

A NYOMTATÁSI IRÁNY HATÁSA A 3D NYOMTATOTT ABS-RE

INFLUENCE OF PRINTING DIRECTION ON 3D PRINTED ABS

FICZERE PÉTER, NASSIM MARKIZ, HORVÁTH ESZTER

ÖSSZEFOGLALÁS (ABSTRACT, INHALT).
In the recent years, additive manufacturing became an interesting topic in many fields due to the ease of manufacturing complex objects. In this work, the mechanical properties with focus on ultimate tensile strength and modulus of elasticity of 3D printed acrylonitrile butadiene styrene (ABS) specimens were investigated. The aim of this study is to investigate the influence of printing direction on the mechanical properties of the printed specimens.

1. BEVEZETÉS

Az additív gyártás (additive manufacturing - AM), amely közismert nevén 3D nyomtatás, egy olyan technológia, amelyet háromdimenziós szilárd testek felépítéséhez használnak 3D-s CAD modell adatokból, általában rétegenként, ellentétben a hagyományos szubtraktív gyártási módszerekkel.

Ez a technológia alkalmas számos hagyományos gyártási módszer helyettesítésére, valamint az új termékek előzetes mintagyártásával illetve a későbbiekben szériagyártással új lehetőséget nyújt a ipar számára [1]. Alkatrészek rövid időn belüli gyártása és az anyagok sokféleségének ellenére különböző 3D nyomtatási technológiák állnak rendelkezésre, mint például sztereolitográfia (SLA), szálhúzásos nyomtatás (FDM), szelektív lézeres szinterelés (SLS), szelektív lézeres olvasztás (SLM), 3D tintasugaras nyomtatás (Binder Jetting) és laminált tárgy gyártása (LOM) [2].

Az additív gyártás nem csak modellek és prototípusok gyártására korlátozódik, hanem különböző alkatrészekre is, mivel számos területen érdeklődést tanúsítanak a technológia iránt, mint például az autóiipar, a repülőgépipar, a műszeripar, az elektronika, orvosi [3] és élelmiszeripar [2].

Napjainkban kiváló minőségű 3D nyomtatókat kínálnak megfizethető áron (3000 dollár alatt), aminek következtében a háztartásokban is megjelentek a kisebb teljesítményű/méretű 3D nyomtatók. Továbbá egy szakértői Delphi-tanulmányban azt jósolták, hogy 2030-ban az

ipari országokban lévő magánfogyasztók többsége otthon is rendelkezik majd additív gyártású nyomtatóval [1].

A közelmúltban a szálhúzásos nyomtatás (FDM) széles körben alkalmazott additív gyártási technológia hőre lágyuló anyagokkal, például politejsavval (PLA) és akrilnitril-butadién-sztirollal (ABS), és összesen az AM rendszerek által gyártott alkatrészek 51%-a polimerekből származik az iparban [4].

A szálhúzásos nyomtatás valamely anyag extrudálási eljárása, amelyet Scott Crump, a Stratasys társalapítója vezetett be 1989-ben. Ebben a folyamatban hőre lágyuló anyagból készült szálát felmelegítenek valamivel az olvadáspont fölé, és fűtött fűvókán keresztül extrudálnak, majd rétegről rétegre munkalapra helyeznek, amíg a teljes alkatrész fel nem épül [5].

Az AM technológiával gyártott alkatrészek a technikai fejlődés ellenére még mindig számos problémát vetnek fel a megbízhatósággal és a reprodukcióval kapcsolatban.

Általánosságban elmondható, hogy az additív gyártástechnológia anizotropiát eredményez, ami a nyomtatott alkatrészek mikrostruktúrájában és mechanikai tulajdonságaiban is látható [6]. Ez elsősorban annak a hőterhelésnek köszönhető, amely az alkatrészt gyártása során érte, valamint még befolyásoló tényező a diffúz polimer láncok mennyisége is, amely viszont függ a kiválasztott nyomtatási paramétereiktől, például a rétegvastagságtól, a hőmérsékletétől, a sebességétől, a nyomtatás irányától és a munkaasztal hőmérsékletétől [7].

A legújabb tanulmányok a nyomtatott polimer anyagok mechanikai tulajdonságainak azonosítására összpontosítanak. Tóth Csenge és Kovács Norbert kutatási munkájában PLA-anyag húzó-, hajlító- és kifáradási vizsgálatait végezték el belépő szintű 3D nyomtató felhasználásával [8].

