

LEHETSÉGES MÓDSZER A LEFEKTETT SZÁLAK KÖZÖTTI KAPCSOLAT ERŐSÍTÉSÉRE FDM TECHNOLÓGIA ESETÉN

POSSIBLE METHOD FOR ENFORCE THE BONDING BETWEEN LAID STRINGS IN CASE OF FDM TECHNOLOGY

Dr. Ficzer Péter, egyetemi adjunktus, ficzere.peter@kjk.bme.hu, Lukács Norbert László, tanuló,
lukacsnorbert98@gmail.com

ÖSSZEFOGLALÁS

Az FDM technológia elterjedésének köszönhetően számtalan alapanyag elérhető már a piacon, amely egy-egy tulajdonságában kiemelkedik, azonban a technológiának számos korlátja van. A lefektetett szálak összeolvadását egy, már ismert, de nem ilyen céllal alkalmazott módszerrel szeretnénk javítani.

ABSTRACT

Due to spreading of FDM technology there are some different materials on the market with superior material properties, but the technology has its own limits. In this paper a possible method – what was used for better surface finish earlier - has been presented to enforce the layer bonding.

1. BEVEZETÉS

A 3D nyomtatás, ezen belül az FDM (Fused Deposition Modeling) technológia az elmúlt években széles körben elterjedt, átlagemberek, kis- és középvállalkozások, illetve nagyvállalatok is elsősorban használják. A technológia fontosságát mi sem mutatja be jobban, hogy egyre több céget ösztönöznek az ebben rejlő lehetőségek kiaknázására [1]. Lényege, hogy egy extruder segítségével műanyag szálát juttatunk egy felmelegített fejbe, melyben az megolvad és később a nyomtató tárgyasztalára jut. A fej mozgásával háromdimenziós tárgyat hozhatunk létre, melyek prototípusként vagy akár végleges termékként is funkcionálhatnak [2]. Míg a szintén könnyen elérhető, bárki számára megfizethető SLA/DLP technológia minden esetben hosszasan utómunkálatokat igényel, addig az FDM technológia megfelelő tervezés és

körülmények esetén ezek nélkül is jó eredményt tud adni.



1. ábra FDM technológiával gyártott kamera [2,3]

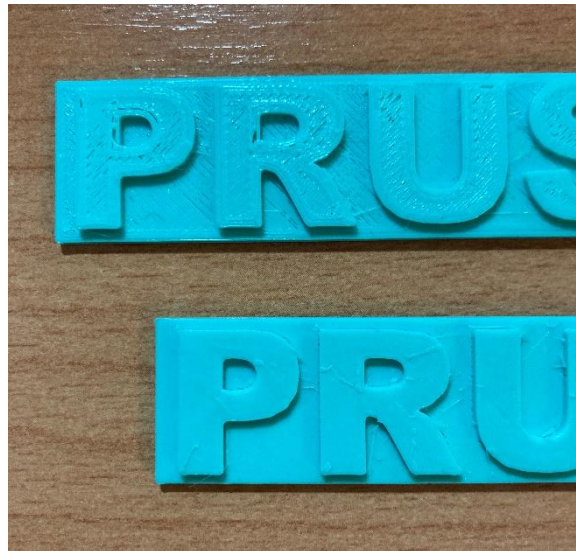
A technológiában rengeteg lehetőség van, amelynek oka főleg az egyszerűsége és kedvező ára. A technológia sajátossága a lefektetett szálak között képződő hibák sokasága, amelyet már több ízben is vizsgáltak [4,5]. Ezen hibák több okra is visszavezethetők, melyek például a nem megfelelő extruder beállítás, a nem megfelelő hőmérséklet, rétegvastagságok és nyomtatási sebesség. Az utóbbi hatását egy korábbi vizsgálat nagyszerűen bemutatta [6].

2. MÓDSZERTAN

A vizsgálatok elvégzéséhez áttetsző PLA alapanyagot választottunk, mivel ez a későbbiekben remélhetőleg feszültségoptikai vizsgálatokra is alkalmas lesz. A PLA (Politejsav) egy biopolimer, melyet növényi származékokból többnyire tejsavas erjesztéssel állítanak elő. Az anyag biológiailag lebontható. A PLA egy fontos tulajdonsága, hogy 3D nyomtatás során nem vetemedik számottevően, valamint kellemetlen szagokat, illetve mérgező gőzöket sem bocsát ki, emiatt az egyik legnépszerűbb anyag az FDM technológiához.

