



Kitöltési mintázatok hatása a fogtőszilárdságra additív gyártás esetén

The Influence of Infill Patterns on Tooth Root Rigidity by Additive Gear Manufacturing

Gál Károly-István,¹ Gergely Attila-Levente,² Máté Márton³

¹ Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Marosvásárhelyi Kar, Gépészmérnöki Tanszék. Marosvásárhely, Románia, [gal.karoly@phd.uni-obuda.hu](mailto:gál.karoly@phd.uni-obuda.hu), gal.karoly@ms.sapientia.ro

² Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Marosvásárhelyi Kar, Gépészmérnöki Tanszék. Marosvásárhely, Románia, agergely@ms.sapientia.ro

³ Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Marosvásárhelyi Kar, Gépészmérnöki Tanszék. Marosvásárhely, Románia, mmate@ms.sapientia.ro

Abstract

In this study, we present an analysis of the infill patterns of 3D-printed gears with the aim of optimizing their load- capacity. During the investigation, we developed custom infill patterns, taking into account the influence of the direction of forces which occur under service. These patterns were compared with the Gyroid infill, which is the most commonly recommended in the literature. The examined gears were cylindrical involute gears, and the mass of the part was used as a reference parameter during the printing process.

A unique infill pattern was designed and combined with the Gyroid infill, then compared to the conventional Gyroid infill structure. The load-bearing capacity of different infill structures was determined by applying a simple static load test. Three gears were printed for each infill pattern, and three individual static load-bearing tests were performed on each gear.

Since plastic gears were used in this study, the central bore of the gears was modified. This modification was necessary because, if a simple keyway solution had been applied, the gears could have rotated on the shaft due to the applied torque. To prevent this, the central bore was replaced with a hexagonal design.

Keywords: gear, infill pattern, load-bearing capacity, static load test, involute.

Összefoglalás

Jelen kutatásban a 3D-nyomtatott fogaskerekek kitöltési mintázatainak elemzését végeztük annak érdekében, hogy optimalizáljuk azok teherbíró képességét. A vizsgálat során egyedi kitöltési mintázatokat fejlesztettünk ki, figyelembe véve a fogaskerekek kapcsolódásakor fellépő erőhatások irányát. Ezeket a mintázatokat összehasonlítottuk a szakirodalomban [1, 2, 3] leginkább ajánlott Gyroid-kitöltéssel. A vizsgált fogaskerekek hengeres evolvens fogaskerekek voltak, és a nyomtatás során a tömeget vettük referencia-paraméternek. Egy egyedi kitöltési mintázatot terveztünk, amelyet a Gyroid-kitöltéssel kombináltunk, majd ezeket az általános Gyroid-kitöltéssel hasonlítottuk össze. A különböző kitöltési szerkezetek teherbíró képességének meghatározásához egyszerű statikus terhelési vizsgálatot végeztünk. Minden egyes kitöltési mintázathoz három fogaskereket nyomtattunk, majd mindegyiken három egyedi, statikus teherbírási tesztet hajtottunk végre. Mivel műanyag fogaskerekekkel dolgoztunk, a fogaskerekek központi furatát módosítottuk. Ez azért volt szükséges, mert ha egy egyszerű retesz megoldást alkalmaztunk volna, a fogaskerekek a fellépő nyomaték hatására elfordulhattak volna a tengelyen. Ennek elkerülése érdekében a központi furatot hatlap-kialakításúra cseréltük.

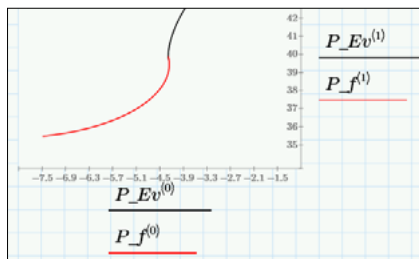
Kulcsszavak: fogaskerék, kitöltési mintázat, teherbírás, statikus terhelési vizsgálat, evolvens.