Keleş csoportja megvizsgálta a felépítés irányának hatását az ABS próbatestek – melyeket esetenként középen furattal láttak el – törésének jellemzésére, és Weibull analízissel becsülték meg a mechanikai megbízhatóságát [5].

Shkundalovaék szakítóvizsgálatokat végeztek négy különböző polimer anyag politejsav (PLA), akrilnitril-butadién-sztirol (ABS), ütészálló polisztirol (HIPS) és polietilén-tereftalát (PETG) szakítószilárdságának és rugalmassági modulusának vizsgálatára [9].

Luzanin megvizsgálta a nyomtatási paraméterek (rétegvastagság, extrudálási hőmérséklet, extrudálási sebesség és az asztal hőmérséklete) hatását a PLA próbatetek szakítószilárdságára, kristályosságára és a mezoszerkezetére [10,11].

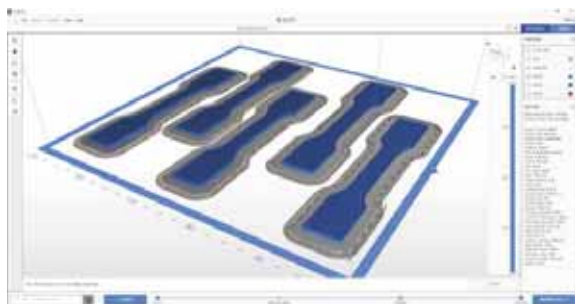
García-Domínguez FDM technológiával gyártott próbatetek felhasználásával – melyeket az UNE 116005:2012 (az ISO 527–2 alapján) és az ASTM D638–14 specifikációinak megfelelően készítettek - szakítóvizsgálatok sorozatát hajtotta végre annak meghatározására, hogy melyik szabvány nyújt jobb eredményeket az ABS anyag jellemzésére [12].

Tanulmányunk célja az volt, hogy szakítóvizsgálatok elvégzésével megvizsgáljuk a nyomtatási iránynak a 3D nyomtatott ABS próbatetek mechanikai tulajdonságaira gyakorolt hatását.

2. MÓDSZER

Ebben a részben az ABS polimer anyagból nyomtatott próbatetek szakítóvizsgálatát mutatjuk be. Valamennyi próbatestet a Zortax M200 FDM nyomtatóval készítettük.

Az Descartes koordináta rendszerben az y és z tengelynek megfelelő nyomtatási iránnyal (továbbiakban 0° és 90°) öt egyforma geometriájú próbatestet nyomtattunk egyidejűleg a Z-suite szoftver segítségével a pontosabb eredmények érdekében. A Zortax M200 alapértelmezett nyomtatási paramétereit használtuk, így az ABS anyagot 250°C -on, 50 mm/s sebességgel extrudáltuk, a fűtött munkafelület pedig 60°C volt. Az 1. ábra az öt darab egyforma próbatestet tartalmazó tervet mutatja. A 2. ábra a kinyomtatott próbatesteket ábrázolja.



1. ábra Z-suite programban a próbatetek



(a)

(b)

2. ábra. Kinyomtatott próbatetek: (a) ABS próbatetek 0° szöggel nyomtatva; (b) ABS 3D próbatetek 90° szöggel nyomtatva

A szakítóvizsgálatokat 5KN maximális terhelőerejű Zwick Z005 szakítógéppel végeztük, az ASTM D638 szabványban található műanyag húzó tulajdonságainak vizsgálati módszerei szerint.

A 3D nyomtatott ABS próbatesteket 5 mm/perc terhelési sebességű elmozdulás végszabályozásával teszteltük. Az egyes próbatetek vastagságát és szélességét a vizsgálat előtt mértük és dokumentáltuk (1. 1. táblázat). A keresztfej elmozdulását használtuk a 3D nyomtatott ABS próbatetek nyúlásának mérésére. Az összes húzópróbát szobahőmérsékleten (kb. 24°C) hajtottuk végre. A 3. ábrán látható a befogott próbatest.