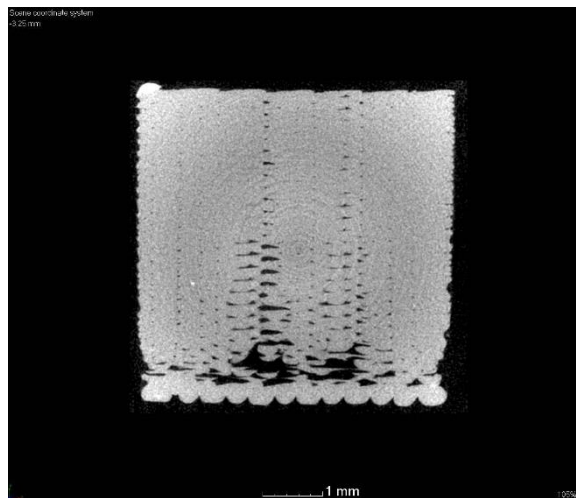
Alacsony lágyuláspontja (55-65°C) miatt műszaki felhasználása nem lehetséges [7]. A vizsgálatunkhoz egy népszerű FDM nyomtató alapjaira épülő, open source típust választottunk, melyet a spanyol BQ gyártott. Open source, azaz a nyíltforráskódú szoftverek, eszközök mindenki számára elérhetők, az összeépítéshez és a gyártáshoz minden dokumentum, szoftver elérhető a világhálón. Előnyük, hogy hatalmas felhasználói bázisuk révén rengeteg extra funkció és javítás érhető el hozzájuk, minden esetben naprakészek lehetnek. A Prusa I3 Hephestos [8] is egy ilyen, egyszerű, bárki számára elérhető típus volt, mely a mai napig egy rendkívül jól használható gép. A g-code, azaz a 3D nyomtató számára is értelmezhető fájlformátum elkészítéséhez a SuperSlicer nevű [9], ugyancsak nyílt forráskódú szoftvert használtuk. Fontos megemlíteni, hogy az ipari berendezéseken (például Zortrax) nem lehet hasonló beállításokat megadni, nem engedik a felhasználót hibázni – így egyszerűsítve a folyamatot. Az ilyen eszközök saját szoftvere [10] az említett okok miatt nem annyira testreszabható, mint egy-egy nyílt forráskódú szoftver.

Az ilyen szeletelő szoftverek mindegyike ismer egy funkciót, melynek ironing, azaz „vasalás” a neve. Az ironing a szeletelőprogramok olyan funkciója, amely a legfelső felületek minőségét hivatott javítani. Lényege, hogy miután elkészült egy adott réteg, a nyomtató forró feje még egyszer nagyon közel elhalad fölötte úgy, hogy csak minimális anyag extrudálása történik meg. Ennek hatására a felső felület egyenletes lesz, nem lesznek rajta felületi hibák vagy esetleges rések. Ez jól látható a 2. ábrán, amelyen két, általunk készített modell látható. Míg a felső modellen látható néhány hiba, addig az alsó felülete egyenletes, a lefektetett szálak nem kivehetők.