1. Bevezetés

Napjainkban a műanyagok feldolgozása és újrahasznosítása egyre nagyobb jelentőséggel bír, különösen a fenntartható gyártás szempontjából. Az egyik legelterjedtebb műanyag-megmunkálási módszer a fröccsöntés, amelyet széles körben alkalmaznak az autóiiparban, a csomagolóiparban és az elektronikai eszközök gyártásában. A fröccsöntés előnye a gyors és gazdaságos sorozatgyártás, ugyanakkor jelentős hátránya, hogy a szerszámköltségek nagyok, és az anyagvesztés is számottevő lehet. Ezzel szemben az additív gyártási eljárások – különösen a szálkiszajtolás (angolul Fused Deposition Modeling vagy Fused Filament Fabrication) – az utóbbi években egyre nagyobb népszerűsége tettek szert, mivel rétegről rétegre történő anyagfelépítéssel minimalizálják a hulladékot, és lehetőséget biztosítanak egyedi, bonyolult geometriájú alkatrészek gyors előállítására.

Az FDM-technika fejlődésével egyre szélesebb anyagválaszték vált elérhetővé, beleértve a szén-szállal és üvegszállal erősített műanyagokat is, mert a szálak javítják a mechanikai tulajdonságokat és a kopásállóságot. Jelen kutatásban az FFF (Fused Filament Fabrication) additív gyártási technikát alkalmaztuk. A háztartási eszközökben használt fogaskerek többsege műanyagból készül, a költséghatékonyság mellett azonban számolni kell a lecsökkent élettartammal, főként a nagy fordulatszámon történő üzemeltetés és az anyagtulajdonságokból adódó kopás miatt [9]. E fogaskerek cseréje gyakran körülményes, mivel a termékkatalógusok sok esetben nem tartalmazzák a szabványos méreteket, ami miatt az egyedi utánpótlás nehézkessé válik.

Az FFF-technikával nyomtatott fogaskerek esetében a megfelelő kitöltési mintázat és az optimális nyomtatási paraméterek kulcsfontosságúak a mechanikai teljesítmény szempontjából. Kutatásunk során összehasonlítottuk a különböző kitöltési mintázatok hatását a fogaskerek teherbírására.



1. ábra. Evolvens profil sajátos foglábgörbével

2. Az általános fogprofil és a 3D-modell kialakítása

A kutatás kiindulásakor meghatároztuk, hogy a legelterjedtebb fogprofil, az evolvens profil fogjuk alkalmazni, tehát evolvens hengeres fogaskereken kívánjuk a vizsgálatokat elvégezni [4].

Annak érdekében, hogy létrehozzuk a 3D-modellt, első lépésben a fogprofil és az ehhez tartozó foglábgörbét kell kialakítani. A profilt, valamint a foglábgörbét egyaránt MathCAD-környezetben hoztuk létre. A fogprofil kialakításához a következő fogaskerékatadatokat hasznosítottuk [4, 5]:

- modul: $m = 5$ mm,
- fajlagos fogfejmagasság: $h_0 = 1$,
- fajlagos foghézag: $c_0 = 0,25$,
- fogsám: $z_1 = 17$,
- fogmagasság: $a = (h_0 + c_0)m = 6,25$ mm,
- fogaskerék-szélesség: $b = 20$ mm.

A fogaskerék profilját egyenlő hosszúságú ívszakaszokból építettük fel, a pontosabb geometria kialakításának érdekében. A foglábgörbét nem a szabványos $\rho_{of} = 0,38$ m [6] képlet alkalmazásával határoztuk meg, hanem a [7] irodalom alapján, a robusztusabb fogláb-kialakításra törekedve. Ezzel a megközelítéssel célunk a terheléeloszlás optimalizálása és a fogaskerék élettartamának növelése volt. Jelen kutatásban azonban ennek részletes elemzésére nem térünk ki.

A foglábát és a fogprofilat az 1. ábrán szemléltettük.

A 3D-modell kialakítását Autodesk Inventor környezetben valósítottuk meg, a MathCAD-ből exportált profilpontok felhasználásával. A modell megalkotásához az Autodesk Inventor specifikus parancsait alkalmaztuk, mint például az Extrude, Circular Pattern, Mirror stb. [8]. Az így létrehozott geometria biztosította a precíz fogprofil-rekonstrukciót, amely elengedhetetlen a további szimulációk és gyártási folyamatok szempontjából. A modell a 2. ábrán látható.



