

DMA VIZSGÁLAT 3D NYOMTATOTT PRÓBATESTEK FÁRASZTÓ VIZSGÁLATÁHOZ

DMA TESTS FOR 3D PRINTED SPECIMENS OF FATIGUE TEST

Fodor Antal^{*}

Járműtechnológia Tanszék, Neumann János Egyetem, GAMF Műszaki és Informatikai Kar, Magyarország

Kulcsszavak:

Gyors prototípusgyártás
Fárasztó vizsgálat
3DP műanyagok

Keywords:

Rapid Prototyping,
Fatigue testing,
3D printing plastics

Cikktörténet:

Beérkezett 2017. november 5.
Átdolgozva 2017. november 15.
Elfogadva 2017. november 18.

Összefoglalás

A „műszaki műanyagok” felhasználása mellett az utóbbi időben felgyorsult a 3D nyomtatott különböző műanyag alkatrészek felhasználása. Ennek megfelelően egyre gyakrabban terveznek direkt 3D nyomtatással készült olyan alkatrészeket amelyeknek, akár szélsőséges igénybevételnek is meg kell felelni. Az anyagtulajdonságok pontos meghatározása költséges eljárás, ennek ellenére a tervezés minden fázisában az ezek pontos definiálására szükségünk van. Az ipar minden területén fontos, hogy egzakt anyagjellemzőkkel dolgozzanak a tervezők, különösen olyan területeken, ahol szigorú biztonsági előírások (például élettal kapcsolatos) vannak. Ebben a munkában a 3D nyomtatott polimer próbatestek fárasztó igénybevételének vizsgálatának előzetes tervezését mutatjuk be. A vizsgálatokat úgy terveztük meg, hogy a DMA vizsgálatok eredményei által mutatott kritikus hőmérsékleti tartományokat elkerüljük a hajlítási pontban fellépő belső súrlódás következtében kialakuló lokális tartományban. Fontos lehet ez az információ a katonai eszközökben tönkrement alkatrészek gyors, megbízható cseréje esetén is! Ezért a fárasztóvizsgálatok tervezését úgy végeztük el, hogy a hadi,- és biztonságtechnológiai fejlesztésekben, felújítási technológiák kidolgozásában segítséget nyújtson a tervezőknek.

Abstract

Alongside the using of „technical Plastics”, the direct 3D printed different plastic also speeded up lately. Accordingly to this, it is often designed parts, which have to sustain extreme stress. The proper definition of material qualities is expensive; despite in every phase of designing, we need it to be done perfectly. In every industrial section, it is important to work with exact material characteristics, especially in fields where strict safety rules have to be kept (in connection with the lifespan) the design of fatigue tests of 3D printed polymer specimens. We planned the examinations on the way to avoid the critical temperature range shown by the DMA examinations’ results in the bending point of the inner friction coming up in the local range. This information could be important for the military to

* Kapcsolattartó szerző: Fodor Antal Tel.: +36 76 516 484; fax: +36 76 501 979
E-mail cím: fodor.antal@gamf.kefo.hu

change the busted parts quickly and sound. That is the reason why we designed these examinations in this way, so, it could help for designers in the field of military, in development of security technology and improvement of recovery.

