

Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság
Hungarian Technical Scientific Society of Transylvania

**XXVII. Nemzetközi
Gépészeti Konferencia**



**27th International Conference
on Mechanical Engineering**

OGGÉPÉ 2019

**Nagyvárad, 2019. április 25–28.
Oradea, 25-28 April, 2019**

Pontszerű terhelés vizsgálata egyedi mérőfeltéttel DMA berendezésben

POINTWISE LOAD TEST WITH UNIQUE MEASURING DEVICE IN A DMA MACHINE

KOTROCZ Luca¹, dr. BAKONYI Péter²

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Polimertechnika Tanszék,
H-1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3.

1: PhD hallgató; Tel.: +36-1-463-3083, e-mail: kotroczl@pt.bme.hu

2: adjunktus, laborvezető, Tel.: +36-1-463-1487, e-mail: bakonyi@pt.bme.hu

ABSTRACT

In this study we present measurements with a new mounting unit, developed for a Dynamic Mechanical Analyzer (DMA). The measuring condition was point load with a Vickers-type hardness probe, on photopolymer-based 3D printed specimens. We studied the effect of different load levels and time periods, in addition the effect of humidity and temperature as environmental parameters.

KIVONAT

A cikkben bemutatunk egy Dinamikus Mechanikai Analizátor (DMA) berendezéshez fejlesztett, új mérőfeltéttel végzett méréseket. A mérőfeltéttel pontszerű terhelést végeztünk Vickers-típusú keménységmérő fejjel, fotopolimer alapú 3D nyomtatott próbatesteken. A mérések során különböző terhelési szintek és időtartamok hatása mellett, vizsgáltuk a nedvességtartalom és a hőmérséklet, mint környezeti paraméterek hatását.

Kulcsszavak: pontszerű terhelés, fotopolimer, környezeti hatások, terhelési szint és idő

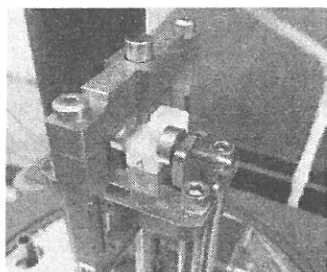
1. BEVEZETÉS

Napjainkban a polimerek egyre nagyobb teret nyernek az élet minden területén. Kis sűrűsége, korrózióállósága és rezgéscsillapító képessége mellett megfelelő szilárdsága több területen is alkalmassá teszi ezeket az anyagokat a fémek kiváltására, azonban mechanikai viselkedésük jelentősen eltérhet a fémek anyagoktól. Polimerek esetében nem elegendő a pillanatnyi mechanikai jellemzők vizsgálata (szakító- és hajlítóvizsgálatok), hiszen állandó, vagy ismétlődő tartós terhelésre jelentős, folyamatosan növekvő deformációval válaszolnak, ezt a jelenséget nevezzük kúszásnak. A kúszás mértékének vizsgálatára a legelterjedtebbek a húzó és hajlító igénybevételek vizsgálatok, azonban ezek mellett megjelenhet a csavarás, illetve a nyomás is. Utóbbi lehet felületen jelentkező, vagy pontszerű [1].

