, Szabadalmi Közlöny és Védjegyértesítő, p.1135., Budapest, 2003.
- [3] Csizmadia J.: *Maxwell-Wagner polarizáció hipomákban*, Műszaki szemle, p. 96-100., 2008.
- [4] J. Csizmadia, J. Halas: *Magnetic Properties of Soft-Magnetic Silicons*, Hungarian Conference and Exhibition on Materials Science, Testing and Informatics, Balatonfüred, 2001.
- [5] J. Csizmadia: *Simulation of Magnetis Field in Magnetic Rubber*, microCAD 2002, F, p.7-14., Miskolc, 2002.
- [6] Csizmadia J.: *Hipomák mágneses tulajdonságai*, Elektronikai Technológia, Mikrotechnika ..., ..., 2009.
- [7] Csizmadia J.: *Állandómágneses anyagok aktuátorteknikai fejlesztésének energetikai szempontjai*, Műszaki Szemle, p. 84-87., Kolozsvár, 2002.
- [8] J. Csizmadia: *Interrelation Between Microstructure and Field Theory in MR Composites*, microCAD'2003, p.1-6., Miskolc, 2003.
- [9] J. Csizmadia, I. Mészáros: *Magnetic Saturation of Poly(dimethyl-siloxane) Matrix Composites Based Megnetorheological Elastomers*, Periodica Polytechnika Ser. Mech. Eng., 52, ..., 2008.
- [10] Csizmadia J.: *Hiperelasztikus mágneses kompozitok*, Műanyag és Gumi, 45, 7, p. 273-275., 2008.

-
- [11] J. Csizmadia: *Measuring of Weakly Magnetic Materials Magnetic Permeability*, 47. Internationales Wissenschaftliches kolloquium, p. 556-557., Ilmenau, 2002.
- [12] J. Csizmadia: *Measuring of Weakly Magnetic Materials Magnetic Permeability*, 47. Internationales Wissenschaftliches kolloquium, p81/p.1-8., Ilmenau, 2002.
- [13] J. Csizmadia: *Measuring of Permeability Concerning Weakly Magnetic Silicone Materials with Pot Core Pair*, J. Euromat, p. 33., Lausanne, 2002.
- [14] J. Csizmadia: *New measurement setup for magnetic permeability*, Gépészet 2002, p.780-784., Budapest, 2002.
- [15] Csizmadia J.: *Gyengén mágneses szilikon anyagok mágneses anyagjellemzőinek mérése*, microCAD, B, p.23-30., Miskolc, 2002.
- [16] Csizmadia J., Halas J., etc.: *Eszköz haladó mozgások megvalósítására csőszerű üregekben, járatokban*, Magyar Szabadalmi Hivatal, Budapest, P 02 01944, 2002.
- [17] Csizmadia J., Halas J., etc.: *Eszköz és rendszer vezérelt rugalmas alakváltozások megvalósítására*, Magyar Szabadalmi Hivatal, Budapest, P 02 01945, 2002.
- [18] Csizmadia J., Halas J., etc.: *Nyúlásmérő eszköz nagy nyúlások mérésére*, Magyar Szabadalmi Hivatal, Budapest, P 02 01947, 2002.