

Additív gyártástechnológiával előállított hőálló PLA anyag szilárdsági vizsgálata

The Investigation Of Heat-Resistant PLA Produced By Additive Manufacturing Technology

P. FICZERE¹, N. L. LUKÁCS²

¹Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem - Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar
Járműelemek és Jármű-szerkezetanalízis Tanszék, ficzere@kge.bme.hu

²Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem - Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar
Járműelemek és Jármű-szerkezetanalízis Tanszék, lukacsnorbert98@gmail.com

Absztrakt. Az utóbbi években egyre több helyen alkalmazzák az additív gyártástechnológiákat az egyedi, valamint a kisszériás gyártásban. Ilyen esetekben az alkatrésznek valós körülmények közt is működésképesnek kell maradnia. Ez azt jelenti, hogy teherbírónek is kell lennie. Sok esetben szilárdsági szempontból már megfelelnek az anyagok. Ugyanakkor sok esetben (gépalkatrészek, kültéri felhasználás) a modelleknek nagyobb hőmérsékleten is megbízhatóan kell működniük. Erre kínál lehetőséget a legelterjedtebb additív gyártástechnológia esetében (FDM) egy új, hőálló anyag a HT PLA. Sok esetben a hűtés alkalmazása elengedhetetlen a gyártás során, különösen a nagy túllógásokkal tűzdelt alkatrészek esetében, ahol szükséges az anyag mielőbbi megszilárdulása a megfelelő felületminőség eléréséhez. Cikkünkben a gyártás során alkalmazott hűtésnek a mechanikai szilárdságra gyakorolt hatását vizsgáltuk.

Abstract.

In recent years, additive manufacturing technologies have been increasingly used in both custom and small-series production. In such cases, the component must remain functional under realistic conditions.. This means that there must also has a load-bearing capacity. In many cases, materials are already suitable for strength. However, in many cases (machine parts, outdoor use) the models need to operate reliably at higher temperatures. This seems to be solved by the most widespread additive manufacturing technology (FDM), with a new heat-resistant material, HT PLA. In many cases, the use of cooling is essential during manufacture, especially for parts with high overhangs where hardening of the material is required as soon as possible to achieve the correct surface quality. In this paper, we investigated the effect of cooling applied during manufacturing on the mechanical strength

Kulcsszavak: Additív gyártástechnológia, FDM, hőálló PLA, szakítószilárdság, rugalmassági modulus

Keywords: Additive manufacturing, FDM, heat resistant PLA, Ultimate tensile strength, Young's modulus