1. Bevezetés

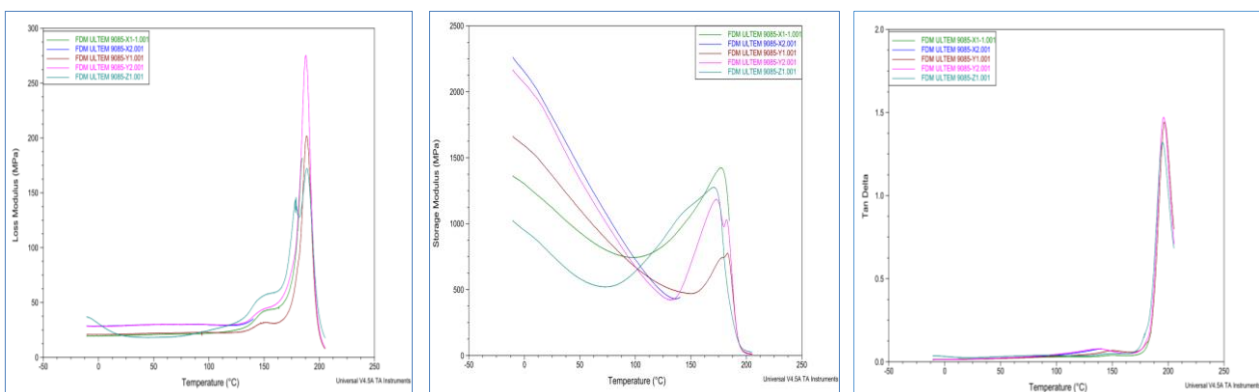
A műanyagok térhódítása igen jelentős, miközben a műanyagok anyagjellemzőiről kevesebbet tudunk, mint a fémek tulajdonságairól. Természetesen a műszaki műanyagok is rendelkeznek szilárdsági mutatókkal, ilyen például a szakítószilárdság, nyúlás, vagy a Young modulus, viszont egy ciklikus igénybevétellel szemben mutatott ellenállását nem ismerjük olyan széles körben. [1] A Gyors prototípusgyártási eljárásokkal készített műanyagok kifáradási tulajdonságai viszont egyáltalán nem, vagy csak csekély, vagy speciális esetekben kerültek meghatározásra. A vizsgálatok megtervezését anyagi megfontolásból fröccsöntött műszaki műanyagból készített próbatestekkel végeztük. Az itt szerzett tapasztalatokat fogjuk a későbbiekben átültetni a tényleges gyors prototípusgyártási eljárásokkal készült azonos méretű, de a gyártási eljárások okán, jóval drágább próbatestek vizsgálatainak elkészítéséhez. Az előzetes vizsgálódást kiegészítettük széles körű DMA (Dinamikus mechanikai analízis) vizsgálatokkal.

2. A fárasztóvizsgálat tervezése

A kifáradásra való méretezés alapja a fárasztóvizsgálatok segítségével megállapított kifáradási határ. A szabvány minimum négy próbatestet ír elő, ám a mértékadó meghatározásához sokszor 80 - 100 darabos kísérletsorozat is szükséges. Az irodalomban gyakran a kifáradási határ és a rövid idejű terhelés esetén mért szilárdsági értékek hányadosát adják meg, de a polimerek tönkremeneteléről átfogó mérésekkel alátámasztott módszer a fémekkel ellentétben nincs kidolgozva. Elsősorban gyártó cégek saját anyagaira érvényes javaslatokat adnak meg. A polimerekkel kapcsolatos kutatásoknál elengedhetetlen korszerű, gyors és megbízható anyagjellemzőket meghatározó berendezések alkalmazása. [1][2]

A polimerek viselkedése fárasztó igénybevétel hatására jelentős mértékben eltér a fémektől. A vizsgálatok, vagy a terhelések során az acélok rugalmassági modulusa időben nem változik, abban az esetben, ha a terhelés a Hooke-féle rugalmassági tartományon belül marad. A legtöbb fém csillapítása kisebb, mint a polimereké, ezért nagyszámú igénybevétel esetén sem nő jelentősen a próbatest hőmérséklete. A fémeknél, a rugalmassági modulus és a feszültségváltozás amplitúdója a melegedésből kifolyóan a vizsgálat alatt így nem, vagy alig változik. A műanyagoknak nagy belső csillapításuk mellett rossz a hővezető képességük, így a fárasztó igénybevételnek kitett próbatestek már 10 Hz-nél kisebb frekvencián is felmelegedhetnek, ebből kifolyólag a modulusuk csökken. [1][2]

A DMA vizsgálatok sok egyéb mellett, pontos eredményeket adnak a próbatestek azon kritikus hőmérsékleteiről (1. ábra), amelyek komoly befolyásoló hatással lennének a fárasztóvizsgálatok eredményeire.