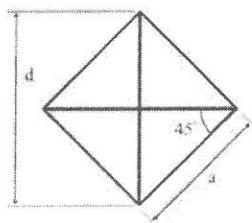
A keménységmérés kiválóan alkalmas a pontszerű nyomó igénybevételek vizsgálatára. A keménységmérés előnyeit megtartva (egyszerűség, anyagtakarékosság), fejlesztették ki a mélységérzékeny (dinamikus) keménységmérést (*depth sensing indentation* – DSI), amely a mechanikai tulajdonságok dinamikusan jellemzését is lehetővé teszi. Az eljárás lényege, hogy a mérőberendezés a mérőfejet a felületbe egyenletesen, állandó sebességgel, vagy állandó nagyságú terheléssel nyomja, majd megegyező sebességgel kiemeli [1]. Ezt az eljárást a kúszásvizsgálatokkal társítva, eredményesen alkalmazzák polimer anyagokon is, azonban megjegyzendő, hogy ezeket a méréseket szinte minden esetben szobahőmérsékleten végzik [2-4]. Polimer szerkezetek esetén azonban a szobahőmérséklettől való eltérő alkalmazási hőmérséklet nagyban befolyásolhatja a termék élettartamát, tönkremenetelét. Ezt a hiányosságot felfedezve döntöttünk egy új, pontszerű terhelés végzésére alkalmas mérőfeltét tervezése mellett, amelyet Dinamikus Mechanikai Analizátorban (DMA) alkalmazva lehetőség nyílik széles hőmérséklettartományban végezni statikus, vagy akár ciklikus, rövid, vagy hosszú idejű méréseket. A mérőfeltét megtervezése után [5-6], hőre lágyuló, illetve hőre nem lágyuló anyagokon végzett próbamérésekkel bizonyítottuk a mérőfeltét alkalmazhatóságát [7-9]. A cikkben bemutatott mérések a terhelési szint és idő hatásán kívül a környezeti paramétereket is figyelembe veszik.

2. A MÉRŐFELTÉT BEMUTATÁSA, ALKALMAZHATÓSÁGA

A legyártott mérőfeltétet, valamint a mérésekhez használt próbatestet az 1/a ábra, míg a Vickers-mérőfej által hagyott lenyomat elvi vázlatát az 1/b ábra mutatja be. A mérőfeltét ST32-es anyagból forgácsolással készült. A próbatesteket PolyJet technológiával gyártottam le a Stratasys RGD720-as alapanyagából [10]. A próbatestek befoglaló mérete 9x10x20 mm, a méréseket minden esetben az építési síkot tekintve a legfelső 10x20 mm-es rétegen végeztem.



a)

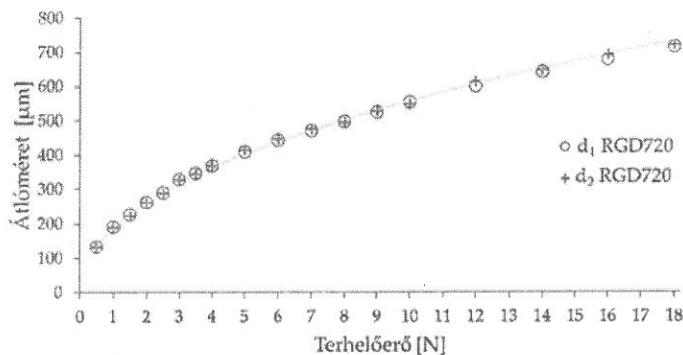


b)

1. ábra

A mérésekhez alkalmazott mérőfeltét és a befogott próbatestet (a) Vickers-mérőfej lenyomata

Az alkalmazhatóságot optikai mikroszkóppal ellenőriztem. Vizsgáltam, hogy a lenyomatok szimmetrikusak-e, ehhez a lenyomatok átlóját (d_1 , d_2 [μm]) lemértem, majd a terhelőerő függvényében ábrázoltam (2. ábra). Jól látható, hogy kis eltéréssel a mért átlók egy pontba esnek, ezáltal elmondható, hogy a lenyomatok szimmetrikusak, azaz a mérőfej a vizsgált síkra merőlegesen éri a próbatestet, így a mérőfeltét jól alkalmazható. Az átlóméreteket átlagolva, az (1)-es összefüggéssel (ahol F a terhelő erő [N], d az átlagos átlóméret [μm]) kiszámítható a Vickers-keménység.