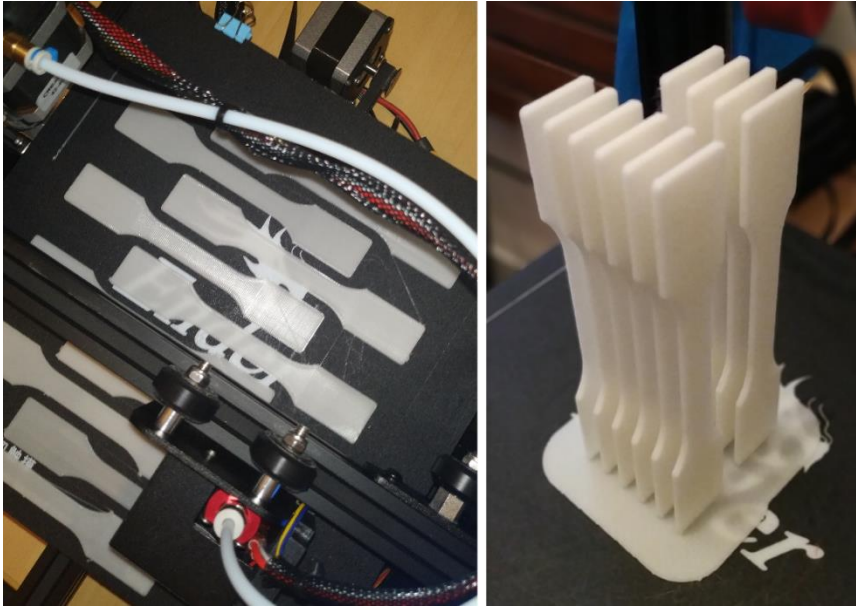
Bevezetés

Napjainkban az additív gyártástechnológiák – a köznyelvben csak 3D nyomtatás néven – egyre népszerűbbé válnak számos területen. Az egyik leggyakrabban alkalmazott eljárás az FDM (Fused Deposition Modelling), ahol extrudált műanyag szál megolvasztása után rakjuk le a rétegeket. Ez a technológia népszerűségét elsősorban az egyszerűségének és olcsóságának köszönheti. Jelen tanulmányunkat a leginkább elterjedt alapanyag a PLA (polilaktikus tejsav) tulajdonságainak [1] vizsgálatára szűkítjük. Népszerűsége okán egyre több területen használják, így az anyagokkal szemben támasztott követelmények is egyre különbözőbbek. Abban az esetben, ha nem csak marketing modellként, díszként kívánjuk az adott darabot felhasználni, hanem beépítjük azt egy szerkezetbe [2], akkor annak a darabnak teherviselőnek is kell lennie [3]. A gyártástechnológia sajátossága – a rétegről-rétegre történő előállítás következtében – hogy a kész darab mechanikai szilárdsága irányfüggő. Ez azt jelenti, hogy az anyag viselkedését orthotrop (az anizotropia egy speciális fajtája) anyagmodellrel tudjuk jellemezni [4]. Tovább nehezíti egy adott – huzallerakásos (FDM) technológiával előállított – alkatrész méretezését, hogy az alkatrész felületi minőségét, szilárdságát jelentős mértékben befolyásolják a gyártási paraméterek is [5, 6]. Korábbi tanulmányokból ezek az irányfüggő, valamint gyártási paraméterfüggő anyagjellemzők viszonylag jól definiáltak, így egy adott alkatrész méretezése szilárdságilag elvileg elvégezhető [4]. Ugyanakkor bizonyos területeken a felhasználás során az alkatrész ki van téve jelentősebb hőterhelésnek, vagy – szabadtéri felhasználás esetén – UV sugárzásnak is. Mivel a PLA alapanyagra a gyártók hőterhelhetőség szempontjából kb. 45-50°C-ot adnak meg, így a felhasználási lehetőségek száma jelentősen lecsökken [8]. Az alapanyagok folyamatos - az igényeknek megfelelő - fejlesztésének köszönhetően nemrég elérhetővé váltak az ún. HT PLA (magas hőállóságú) anyagok is, melyek esetében a gyártó állítása szerint [9] a szakítószilárdság is nőtt, valamint – hőkezelés után – akár 100°C hőmérsékletet is képesek lesznek a nyomtatott alkatrészek elviselni [10]. Sajnos több esetben lehet tapasztalni, hogy a gyártók által megadott anyagjellemzők nem elérhetőek.

A hűtés alkalmazása sok esetben elengedhetetlen az FDM nyomtatás során, különösen a nagy túllógásokkal tűzdelt alkatrészek esetében, ahol szükséges az anyag mielőbbi megszilárdulása a megfelelő felületminőség eléréséhez. Kutatásunk során vizsgáljuk a hőkezelés hatását különböző gyártási orientációban elkészített modellek esetében. Ebben a tanulmányban a gyártás során folyamatos hűtéssel és hűtés nélkül történő gyártás következtében fellépő különbségeket vizsgáljuk.

1. Módszer

Az aktív hűtés alkalmazásának hatását a mechanikai szilárdságra kívántuk megvizsgálni. Szemrevételezéssel a hűtéssel, illetve hűtés nélkül gyártott daraboknál különbséget nem tapasztaltunk. A mechanikai szilárdság vizsgálatára szabványos szakítóvizsgálatot végeztünk. Miután ismert, hogy az anyagjellemzők függenek a gyártási orientációtól, így több orientációban is meg kell vizsgálni a hűtés szilárdságra gyakorolt hatását. A szabványos rövid szakítópróbatesteket fekvő- és álló helyzetben is legyártottuk, folyamatos hűtéssel és hűtés nélkül is (1. ábra).