2. ábra. Az alkalmazott, evolvens hengeres fogaskerék Inventor-modellje

3. Sajátos mintázatok kialakítása

3.1. Levoid kitöltési mintázat

Minden mintázat kialakítása az Autodesk Inventor környezetében történt, és minden esetben a már meglévő fogaskerékmodell módosításával valósult meg. A mintázatok tervezése során kiemelt figyelmet fordítottunk a geometriai paraméterek pontos beállítására, hogy azok megfeleljenek a kívánt mechanikai tulajdonságoknak. A falak vastagságát minden esetben 0,8 mm-re állítottuk be, mivel ez a vastagság biztosítja a megfelelő egyensúlyt a mechanikai szilárdság és az anyagfelhasználás között, miközben minimalizálja a túlságosan vastag falak esetleges túlzott anyagfelhasználásából adódó hátrányokat.

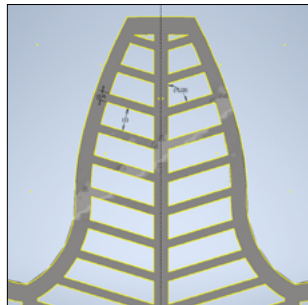
A megfelelő támasztás biztosítása érdekében, a fog szimmetriavonalát figyelembe véve alakítottuk ki a támaszokat. Emellett a fogláb görbületi sugarak metszéspontján és a fogaskerék tengelyét összekötő egyenes mentén is 0,8 mm szélességű támaszokat terveztünk. Ezek a támaszok biztosítják, hogy a fogaskerék szerkezete a nyomtatás során ne deformálódjon, és az alkatrész a legnagyobb terhelés alatt is megőrizze formáját.

A levél erezetére hasonlító Levoid-kitöltést (3. ábra) úgy hoztuk létre, hogy a fog szimmetria-tengelyére 75°-os szögben további támaszelemeket terveztünk. Ezen támaszok szélessége minden esetben 0,4 mm, hogy kellő stabilitást biztosítsanak, miközben minimalizálják az anyagfelhasználást. A támaszok közötti távolságot 1 mm-ben határoztuk meg, mivel ez a távolság biztosítja, hogy a nyomtatott mintázat kellően erős legyen, de ne terhelje túlzottan az anyagot, így fenntartva a kívánt mechanikai tulajdonságokat. A támaszelemek elrendezése és méretezése kulcsfontosságú a nyomtatott alkatrészek szilárdságának és hosszú élettartamának biztosításában.

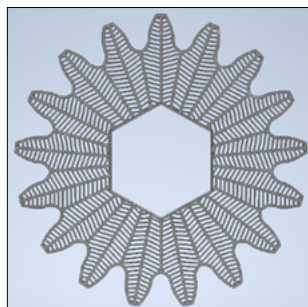
Mivel műanyag fogaskerekekkel dolgoztunk, módosítottuk a fogaskerekek központi furatát. Erre azért volt szükség, mert egy egyszerű retesz rögzítés esetén a fellépő nyomaték hatására a fogaskerekek elfordulhattak volna a tengelyen. Ennek megelőzése érdekében a központi furatot hatlap-kialakításúra terveztük, biztosítva ezzel a biztonságosabb nyomatékátvitelt (4. ábra).

3.2. Ötvözött Levoid-kitöltés

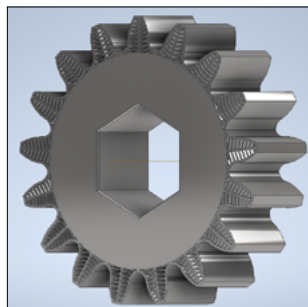
Ebben az esetben a Levoid- és a hagyományos Gyroid-kitöltéseket ötvöztük, hogy a fogaskerekek mechanikai teljesítményét és anyagfelhasználását optimalizáljuk. A fogaskerekek fogainak kitöltése Levoid-kitöltéssel történt, mivel ez a