2. ábra A „vasalás” hatására a felületi hibák eltűnnek

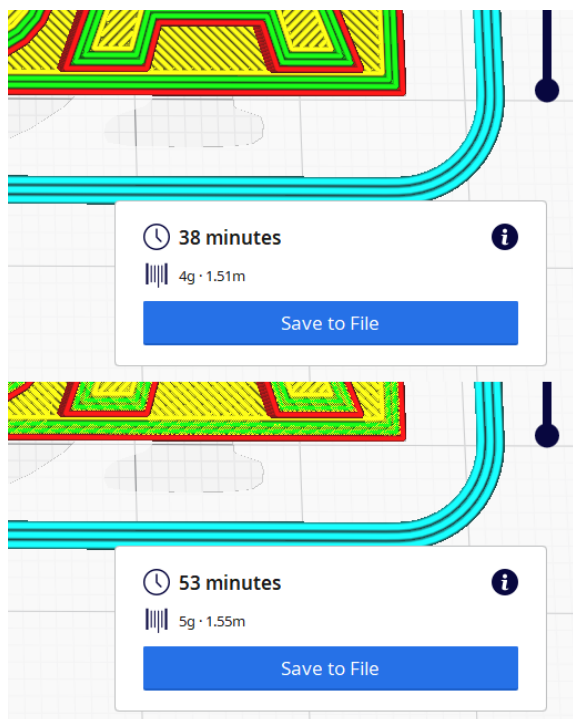
A felületi résekhez hasonló tökéletlenségek az FDM technológiával legyártott alkatrészek egyik jellemzője, melyek kialakulása több okra is visszavezethető. A 3. ábra egy általunk készített CT felvételt mutat, melyen egy 3D nyomtatott téglatest belső hibái láthatók. Ebben az esetben a hibákat a nyomtató nem-megfelelősége okozta.



3. ábra Egy általunk készített CT felvétel egy 3D nyomtatott test belsejéről

Abból kiindulva, hogy a „vasalás” funkció a felületi hibákat eltünteti, következtethetünk arra, hogy minden rétegre alkalmazva a lefektetett szálak közötti kapcsolat is erősebb lesz [13]. Egyes szeletelő szoftverekben megoldható, hogy minden egyes réteg után megtörténjen a vasalás, így ennek mechanikai hatásait is tudjuk vizsgálni. A módszer hátránya,

hogy a gyártás ebben az esetben közel kétszer annyi időt vehet igénybe, mint a vasalás bekapcsolása nélkül, illetve egyes anyagok optikai tulajdonságai is megváltozhatnak. Ezt szemlélteti a 4. ábra, amelyen a vasalás hatását mutatja a nyomtatási időre nézve, ha csak a legfelső rétegeken történik vasalás. Ugyanezen az ábrán látszik, hogy ezzel a lehetőséggel minimálisan több anyag felhasználása történik, 1,51 méter helyett 1,55 méter alapanyag (filament) került felhasználásra a modell elkészítéséhez.



4. ábra A már korábban bemutatott példák nyomtatási ideje

3. A PRÓBATESTEK GYÁRTÁSA

A polimerek szakítóvizsgálatához hagyományosan használt, az MSZ EN ISO 527-es szabványnak megfelelő, 1A típusú próbatesteket gyártottunk [11], amelyekből néhány az 5. ábrán is látható. A vizsgálatok elvégzéséhez 5-5 próbatestet gyártottunk minden típusból, azaz összesen 3x5 próbatest készült. Minden próbatest fekvő helyzetben készült. A próbatesteket egyforma beállításokkal gyártottuk le két beállítást leszámítva:

A közös paraméterek többek között a:

- PLA alapanyag,
- 215°C gyártási hőmérséklet fűtetlen tárgyasztal mellett,
- 40mm/s nyomtatási sebesség,

- 0,2 mm rétegvastagság,
- a kitöltés iránya $\pm 45^\circ$ volt, így minden rétegen belül húzó illetve nyíró igénybevételek is keletkeznek.

A különböző paraméterek:

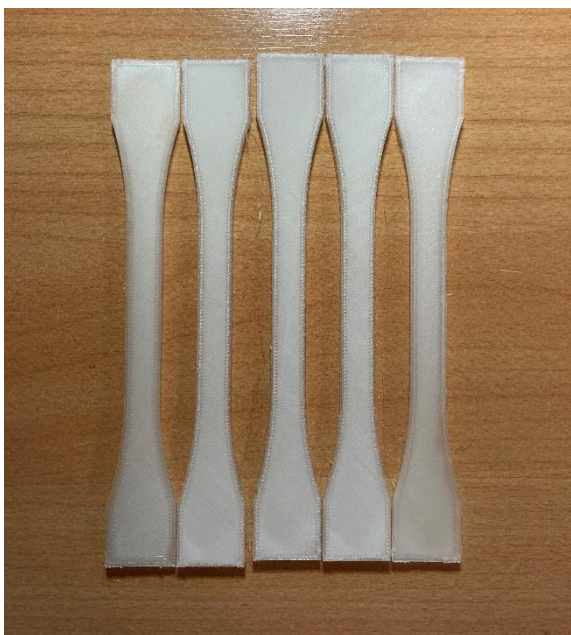
- Egy csoport próbatest sem tárgyhűtést, sem „vasalást” nem kapott,
- Egy csoport nem kapott hűtést, de „vasalást” igen,
- Egy csoport pedig „vasalást” és hűtést is kapott.