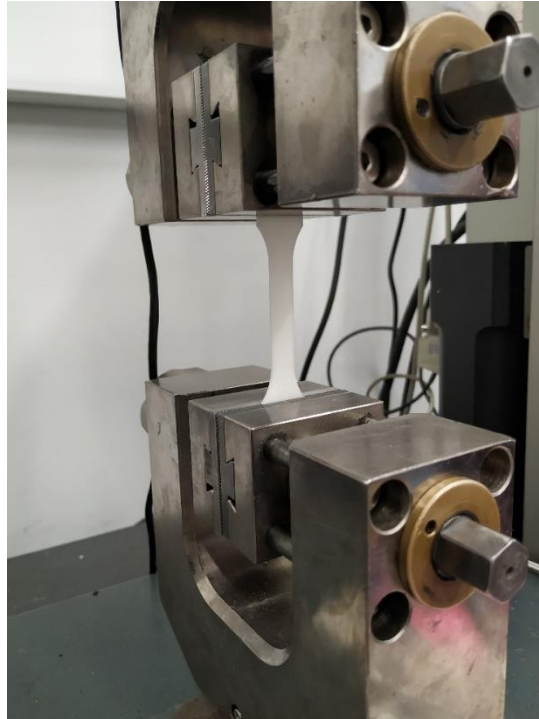


1. ábra Szakítópróbatestek fekvő- és álló helyzetben gyártva

A gyártási paramétereket a korábbi vizsgálataink alapján az optimálisnak tűnő beállításoknak megfelelően [11] állítottuk be:

- 215°C-os fej, illetve 60°C-os asztal hőmérséklet;
- 40 mm/s-os sebesség;
- 100%-os belső kitöltöttség;
- A rétegvastagság 0.2 mm.

A vizsgálatokat a BME Polimertechnika Tanszék laboratóriumában végeztük egy Zwick Z005-ös berendezésén, a szakítási sebesség 5 mm/min volt.

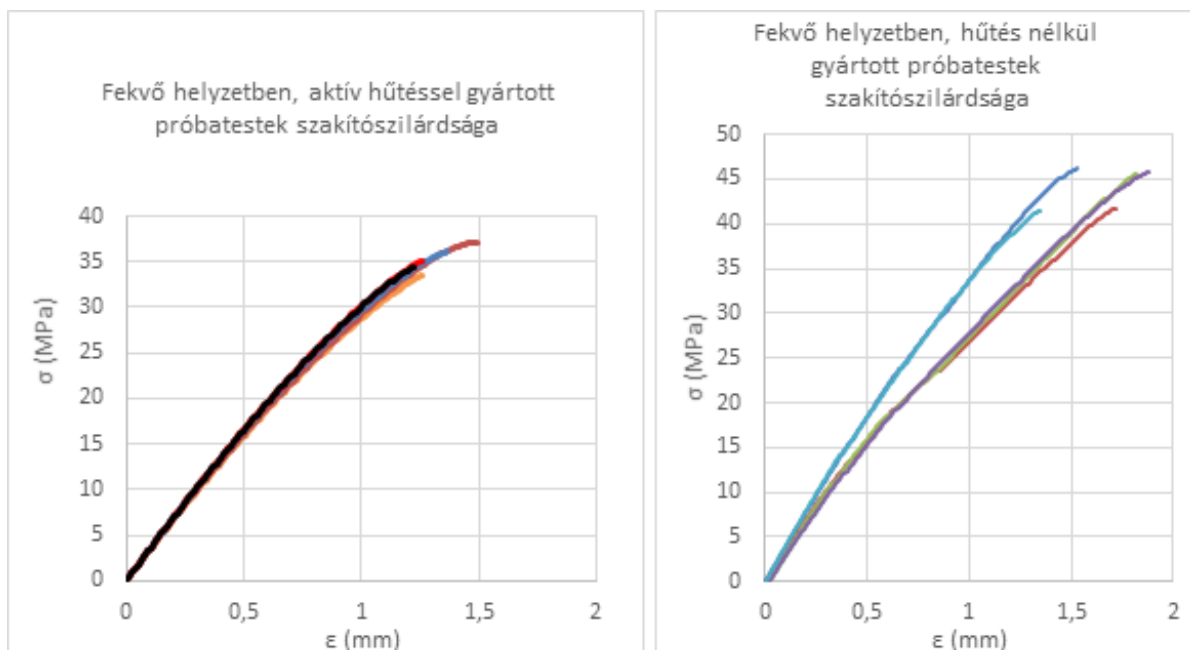


2. ábra Szakítóvizsgálat (Zwick Z005, HT PLA)