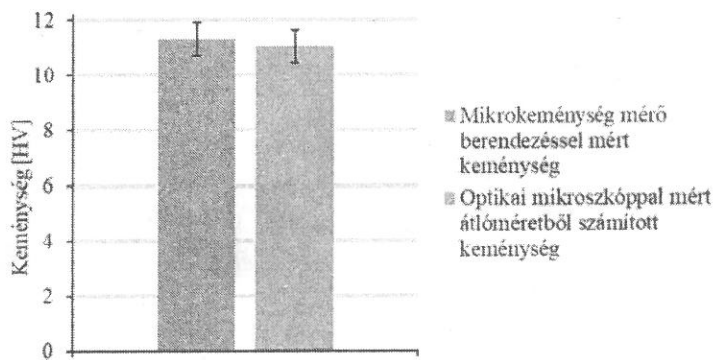


2. ábra

Az átlóméretek a terhelő erő függvényében

$$HV = 0,102 \cdot 1,854 \cdot \frac{F}{d^2} \quad (1)$$

Azonos terhelőerő, és terhelési idő mellett (0,98 N; 5 s) a lenyomatokból számított keménységet összevettem Buehler (USA) típusú mikrokeménységmérő berendezéssel mért értékekkel (3. ábra), és jól látható, hogy minimális eltéréssel (2,3%) ugyanazokat az értékeket kaptam. Ez alapján szintén elmondható, hogy az új mérőfeltét jól alkalmazható, továbbá belátható, hogy a DMA berendezésen végzett elmozdulás-nullpont és a feltét súlyának kalibrációja megfelelő eredményt ad.



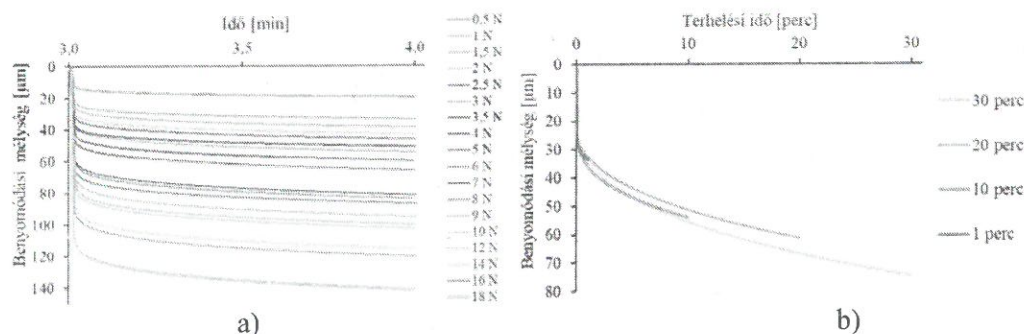
3. ábra

Mikrokeménység-értékek összehasonlítása

3. TERHELÉSI SZINT ÉS IDŐ HATÁSA

A mérések során a berendezés teljes erőtartományát (0,5-18 N), egyre ritkuló lépésközönként vizsgáltam, és a konstans terhelést 1 percig tartottam fenn. A DMA berendezés által rögzített görbéken (4/a ábra) jól látható, hogy a terhelőerő növekedésével a benyomódási mélység is egyre nagyobb értéket mutatott. Valamint az is jól látható, hogy már ezen a rövid időn belül is, az állandó értéken tartott terhelés mellett folyamatosan nőtt a deformáció, azaz jól láthatóan megjelent a kúszás jelensége.

A terhelési idő hatásának vizsgálatánál a terhelőerőt minden esetben 1 N-ra állítottam be, és csak a mérési időt növeltem, 1; 10; 20; illetve 30 percig. A rögzített görbéken (4/b ábra), ebben az esetben is megjelent a kúszás jelensége. Továbbá jól látható hogy a terhelés ráadásának pillanatában a görbék azonos meredekségűek, majd hasonló lefutásúak. A maximális benyomódás értékét ezzel összhangban a leghosszabb terhelési idő végén kaptuk.