3. ábra. Levoid-kitöltési mintázat



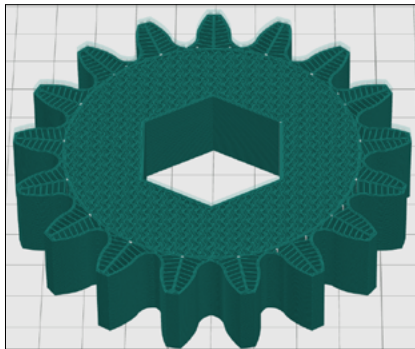
4. ábra. 100%-os Levoid-kitöltés



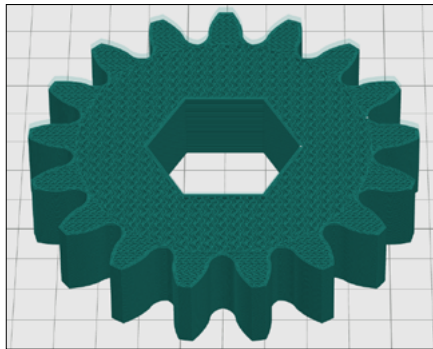
5. ábra. Ötvözött Levoid-kitöltés

mintázat feltehetően alkalmas a hosszú távú terhelhetőség biztosítására és a szükséges stabilitás elérésére. A fogaskerék magját viszont 30%-os Gyroid-kitöltéssel terveztük (5. ábra), mivel a Gyroid-szerkezet ideális a tömegcsökkentéshez és a szerkezeti integritás fenntartásához, miközben a kívánt mechanikai tulajdonságokat biztosítja.

A Gyroid-kitöltést egy 71,264 mm átmérőjű körön belül alkalmaztuk, hogy a külső fal vastagsága minden esetben 0,8 mm maradjon. Ez a megközelítés biztosítja, hogy a fogaskerék külső rétege elég erős legyen ahhoz, hogy elbírja a működés közben fellépő erőhatásokat, miközben a belső szerkezet könnyebb és jobb anyagkihasználtságú lesz. A Gyroid-kitöltés egy bonyolult geomet-



6. ábra. Ötvözt Levvoid-kitöltés: szeletelt modell



7. ábra. Hagyományos Gyroid szeletelt modell

riai mintázat, amelynek analitikus módszerekkel történő kialakítása igen nehéz feladat. Ezért ezt a szeletelőprogramra bíztuk, amely automatikusan generálta a megfelelő mintázatot a 3D-nyomtatáshoz.

A szeletelt, ötvözt Levvoid-modellt a 6. ábrán szemléltettük. Ez a kombinált kitöltési struktúra lehetővé teszi, hogy a fogaskerék mindkét részében a legjobb mechanikai tulajdonságokat érjük el: a fogak terhelhetősége és kopásállósága javul a Levvoid-kitöltésnek köszönhetően, míg a fogaskerék középső része könnyebb és rugalmasabb, miközben a Gyroid-kitöltés révén megőrzi a szükséges szilárdságot.

3.3. Hagyományos Gyroid-kitöltés

Mivel az egyedi kitöltési struktúrákat egy általános, 30%-os Gyroid-kitöltéssel ötvöztük, összehasonlítás céljából létrehoztunk egy teljes egészében Gyroid-kitöltésű változatot is. Ennek célja az volt, hogy megvizsgáljuk a kitöltési módok hatását a szerkezeti szilárdságra, tömegmegtakarításra és gyártási folyamatokra.

Ebben az esetben is egy 30%-os Gyroid-kitöltést alkalmaztunk egy 71,264 mm átmérőjű körön belül, biztosítva a 0,8 mm-es külső fal megmaradását.

A fogak belső szerkezetének kialakításánál egy sűrűbb, 56%-os Gyroid-kitöltést alkalmaztunk. Ennek az volt a célja, hogy biztosítsuk a később létrehozott fogaskerekek tömegének egyezését, függetlenül attól, hogy milyen kitöltési struktúrát használunk. Ezzel a módszerrel lehetővé vált, hogy a különböző geometriájú fogaskerekek hasonló dinamikai és statikai tulajdonságokkal rendelkezzenek, ami fontos a rendszer egyensúlya és működése szempontjából.