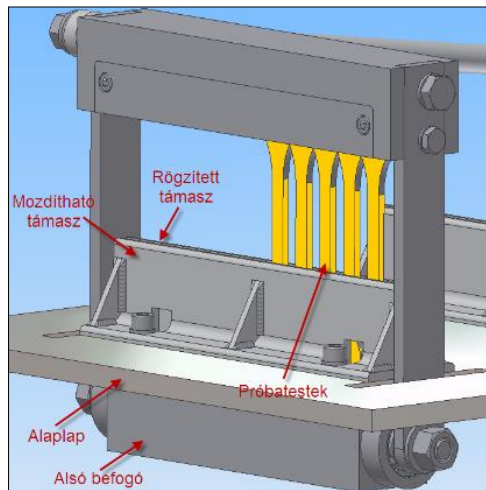


1. ábra. ULTEM 9085 DMA Vesztesség,- (Loss) tárolási,- (Storage) Tangens Delta modulus

A műszaki műanyagok tulajdonságait a dinamikus mechanikai analízise során, a szakirodalom, a teljesen rugalmas, és a folyékony állapot keverékeként határozza meg. [2]

A fárasztó vizsgálat számára így az egyik lényeges jellemző az anyag üvegesedési hőmérsékletének meghatározása. A DMA vizsgálat általában az anyag üveges állapotában történik, ahol fokozottan emelik a hőmérsékletet és fokozott méréseket végeznek egészen az anyag gumis állapotáig. Amikor az átmenet bekövetkezik a terhelés/feszültség modulusa változik, és ez jelentős mértékben befolyásolja a kifáradási tulajdonságait. [3][4]

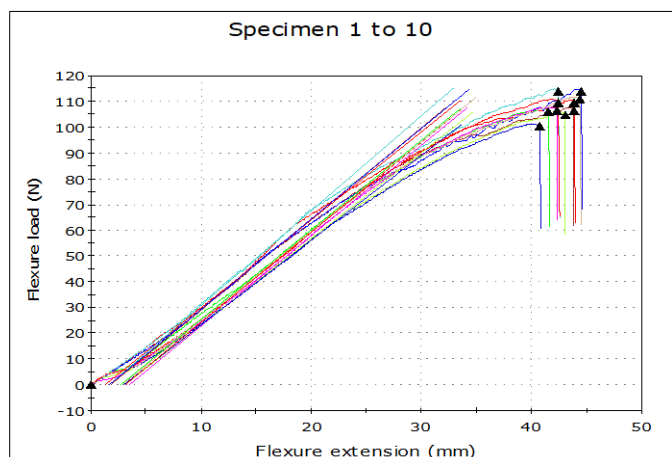
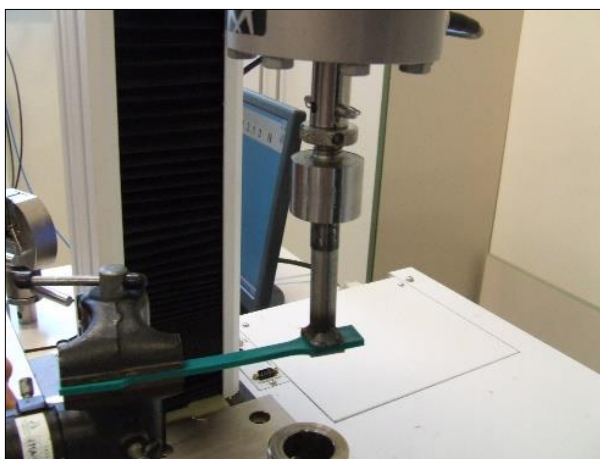
A kifáradási határ meghatározásához olyan hajlító-fárasztó berendezést készítettünk, ahol 40 db. próbatestet tudunk vizsgálni egy időben. Ebben a próbatest - hossz tengelyére merőleges tengely körül - hajlítást szenved, úgy, hogy a nyomtatók síkja a próbatest hossz tengelyét magában foglalja.



2. ábra. A befogó készülék kialakítása

A próbatestet a nyomtatók az egyik,- vagy mindkét végén befogva terheli. Az általunk korábban tervezett és elkészített kényszermozgású, csak hajlító igénybevételt kifejtő fárasztógép elrendezését mutatja a 2. ábra. [3][4]

A kísérletsorozathoz kb.: 55 – 60 db próbatestre van szükség. Első lépésben szükséges meghatározni a vizsgálat terhelés szintjét. Ehhez az első 5 - 10 próbatestet a hajlítási hossz figyelembe vételével szakító berendezésen tönkremenetelig terheljük (3. ábra).