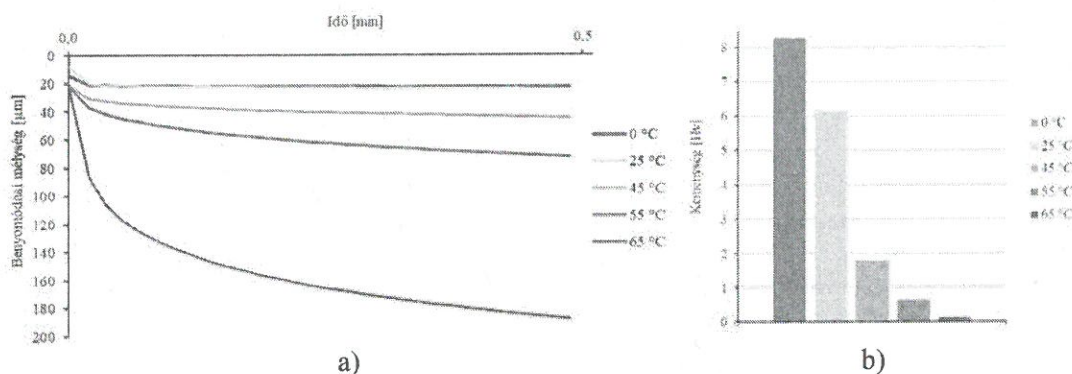
4. ábra. Benyomódási görbék, terhelő erő hatásának vizsgálata (a), terhelési idő hatása (b)

4. KÖRNYEZETI PARAMÉTEREK HATÁSA

A vizsgálati hőmérséklet változtatásának hatását 0; 25; 45; 55; illetve 65 °C-on, 1 N-os terhelés mellett vizsgáltuk. Azaz az anyag üvegesedési átmeneti hőmérséklete ($T_g=45-55$ °C) alatt és felett vizsgáltuk a próbatesteket. Minden esetben felfűtés után 30 percig kondicionáltuk a próbatesteket állandó hőmérsékleten, terhelésmentes állapotban. Majd a terhelést 30 s-ig fenntartva rögzítettük a benyomódás-idő görbét. A benyomódási mélységből a (2)-es összefüggés (ahol h a benyomódási mélység [μm], θ a mérőfej kúpszöge [rad]) segítségével kiszámítottuk az átlagos átlóméretet, majd abból a Vickers keménységértéket (1), és vizsgáltuk annak változását.

$$d = 2 \cdot \sqrt{2} \cdot h \cdot \tan \frac{\theta}{2} \quad (2)$$

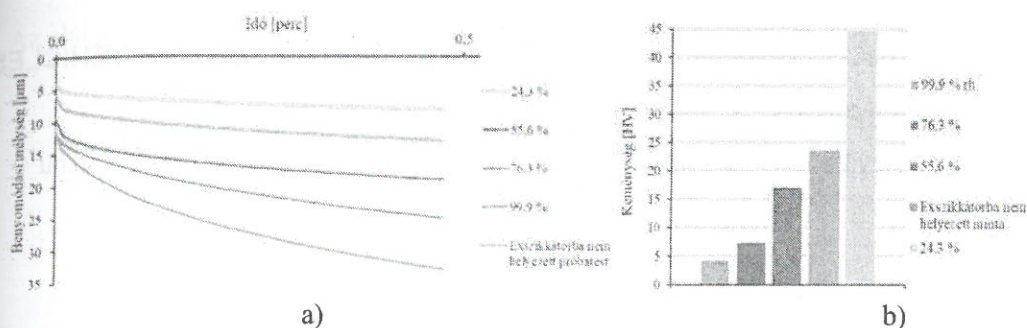
A benyomódási görbéken (5/a ábra) jól látható, hogy a hőmérséklet növekedésével a benyomódási mélység nő, ezzel párhuzamban pedig a számított keménység érték csökken (5/b ábra).



5. ábra. Hőmérsékletfüggés vizsgálata, benyomódási görbék (a), keménységértékek változása (b)

A környezet nedvességtartalmának a mérésekre gyakorolt hatásának vizsgálatához a próbatesteket exsikkátorba helyeztük 24 órára, 24,3; 55,6; 76,3; 99,9 %-os relatív páratartalom mellett. Az exsikkátorba nem helyezett minta 42%-os relatív páratartalmú helyiségben volt kondicionálva. Ebben az esetben is a terhelési szint 1 N, a terhelési idő pedig 30 s volt. Mind a benyomódási görbéken, mind pedig a keménység

értékeken (6. ábra) jól láthatóvá vált a nedvesség lágyító hatása, azaz a benyomódási mélység nőtt, míg a keménység csökkent a környezet relatív nedvességtartalmának függvényében.