A teljes Gyroid-kitöltésű modellt a 7. ábrán szemléltettük. A kitöltés pontos kialakítását teljes

mértékben a szeletelőprogramra bíztuk, amely automatikusan generálta a Gyroid-struktúrát az adott sűrűségi paraméterek és geometriai korlátok figyelembevételével. Ez a megközelítés nemcsak a tervezési folyamatot egyszerűsítette, hanem biztosította a gyártás során az egyenletes anyageloszlást és a mechanikai teljesítmény optimalizálását is.

4. Fogaskerekek additív gyártással történő létrehozása

A fogaskerekek nyomtatásához egy ágymozgató rendszerű, Sovol SV07-típusú 3D-nyomtatót használtunk, amely Klipper firmware-rel működik. Ez a nyomtató lehetővé teszi a nagyobb sebességű és precízebb nyomtatást, ami kulcsfontosságú a fogaskerekek pontos geometriájának biztosításához.

A nyomtatáshoz használt huzal egy AzureFilm fekete, matt színű HS (High Speed) PLA volt. Ezt az anyagot kifejezetten nagy sebességű nyomtatásra optimalizálták, kis zsugorodással és kiváló rétegek közötti tapadással, ami biztosítja a mechanikai stabilitást. A matt felület nemcsak esztétikailag előnyös, hanem segít csökkenteni a nyomtatási rétegek láthatóságát is.

A nyomtatási folyamat során nem a nyomtató saját szeletelőprogramját (Sovol Cura) használtuk, hanem az OrcaSlicer szoftvert, amely fejlettebb beállítási lehetőségeket kínál, és pontosabb vezérlést biztosít. A nyomtatási sebességet 150 mm/s-ra állítottuk, amely a HS PLA sajátosságainak megfelelően gyors és hatékony szálkiszajtolást biztosított anélkül, hogy a rétegek közötti tapadás romlott volna [9].

A beállításokat kifejezetten a kitöltési mintázat teherbírásra gyakorolt hatásának a tanulmányozásához igazítottuk. Ennek érdekében:

- a falak számát 2-re korlátoztuk, minimalizálva a peremréteg vastagságát;
- nem alkalmaztunk felső és alsó tömör réteget, így a kitöltési struktúra közvetlenül látható és elemezhető maradt;
- az asztal hőmérsékletét 60 °C-ra állítottuk, hogy biztosítsuk az első réteg megfelelő tapadását, és csökkentjük a vetemedés kockázatát [9];
- a fúvóka hőmérséklete 210 °C volt, ami optimális a HS PLA megfelelő olvadásához és egyenletes kisajtolásához [9];
- a fogaskerek tervezésekor a tömeget használtuk referenciaként, biztosítva ezzel az eltérő konstrukciók közötti egyensúlyt és az összehasonlíthatóságot.

Ezzel a beállításokkal a nyomtatás gyors és hatékony volt, miközben biztosítottuk a fogaskerek mechanikai integritását és méretpontosságát. Az alkalmazott paraméterek lehetővé tették a kitöltési mintázat hatásainak pontosabb vizsgálatát, ami hozzájárult a tervezési és gyártási folyamatok optimalizálásához.

Minden nyomtatás esetén arra törekedtünk, hogy a fogaskerek tömege a lehető legnagyobb mértékben megegyezzen, biztosítva ezzel az egyenletes mechanikai tulajdonságokat és a konzisztensebb vizsgálati eredményeket. Ennek érdekében minden egyes nyomatot külön lemértünk.

A legkisebb tömegű fogaskerék 56,395 g volt, míg a legnehezebb 57,450 g. Ez azt jelenti, hogy a tömegek közötti eltérés, azaz a szórásmező 1,055 g. Ez a különbség a nyomtatási folyamatból adódó apró eltéréseknek tudható be, például a szálkisajtolás egyenetlenségének, a hőmérséklet ingadozásainak és az egyes rétegek tapadási sajátosságainak.

A tömeg megkötése lehetővé tette, hogy az egyes minták összehasonlítását ne befolyásolja a súlykülönbség, és kizárólag a kitöltési mintázat hatásait vizsgálhassuk. Az eredmények alapján megállapítható, hogy a nyomtatási folyamat a kísérlet szempontjából elfogadható, mivel a tömegkülönbségek minimálisak maradtak.