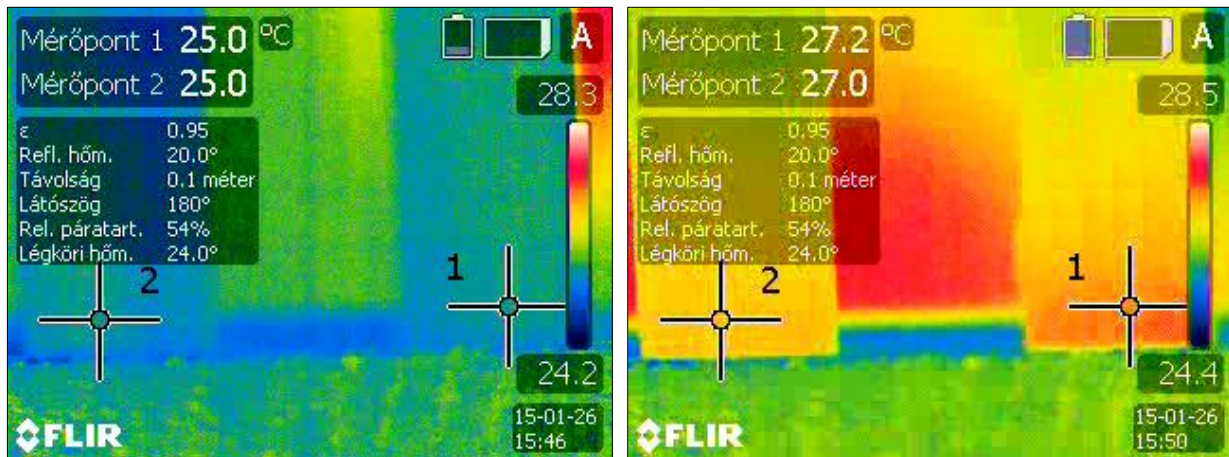


3. ábra. Hajlító vizsgálat és eredménye PA3WG6 polimer esetén

A 3. ábra mutatja, hogy a darabok kb.: 40 mm-es lehajlásnál törtek el megközelítőleg 105 N feszültség szinten.

A kísérleti terv előkészítése során, a darabok belső csillapításából, és a rossz hővezetéséből adódó felmelegedését néhány ellenőrző méréssel FLIR T360 típusú hőkamerával ellenőriztük, az

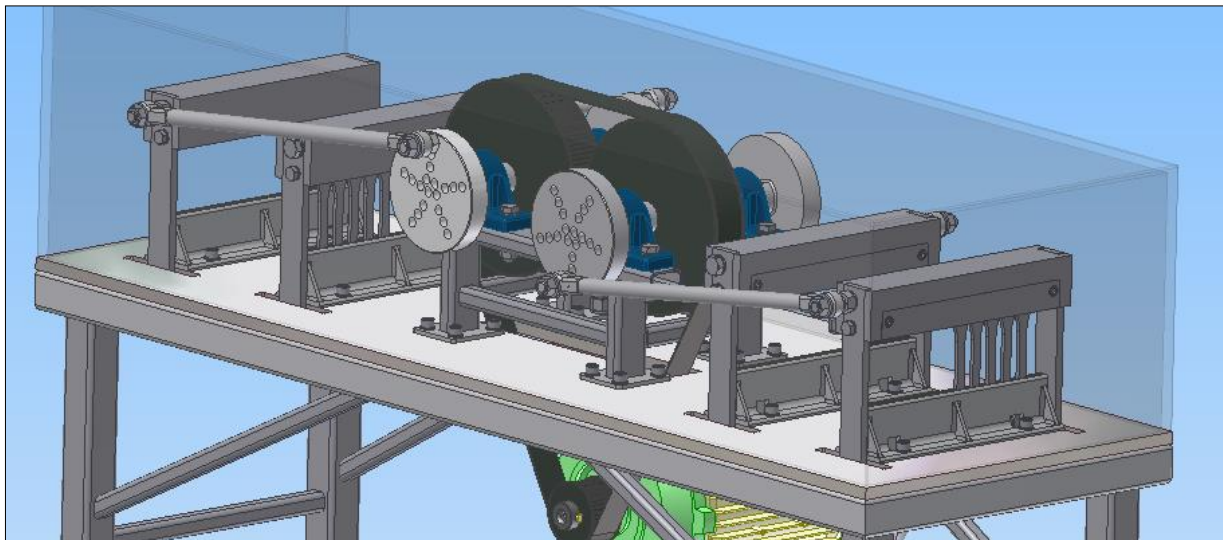
első fázisban. A hőmérséklet változásáról filmfelvételt készítettünk, aminek a kezdeti értékét, s a hőmérséklet stabilizálódása utáni egy-egy kiragadott pillanatát láttatjuk a 4. ábrán.