Egy korábbi vizsgálatunkban [12] már kitértünk a tárgyhűtés hatásaira, emiatt itt nem vizsgáltuk újra a tárgyhűtés önálló hatásait. A változó beállításokat az 1. táblázat is bemutatja.

1. táblázat A próbatestek különböző paraméterei

Próbatest	Hűtés [%]	Vasalás [igen/nem]
1	0	nem
2	0	nem
3	0	nem
4	0	nem
5	0	nem
6	0	igen
7	0	igen
8	0	igen
9	0	igen
10	0	igen
11	100	igen
12	100	igen
13	100	igen
14	100	igen
15	100	igen

Mivel a 3D nyomtató extruderének kalibrációja illetve teljesítménye nagyban befolyásolja a mechanikai tulajdonságokat, így az egyetem gépén túl egy saját, szintén open source, de biztosan jól beállított géppel is legyártottuk a próbatesteket, melyet a Creality gyártott.



5. ábra 3D nyomtatott próbatestek az MSZ EN ISO 527-es szabványnak megfelelően

4. A TERVEZETT VIZSGÁLATOK

A próbatesteken elsősorban hagyományos szakítóvizsgálatot szeretnénk elvégezni, melyre előre láthatólag a Budapesti Műszaki Egyetem Polimertechnika Tanszékén fog sor kerülni. Amennyiben a vizsgálatok biztató eredményeket mutatnak, úgy Charpy-féle ütőmunka vizsgálat elvégzése is megtörténhet. A későbbiekben feszültségoptikai vizsgálatok [14], valamint porozitásmérés elvégzésére is szeretnénk lehetőséget találni.

5. IRODALOM

- [1] https://piacesprofit.hu/kkv_cegblog/20-milliard-varja-a-fejleszteni-vagy-cegeket/
- [2] <https://doragoodman.com/>
- [3] <https://doragoodman.com/store/goodman-zone-612-godwin-edition/>
- [4] Tait D. McLouth, Joseph V. Severino, Paul M. Adams, Dhruv N. Patel, Rafael J. Zaldivar: The impact of print orientation and raster pattern on fracture toughness in additively manufactured ABS, *Additive Manufacturing* 18 (2017) 103–109
- [5] Hardikkumar Prajapati, Darshan Ravoori, Robert Woods, Ankur Jain: Measurement of Anisotropic Thermal Conductivity and Inter-Layer Thermal Contact Resistance in Polymer Fused Deposition Modeling (FDM)
- [6] Mbow M. M., Marin P. R., Pourroy F.: Extruded diameter dependence on temperature and velocity in the fused deposition modeling

process, *Progress in Additive Manufacturing*, 2020, 5, 139–152

[7] Hajba S.: Politejsav és Társított Politejsav Kristályszerkezetének Műszaki Tulajdonságokra Gyakorolt Hatásának Elemzése, PHD értekezés, 2018

[8] https://reprap.org/wiki/Prusa_i3_Hephestos

[9] <https://github.com/supermerill/SuperSlicer>

[10] <https://zortrax.com/software/>

[11] MSZ EN ISO 527:2012 szabvány: Szakítóvizsgálat

[12] Ficzer P., Lukács N. L.: A gyártás közben alkalmazott hűtés hatása hőálló PLA alapanyagra, *Műszaki tudományos közlemények* 10. (2019)

[13] Kun, K., & Weltsch, Z. (2021). Research of the Effect of Macrogeometric Structures on the Melt Front Using Simulation. In *Advances in Manufacturing Engineering and Materials II: Proceedings of the International Conference on Manufacturing Engineering and Materials (ICMEM 2020)*, 21–25 June, 2021, Nový Smokovec, Slovakia (pp. 282-289). Springer International Publishing.

[14] Ficzer P.: Optikai feszültségvizsgálati lehetőségek 3D nyomtatással előállított vizsgálati réteg segítségével, *Műszaki szemle* 68