(a)

(b)

3. ábra (a) A méréshez használt Zwick Z005 szakítógép; (b) a befogott próbatest szakítóvizsgálat folyamata közben

3. EREDMÉNYEK

A húzópróbákat öt próbatesten végeztük el minden egyes nyomtatási irányban szakadásig. A 4. ábra a próbatest szakadása utáni állapotot mutatja. A szakítóvizsgálatok eredményeit a 2. és a 3. táblázat mutatja.



4. ábra A próbatetest szakadása

1. táblázat A próbatestek tényleges szélessége és vastagsága

próbatetest sorszáma	nyomatási irány [fok]	aktuális szélesség [mm]	aktuális magasság [mm]
1	0	10.25	2.50
2	0	10.25	2.50
3	0	10.09	2.42
4	0	10.21	2.06
5	0	10.25	2.08
6	90	10.23	2.25
7	90	10.30	2.30
8	90	10.33	2.17
9	90	10.23	2.27
10	90	10.24	2.26

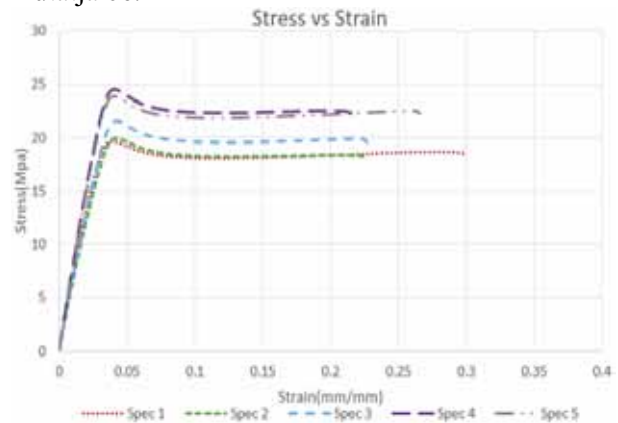
2. táblázat: A szakítóvizsgálatok eredményeinek összefoglalása

próbatetest sorszáma	nyomatási irány [fok]	szakítószilárdság [MPa]	rugalmassági modulus [GPa]
1	0	19.69	0.70
2	0	19.91	0.65
3	0	21.57	0.69
4	0	24.56	0.82
5	0	23.93	0.80
6	90	12.44	0.74
7	90	11.29	0.69
8	90	11.95	0.74
9	90	13.52	0.72
10	90	11.43	0.71

3. táblázat: A szakítóvizsgálatok eredményeinek átlaga

nyomatási irány [fok]	szakítószilárdság [MPa]	rugalmassági modulus [GPa]
0	21.93 ± 2.24	0.73 ± 0.074
90	12.13 ± 0.9	0.72 ± 0.021

Az egyes nyomatási irányok feszültség-alakváltozási diagramjait az 5. illetve a 6. ábra mutatja be.



5. ábra: A nyomtatott öt próbatetest feszültség-alakváltozás diagramja 0° esetén



6. ábra: A nyomtatott öt próbatetest feszültség-alakváltozás diagramja 90° esetén

4. ANALÍZIS

Vizsgálatunk alapján az összes próbatetest szakadás előtt képlékeny alakváltozást szenvedett a folyáshatárnál nagyobb terhelés hatására. A 3D-ben nyomtatott ABS próbatestek anyagi tulajdonságai 0° és 90° nyomatási irány esetén is hasonló rugalmassági modulusal rendelkeznek, ugyanakkor a szakítószilárdságban jelentős különbség van. A 0°-kal kinyomatott próbatestek átlagos szakítószilárdsága elérte a 21,93 MPa-t, ami 55,3% -kal magasabb, mint a 12,13 MPa-t elérő 90°-kal nyomtatott