4. ábra. A hőmérséklet a hajlítási pontban

A fröccsöntött daraboknál a hőmérséklet emelkedése a 4. ábra alapján, kb.: négy perc után stabilizálódott körülbelül 2 °C hőmérsékletemelkedésnél.

Ez alapján került meghatározásra a fárasztó vizsgálat feszültségszintje. Így, az előzetes konzultációk, és az irodalomkutatásaink szerint, a tönkremenetel 50 %-ára, azaz 20 mm-es hajlítási amplitúdóra választottunk, amit a közlötengelyekre helyezett körhagycs tárcsákon tudunk beállítani (5. ábra). [3][4][5]



5. ábra. A hajlító berendezés felépítése

A vizsgálati frekvenciát önkényesen 2,5 Hz-re vettük. A befogó fejekbe elhelyeztük a négyszer tíz darab próbatestet. A fárasztást négy fázisban végeztük el. Az első fázisban 1.000, a másodikban 10.000, a harmadikban 100.000, és a negyedikben 1.000.000 ciklussal terheltük a próbatesteket. [3][4][6][7]

3. Eredmények

A teljes vizsgálat több mint hét napig tartott. Az egyes ciklusok után a berendezés a beépített ciklus-számlálójának segítségével megáll, ekkor ki tudjuk venni az egyes ciklusokban terhelt vizsgálati darabokat.

Az eltelt időhöz tartozó ciklusszámot a vizsgálati frekvencia ismeretében számolhatjuk. Ez szerint, kb.: 600 ciklus után kiegyenlítődik a hőmérséklet a hajlítási pontban.

1. Táblázat. A fárasztóvizsgálat eredményei.

Terhelési ciklusszám	Tensile extension at Break (Standard)(mm)	Load at Break (Standard)(N)
0	5,30	3.508,48
1.000	5,28	3.377,83
10.000	4,66	3.310,18
100.000	4,35	3.289,88
1.000.000	2,67	2.382,33

A teljes vizsgálat sorozat elvégzése után a terheletlen, és az egyes fárasztó ciklusokhoz tartozó terhelés szintek szerint szakítógépen tönkremenetelig terheltük. Az 1. táblázat első oszlopában a fárasztási ciklusszámokat, a másodikban a szakadási nyúlásokat, a harmadikban a tönkremeneteli terheléseket tüntettük fel.[2][4][6][7]

4. Összefoglalás

Polimereknél a fémes anyagokhoz hasonló kifáradási határ nem állapítható meg. A vizsgálatokat általában 10^6 ciklusszámig szokták végezni és az ehhez, vagy más terhelési ciklusszámhoz, adott vizsgálati frekvenciához, környezeti hőmérséklethez, nedvességtartalomhoz és törési valószínűséghez tartozó igénybevételi számot adnak meg kifáradási határként. Az irodalomban gyakran a kifáradási határ és a rövid idejű terhelés esetén mért szilárdsági értékek hányadosát adják meg, de a polimerek tönkremeneteléről átfogó mérésekkel alátámasztott módszer, a fémekkel ellentétben nincs kidolgozva.[8][9] Elsősorban gyártó cégek saját anyagaira érvényes javaslatokat adnak meg.