2. Eredmények

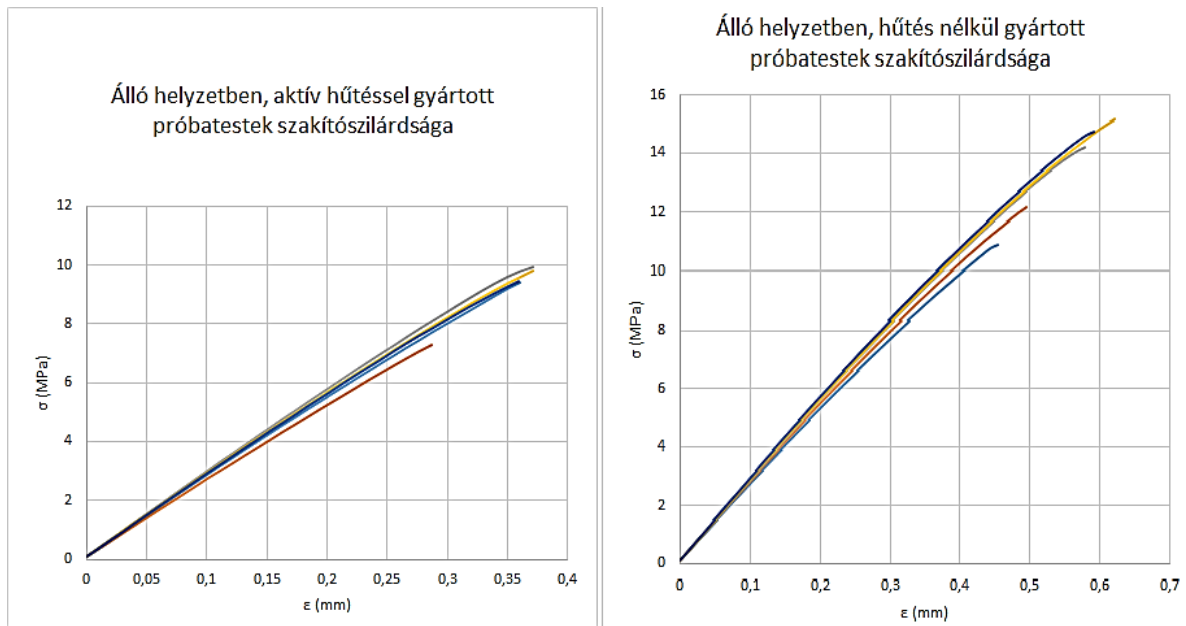
A vizsgálatok során mértük a keresztfej-elmozdulást az erő függvényében. Mindkét esetben (fekvő- és álló helyzetben nyomtatott darabok) 5-5 darab próbatesten végeztük el a mérést, külön-külön folyamatos aktív hűtéssel gyártott és hűtés nélkül gyártott próbatesteken.

A fekvő helyzetben gyártott próbatestek szakítóvizsgálatának eredményei láthatók a 3. ábrán.



3. ábra Fekvő helyzetben gyártott próbatestek szakítóvizsgálatának eredményei

Az álló helyzetben gyártott próbatetek szakítóvizsgálatának eredményei láthatók a 4. ábrán.