A nyomtatási időt tekintve az eredmények azt mutatják, hogy a nyomtatási idők között csupán minimális különbség figyelhető meg, ami arra utal, hogy a nyomtatási folyamatok megbízhatóan és egyenletesen zajlanak. A három modell nyomtatási idejének szórása mindössze 8 perc, ami azt jelzi, hogy a nyomtatási idő viszonylag stabil, és kismértékben változik az egyes próbanyomatok között.

5. Statikus terhelési vizsgálatok és eredmények

A vizsgálatok során mindhárom javasolt kitöltéssel három-három próbadarabot készítettünk, hogy elegendő mérési adatot tudjunk előállítani az eredmények kiértékeléséhez. Az egyes minták gyártása azonos paraméterek mellett történt, biztosítva ezzel az összehasonlíthatóságot és a nyomtatási folyamat konzisztenciáját. Mindegyik próbadarabon 3 mérést végeztünk, 3 különböző fagon.

A statikus vizsgálatokat hagyományos, TOS-250-típusú esztergapadon végeztük, amely megfelelő stabilitást és pontosságot biztosított a kísérletekhez. Az eszterga tokmányába 250 mm hosszúságú, 32 mm-es laptávolságú hatszögrudat helyeztünk, amely az egyes fogaskerek központi furatához illeszkedett, így biztosítva azok megfelelő rögzítését.

Az eszterga késtartójába 10 mm átmérőjű hengert helyeztünk, amelyet úgy állítottunk be, hogy a fogaskerek fogárába illeszkedjen. Ez a beállítás lehetővé tette a fogak közvetlen terhelését és az alakváltozások pontos mérését.

A hatszögrúd szabad végére nyomaték mérőt szereltünk, amely lehetővé tette a fogaskerek terhelés alatti viselkedésének pontos vizsgálatát. A nyomaték mérőre kilincsműves dugókulcsot csatlakoztattunk, amellyel fokozatosan növeltük a terhelést, miközben figyeztük a fogaskerek alakváltozását és a tönkremeneteli nyomatékot.

A mérés célja az volt, hogy pontos adatokat nyerjünk a különböző kitöltési struktúrákkal rendelkező fogaskerek terhelhetőségéről és mechanikai viselkedéséről. Az így kapott adatok segítséget nyújtanak a fogaskerék-geometriák optimalizálásában és a nyomtatott fogaskerek gyakorlati alkalmazhatóságának értékelésében.

A mért értékeket a következő táblázatokban összegeztük.

1. táblázat. Levold-kitöltés

	1. db (Nm)	2. db (Nm)	3. db (Nm)
1.	28,6	33,5	26,2
2.	24,1	23,7	30,4
3.	24,6	40,7	35,6

2. táblázat. Ötvözt Levold-kitöltés

	1. db (Nm)	2. db (Nm)	3. db (Nm)
1.	24,3	49	46,9
2.	26	48,6	47,1
3.	35	55,7	48,3

3. táblázat. Hagyományos Gyroid-kitöltés

	1. db (Nm)	2. db (Nm)	3. db (Nm)
1.	37,7	49,5	58,2
2.	53,8	56,4	–
3.	61	57,2	–

6. Következtetések

Vizsgálataink igazolták, hogy a választott mintázat geometriája nem véletlenszerűen határozza meg a fogaskerek terhelhetőségét, hanem az a gépelemek működésének kinematikájából fakad. Ez különösen fontos szempont a tervezés során, mivel a megfelelő kitöltési struktúra kiválasztásával optimalizálhatók a fogaskerek mechanikai tulajdonságai és élettartama.

A roncsolásos tesztek során megfigyeltük, hogy minden meghibásodás a fogtő alatti kritikus elmozdulásnál következett be, ami összefüggésben állt a kitöltési mintázat váltakozásával. Ez azt jelzi, hogy az anyagszerkezet átmeneti zónái gyengébbek lehetnek, ezért a tervezés során fokozott figyelmet kell fordítani a kitöltési minta homogenitására.