Az előbbieket és a kutatáshoz rendelkezésre álló idő alapján, a fárasztóvizsgálat kidolgozásánál a kísérletterv ebben a fázisában gazdaságossági megfontolásból a vizsgálatokat PA3WG6 műszaki műanyag próbatestekkel végeztük. A kifáradási határ tendenciájának meghatározásakor a szokványostól eltérő módon, nem az egyes terhelés szinteken a tönkremenetelig végeztük a vizsgálatokat, hanem a kiválasztott terhelés szinten az egyes ciklusszámok után, szakítóvizsgálatokat végeztünk a darabokon.

A kutatás során szerzett tapasztalataink alapján a következő következtetéseket hoztuk.

Az előzetesen kiválasztott terhelésszint, túl magasnak bizonyult, ugyanis a legnagyobb terhelésszintnél a darabok 90 %-a eltört, miközben a teljesen tönkre nem ment darab terhelésszintje nem csökkent látványosan. A jelenség magyarázata, hogy a meglévő PA3WG6 anyagú próbatest 30 % üvegszál töltésű ezért a benne lévő szálanyag tartalom tönkremeneteli határa határozta meg a maximális szakítási erőt. A szakadási nyúlás viszont jelentősen csökkent. Ennek oka lehet az üvegszálakat „ágyazó” ABS alapanyag kifáradása. [1]

A választott próbatest anyaga Gyors prototípusgyártással létrehozott anyagok tulajdonságaitól jelentősen eltér. Ennek alapján kijelenthető, hogy ez nem volt szerencsés választás. Így a kísérletterv második szakaszában, egy jelentősen alacsonyabb terhelésszinten, száltöltés nélküli műszaki műanyag próbatesttel fogjuk megismételni a teljes vizsgálat sorozatot. Azonban a vizsgálati eljárás kidolgozásának helyes irányát jól szemlélteti, hogy az egyes terhelésszintek hatására folyamatosan csökkenő tendenciát mutat a tönkremeneteli határ.

Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozom a Varinex Zrt. elnökének Falk Györgynek, a változatos technológiákkal elkészített DMA próbatestekért, és nem különben Bata Attila kollégámnak a DMTA vizsgálatokért.

Irodalomjegyzék

- [1] M.De Monte, E.Moosbrugger, K. Jaschek, M. Quaresimin: Multiaxial Fatigue of a shortglassfibre reinforced polyamide 6.6 – Fatigue and fracture behaviour, International Journal of Fatigue 32. 2010 pp.: 17-28.
- [2] Antal Fodor, DMA tests for 3D printed polymer specimens of fatigue test examination, De Gruyter Open MACRo 2017- 6th International Conference on Recent Achievements in Mechatronics, Automation, Computer Science and Robotics /Közlésre elfogadva/

- [3] Czvikovszky Tibor, Nagy Péter, Gaál János, [Online]. Available: www.tankonyvtar.hu A polimertechnika alapjai 5.4 [Megtekintés: 2017.08.21.]
- [4] Antal Fodor, 3D PRINTED POLYMER SPECIMENS OF FATIGUE TEST EXAMINATION BASIC ON DMA TESTS, 5th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE ON ADVANCES IN MECHANICAL ENGINEERING ISCAME2017 /Közlésre elfogadva/
- [5] Czvikovszky Tibor, Nagy Péter, Gaál János, [Online]. Available: www.tankonyvtar.hu A polimertechnika alapjai 3.2 [Megtekintés: 2017.08.22.]
- [6] Antal Fodor, Dr. Pal Boza, Designing Fatigue Experiment for Investigating Polymer Specimens, De Gruyter Open MACRo 2015- 5th International Conference on Recent Achievements in Mechatronics, Automation, Computer Science and Robotics pp.: 269-274
- [7] Antal Fodor, Dr. Pal Boza, Development of endurance testing machine for the investigation of repeating use of polymer specimen, pp.: 243-249 AGTEDU 2010.
- [8] Antal Fodor, Dr. Pal Boza, Examination of snap joints using finite element method, AGTEDU 2009, pp.: 287-291,.
- [9] Antal Fodor, Dr. Pal Boza, The examination of non-linear behaviour of pieces used in extreme circumstances in condition of time using finite element method, OGÉT 2009 pp.:68-73.