4. ábra Álló helyzetben gyártott próbatetek szakítóvizsgálatának eredményei

3. Vizsgálat

Feltételezésünk – miszerint az anyagi jellemzők irányfüggőek – egyértelműen beigazolódott, a fekvő- és az álló helyzetben nyomtatott próbtetek szilárdságai jelentős eltéréseket mutatnak. A 3. és a 4. ábrán látható diagramokat összevetve jól látható, hogy a szakítószilárdság és a szakadási nyúlás értéke is csökken a hűtés hatására. Számszerűen azt mondhatjuk, hogy az aktív hűtés használata kb. 30%-kal csökkenti a szakítószilárdságot minden irányban.

A merevségeket megvizsgálva viszont már nem találunk érdemi eltéréseket a hűtéssel, valamint a hűtés nélkül gyártott darabok között. A kapott rugalmassági (Young) modulus értékeket mutatja az 1. táblázat.

	E [Mpa]	szórás [Mpa]
Álló hűtve	1113,69	41,59
Álló hűtés nélkül	1105,73	31,78
Fekvő hűtve	1378,19	23,02
Fekvő hűtés nélkül	1466,29	95,89

1. táblázat Rugalmassági modulusok fekvő és álló helyzetben gyártott próbatetek esetén

4. Konklúzió

A vizsgálatok alapján elmondható, hogy a hűtés hatására jelentősen csökkent a próbatestek szakítószilárdsága – fekvő helyzetben az átlagos 44 MPa-ról körülbelül 35 MPa-ra, ami körülbelül 30%-os csökkenést jelent - így az FDM technológiával előállítani kívánt alkatrészeket ajánlott úgy megtervezni, hogy azok ne igényeljenek hűtést. Ezt a jelenséget magyarázhatja az, hogy hűtés hatására a fűvókából kiáramló anyag már az előtt elkezd megszilárdulni, hogy összeolvadna az előző rétegekkel. Ugyanakkor megállapítható az is, hogy a rugalmassági modulusok értékeire nincs hatással a hűtés használata.

Hivatkozások

- [1] Tóth Cs., Kovács N. K.: *Additív gyártástechnológiával készült, politejsav mátrixú kompozitok vizsgálata*, Polimerek 6/5, 926-930 (2020)
- [2] Ficzer, P., Borbás, L., Török, Á., *Usage of rapid prototyping in vehicle manufacturing* In: Stanislaw, Borkowski; Dorota, Klimecka-Tatar (szerk.) Toyotarity : Elements of the organization's mission, Dnipropetrovsk, Ukrajna * : Yurii V Makovetsky, (2011) pp. 182-193.
- [3] Ficzer, P. (ONLINE) *Experimental Dynamical Analysis and Numerical Simulation of the Material Properties of Parts Made by Fused Deposition Modelling Technologies*, Periodica Polytechnica Transportation Engineering. <https://doi.org/10.3311/PPtr.13947>.
- [4] Ficzer, P., *Orthotrop anyagmodell alkalmazása additív gyártástechnológiával előállított alkatrész méretezése során*, GÉP LXVII : 5-6 pp. 78-81. , 4 p. (2016)
- [5] Ficzer, P., Borbás, L., Falk, Gy., *Csont anyagtulajdonságainak megfelelő anyagmodellek előállítása additív gyártástechnológiákkal*, BIOMECHANICA HUNGARICA 11 : 2 pp. 77-83. (2018)
- [6] Tisza, M., Tóth, D., Kovács, P. Z.: *A 3D nyomtatás (FDM) paramétereinek vizsgálata, optimalizálása*, GÉP 67 : 1-2 pp. 29-32. , 4 p. (2016)
- [7] 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)
- [8] Janoch, Á., Ficzer, P., *Additív gyártástechnológiák szerepe a veterán gépjárművek alkatrészellátásában*, GÉP 70 : 3 p. 38 (2019)
- [9] <https://3dee.hu/termek/ht-pla-001/> (Letöltve: 2020. február 13.)
- [10] B. Zink, N.K. Kovács, J.G. Kovács: *Thermal analysis based method development for novel rapid tooling applications*, International Communications in Heat and Mass Transfer, vol. 108, Paper 104297, 9 p., (2019)
- [11] Ficzer, P., Lukács, N.L., *Evaluation Opportunities of SEM Pictures by CAD Software*, Design of Machines and Structures 9 : 2 pp. 20-24. , 5 p. (2019)