A hagyományos Gyroid-kitöltés esetén szignifikáns kiugrások figyelhetők meg a mért értékekben. Ez annak tudható be, hogy a szeletelőprogram véletlenszerűen alakítja ki a kitöltést, tehát a kitöltés elrendezése minden fog esetében eltérő lehet. Ennek következtében az ilyen kitöltéssel készült fogaskerek terhelése nem konstans, hanem instabil, ami megbízhatatlanná teszi ezt a kitöltési mintázatot ipari alkalmazásban.

Az ötvözött Levold-kitöltés esetében a mért adatok arra utalnak, hogy a szerkezet terhelése jobb, mint az egyszerű Levold-kitöltésé, és megközelíti a hagyományos Gyroid-kitöltés szintjét. A mérési eredmények kisebb szórást mutatnak, ami arra enged következtetni, hogy az ötvözött struktúra segít a terhelés egyenletesebb elosztásában. Ez azt jelzi, hogy az ötvözés optimalizálhatja a fogaskerek mechanikai viselkedését, csökkentve a kritikus terhelési pontokon jelentkező feszültségcsúcsokat.

A mérési eredmények azt mutatják, hogy a hagyományos Gyroid-kitöltés terhelése jobb, mint az általunk kialakított Levold-kitöltési mintázaté. A mért adatokból az is megfigyelhető, hogy az

egyszerű Levold-kitöltés terhelése kisebb, ami a kisebb átlagos nyomatértékekből is látható.

Eredményeink rávilágítanak arra, hogy a fogaskerek tervezésekor nemcsak a fogprofil és az anyagválasztás, hanem a belső kitöltési mintázat is kulcsszerepet játszik az optimális mechanikai teljesítmény elérésében.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Dawood L. L., AlAmeen E. S.: *Influence of Infill Patterns and Densities on the Fatigue Performance and Fracture Behavior of 3D-Printed Carbon Fiber-Reinforced PLA Composites*. AIMS Materials Science, 11/5. (2024) 833–857. <https://doi.org/10.3934/matricsci.2024041>
- [2] Calabrese L., Marabello G., Chairi M., Di Bella G.: *Optimization of Deposition Temperature and Gyroid Infill to Improve Flexural Performance of PLA and PLA-Flax Fiber Composite Sandwich Structures*. Journal of Manufacturing and Materials Processing, 9/2. (2025) 31. <https://doi.org/10.3390/jmmp9020031>
- [3] Lin D., Zhang X., Li J.: *Optimizing 3D Printing Parameters: Evaluating Infill Type and Layer Height Effects on Tensile Fracture Force*. Journal of emerging investigators, 2021. <https://doi.org/10.59720/20-083>
- [4] Máté M.: *Hengeres fogaskerek gyártószerszámai*. Műszaki Tudományos Füzetek 12. Erdélyi Múzeum-Egyesület, Kolozsvár, 2016. <https://doi.org/10.36242/mtf-12>
- [5] Hollanda D.: *Aşchiere şi scule*. Reprografia I.I.S.Tg.Mureş, 1994. 234–240.
- [6] Pálfi K., Prezenszky T., Csibi V., Antal B., Gyenge Cs., Balogh F.: *Fogazott alkatrészek tervezése, számszámai és gyártása*. Gloria Kiadó, Kolozsvár, 1999.
- [7] Hodgyai N., Tolvaly-Roşca F., Máté M.: *The Conditions of Undercut by Shaping Using a Rounded Profile Gear Shaper Cutter*. Műszaki Tudományos Közlemények, 14. (2021) 30–36. <https://doi.org/10.33894/mtk-2021.14.05>
- [8] Tolvaly-Roşca F.: *A számítógépes tervezés alapjai: AutoLisp és Autodesk Inventor alapismeretek*. Műszaki Tudományos Füzetek 7. Erdélyi Múzeum-Egyesület, Kolozsvár, 2009. <https://doi.org/10.36242/mtf-07>
- [9] Cano-Vicent A., Tambuwala M. M., Hassan Sk. S., Barh D., Aljabali Alaa A.A., Birkett M., Ajunan A., Serrano-Aroca Á.: *Fused Deposition Modelling: Current Status, Methodology, Applications and Future Prospects*. Elsevier, Additive Manufacturing, 47. (2021) 102378. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2021.102378>