6. ábra. Környezet páratartalmának hatása a benyomódási görbékre (a) és a mért keménységre (b)

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A szakirodalomban felfedezett hiányosságot, hogy mélységérzékeny keménységmérést polimerek esetén kevesen végeztek hőmérsékletfüggő vizsgálatokat, az új, DMA-ban alkalmazható mérőfeltét alkalmazásával áthidalhatjuk. Széles hőmérséklettartományban, vagy egyéb környezeti paraméterek mellett, lehetővé válik pontszerű terhelések vizsgálata, amely összevonható tartós terhelésnek kitett anyagok kúszásvizsgálatával. Az anyagviselkedést modellező végeselemes szimulációk segítségével még jobban feltárható, becsülhető az anyag, tartós idejű viselkedése.

Mivel keménységmérésre bizonyítottan jól alkalmazható az új mérőfeltét, így annak hőmérsékletfüggése is feltárható. Valamint különböző anyagok, vékonyfilmek, vagy bevonatok minősítésére is jól alkalmazható ez az eljárás.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Munkánkat a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal támogatta az NKFIH Alapból, az „Egyénre szabott orvos-biológiai implantátumok és segédeszközök új generációs gyártási folyamatának kidolgozása additív technológiákra” (NVKP_16-1-2016-0022) című projekt keretében.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Nagy P. M.: Viszkoelasztikus szerkezeti polimerek tömbi és felületi mechanikai tulajdonságainak vizsgálata benyomódási mérés technikával. PhD értekezés, ELTE, Budapest (2007)
- [2] Wei P. J., Shen W. X., Lin J. F.: Analysis and modeling for time-dependent behavior of polymers exhibited in nanoindentation tests. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 354 (2008) 3911–3918
- [3] Seltzer R., Mai Y.-W.: Depth sensing indentation of linear viscoelastic-plastic solids: A simple method to determine creep compliance. *Engineering Fracture Mechanics*, 75 (2008) 4852-4862
- [4] Altaf K., Ashcroft I. A., Hague R.: Modelling the effect of moisture on the depth sensing indentation response of a stereolithography polymer. *Computational Materials Science*, 52 (2012) 112-117
- [5] Kotrocz L., Bakonyi P.: Pontszerű terhelésre alkalmas mérőfeltét tervezése DMA berendezéshez. in 'OGÉT 2018, XXVI. Nemzetközi Gépészeti Konferencia Marosvásárhely, Románia. 2018.04.26-2018.04.29, (2018)
- [6] Kotrocz L.: Pontszerű terhelés vizsgálatára alkalmas mérőfeltét tervezése DMA berendezéshez, TDK dolgozat (2018)
- [7] Kotrocz L.: Fotopolimer alapú 3D nyomtatott termékek felületi mechanikai tulajdonságainak vizsgálata pontszerű terhelés esetén, Diplomamunka, BME (2018)
- [8] Kotrocz L., Bakonyi P.: The Examination of Photopolymer-based 3D Printed Products in the Case of Pinpoint Loading. in 'iCAT2018 7th International Conference on Additive Technologies Maribor, Szlovénia. 2018.10.10-2018.10.11., (2018)
- [9] Kotrocz L., Bakonyi P.: Pinpoint Loading Examinations of Poly(lactic acid) Biopolymers, *Acta Technica Jaurinensis*, 11, 4, 206-217 (2018)
- [10] Fullcure 720 (RGD720) alapanyag-adatlap, <http://www.stratasys.com> (2018.11.12.)

OGÉÉT 2019

EMT

ISSN 2068-1267