próbatesteké. A rugalmassági modulus azonban mindkét esetben majdnem ugyanazt a 0,73 GPa és 0,72 GPa értéket érte el. A 3. táblázat adatai jelzik, hogy a nyomtatás iránya vizsgálatunkban nem volt hatással a rugalmassági modulusra, viszont a szakítószilárdságot nagymértékben befolyásolta. A vizsgálatok alapján egyértelműen kijelenthetjük, hogy a nyomtatási irány fontos tényező. A 3D nyomtatott testek mechanikai tulajdonságait változtathatjuk a nyomtatási paraméterek módosításával.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Tíz ABS próbatestet nyomtattunk a Zortax M200 3D nyomtatóval (0°-kal 1–5 és 90°-kal 6–10). Ezeknek az ABS próbatesteknek a mechanikai tulajdonságait vizsgáltuk, ahol beigazolódott a nyomtatási irány megválasztásának jelentősége. A szakítóvizsgálati eredmények alapján megállapítottuk, hogy a 0° nyomtatási irányú próbatestek 55,3%-kal voltak erősebbek. Azonban a nyomtatási irány nincs hatással a rugalmassági modulusra. A kapott eredmények összhangban vannak az ezen a területen végzett többi kutatási eredménnyel, így kijelenthetjük, hogy a 3D nyomtatott polimer próbatestek mechanikai tulajdonságai 0°-nál jobbak, mint a 90°-kal nyomtatottaké. Az elvégzett vizsgálat nem volt teljeskörű, mivel belépő szintű 3D nyomtatót, valamint csak az alapértelmezett nyomtatási paramétereket használtuk. Tervezzük a jövőben további vizsgálatok elvégzésével a nyomtatási paraméterek hatásának alaposabb tanulmányozását, és a mechanikai tulajdonságok meghatározását.

6. IRODALOM

[1] Jiang, R., Kleer, R. and Piller, F.T., 2017. Predicting the future of additive manufacturing: A Delphi study on economic and societal implications of 3D printing for 2030. *Technological Forecasting and Social Change*, 117, pp.84-97.

[2] Sandeep, D.C. and Chhabra, D., 2017. Comparison and analysis of different 3d printing techniques. *International Journal of Latest Trends In Engineering And Technology*, 8(4-1), pp.264-272.

[3] Ilyés K., Kovács N.K., Balogh A., Borbás E., Farkas B., Casian T., Marosi Gy., Tomuța I., Nagy Z.K.: The applicability of pharmaceutical polymeric blends for the fused deposition modelling (FDM) 3D technique: Material considerations–printability–process modulation, with consecutive effects on in vitro release, stability and degradation, *European Journal of*

Pharmaceutical Sciences, Volume 129 pp 110-123 (2019)

[4] Urbanic, R.J. and Saqib, S.M., 2019. A manufacturing cost analysis framework to evaluate machining and fused filament fabrication additive manufacturing approaches. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 102(9-12), pp.3091-3108

[5] Keleş, Ö., Blevins, C.W. and Bowman, K.J., 2017. Effect of build orientation on the mechanical reliability of 3D printed ABS. *Rapid Prototyping Journal*.

[6] Mbow, M.M., Marin, P.R. and Pourroy, F., 2020. Extruded diameter dependence on temperature and velocity in the fused deposition modeling process. *Progress in Additive Manufacturing*, pp.1-14.

[7] Mukherjee, M., 2019. Effect of build geometry and orientation on microstructure and properties of additively manufactured 316L stainless steel by laser metal deposition. *Materialia*, 7, p.100359.

[8] Tóth Cs., Kovács N. K: Additív gyártástechnológiával készült, politejsav mátrixú kompozitok vizsgálata. *Polimerek* 6/5, 926-930 (2020)

[9] Shkundalova, O., Rimkus, A. and Gribniak, V., 2018. Structural application of 3D printing technologies: mechanical properties of printed polymeric materials/Konstrukcinis 3D spausdinimo technologijų taikymas: spausdintų polimerinių medžiagų mechaninės savybės. *Mokslas–Lietuvos ateitis/Science–Future of Lithuania*, 10.

[10] Luzanin, O., Movrin, D., Stathopoulos, V., Pandis, P., Radusin, T. and Guduric, V., 2019. Impact of processing parameters on tensile strength, in-process crystallinity and mesostructure in FDM-fabricated PLA specimens. *Rapid Prototyping Journal*.

[11] Tábi T., Kovács N. K., Sajó I. E., Czigány T., Hajba S., Kovács J. G.: Comparison of thermal, mechanical and thermomechanical properties of poly(lactic acid) injection-molded into epoxy-based Rapid Prototyped (PolyJet) and conventional steel mold. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 123, 349-361 (2016)

[12] García-Domínguez, A., Claver, J., Camacho, A.M. and Sebastián, M.A., 2020. Considerations on the Applicability of Test Methods for Mechanical Characterization of Materials Manufactured by FDM. *Materials*, 13(1), p.28.