

Lebomló interferencia csavarok fröccsöntése Objet/Polyjet eljárással készült
szerszámba

Oroszlány Á., Kovács J. G.

Accepted for publication in Műanyag és Gumi

Published in 2011

DOI:

Lebomló interferencia csavarok fröccsöntése Objet/PolyJet eljárással készült szerszámba

Oroszlány Ákos* PhD hallgató, Dr. Kovács József Gábor* egyetemi docens, laborvezető

1. Bevezetés

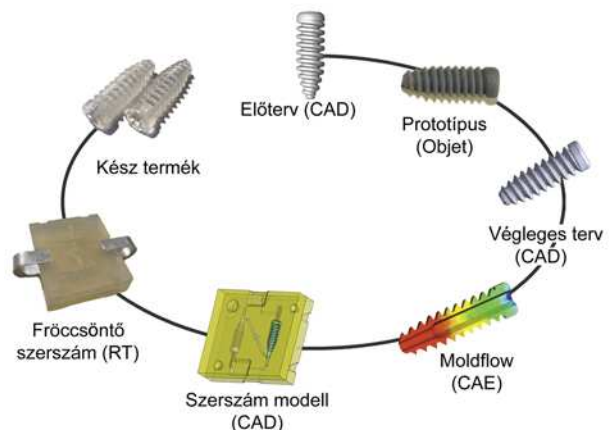
Napjainkban a minél gyorsabb fejlesztési ciklusokra való igény a terméktervezés és -gyártás egész területén érvényesül. A fejlesztési ciklusok jelentős lerövidítését teszi lehetővé a gyors prototípusgyártás (Rapid Prototyping – RPT) és a gyors szerszámozás (Rapid Tooling – RT), amelyek napjainkra a terméktervezés és -fejlesztés hétköznapi eszközévé váltak. A gyors prototípusgyártással elsősorban termékek modelljei, vagy mint a nevében is rejlik, prototípusai készíthetők el, amelyek azonban anyagában nem feltétlenül egyeznek a végleges termékkel. A gyors szerszámozás technológiája lehetővé teszi a végtermékkel azonos geometriájú és anyagú termékek gyártását is [1].

A gyors szerszámkészítés a gyors prototípusgyártásból fejlődött ki. Alapelve, hogy a hagyományos anyageltávolító szerszámgyártó eljárásokkal szemben, amelyeknél forgácsolással egy nagyobb anyagtömbből távolítják el az anyagfelesleget, a szerszámot rétegről rétegre építik fel, ezáltal a szerszámtervező mérnök is nagyobb szabadságot kap a tervezésben (pl. kör furat). A tervezési szabadság mellett ezen eljárások másik előnye, miként nevükben is benne van, a gyorsaságuk. A szerszámmodell elkészítése után akár 12–24 órával az első széria is elkészülhet a termékből, annak végleges anyagából. Napjainkra az így készült szerszámok megjelentek minden elterjedt technológiához. Ezek közül talán a legfontosabb a műanyagok fröccsöntése, présleg- és vákuumformázása, poliuretánok habosítása, különböző fémek nyomásos és kokilla öntése, kerámiaöntéssel előállítható termékek viaszmintáinak előállítás és fémlemezek alakítása mélyhúzással, sajtolással, hajlítással [2–4].

A gyors prototípusgyártásból kialakuló gyors szerszámkészítési eljárások egyik fő csoportja, az ún. Direct Rapid Tooling (DRP) azokat az eljárásokat fogja össze, amelyekkel közvetlenül állíthatunk elő szerszámokat, illetve azok alakadó betéteit. A magasabb hőmérsékletű alakításhoz (pl. műanyagok fröccsöntése) a közvetlen gyors szerszámkészítésnél a szerszámbetéteket a gyors prototípusgyártáshoz hasonlóan rétegről-rétegre hozzák létre. A magas hő- és nyomásterhelés miatt főleg fémpor alapú technológiákat, jellemzően szelektív lézer szinte-

rezést, alkalmaztak fröccsöntő szerszám, illetve szerszámbetét gyártásához [5, 6]. Ugyanakkor ígéretes kutatások folynak olcsóbb technológiákkal is, mint a sztereolitográfia vagy az Objet Technologies Polyjet technológiája [7, 8].

Egy orvosi interferencia csavart gyártottunk politejsavból fröccsöntéssel. A tervezési és gyártási folyamatot az 1. ábra szemlélteti. Az előzetes tervek alapján gyártott csavar prototípusokat gyakorló orvosokkal véleményeztettük, és ennek alapján hoztuk létre a végleges modellt. Az ezen végrehajtott fröccsszimulációs vizsgálatok eredményeit vettük figyelembe a szerszám tervezésénél. A fröccsöntő szerszámot Objet Technologies Polyjet technológiájával készítettük Fullcure720 anyagból.



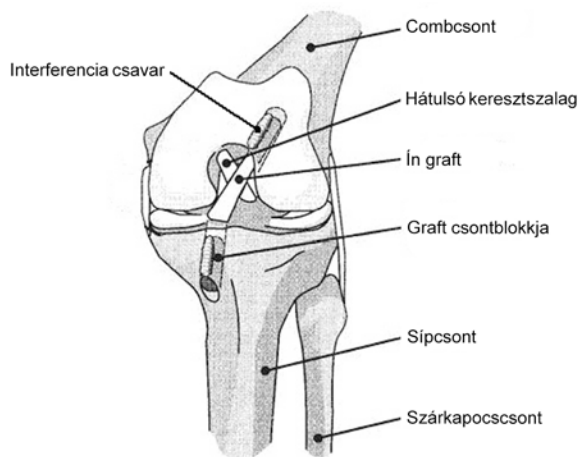
1. ábra. Gyártási folyamat, ötlettől a végtermékig

2. Interferencia csavarok alkalmazási területe

Az inak rögzítésére szolgáló interferencia csavarokat elsősorban a térd elülső (CLA), illetve hátulsó (CLP) keresztzalagjainak rögzítésére alkalmazzák. Sérülésük vagy szakadásuk esetén a szalagok nem tudják ellátni feladatukat, kezelés nélkül a térd visszahajolhat, illetve merevvé válhat.

Az elülső keresztzalag sérülései, és ennek következtében a CLA rekonstrukciók száma az elmúlt évtizedekben megnövekedett. Az orvosok rendelkezésére álló rekonstrukciós technikák és eszköztárak jelentős fejlődé-

*Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Polimertechnika Tanszék



2. ábra. Csontblokkos graft rögzítése interferencia csavarral [9]

sen mentek keresztül [9–11]. Napjainkban az interferencia csavaros rekonstrukció általánosan elterjedt, gyakran alkalmazott eljárás (2. ábra). Hasonló, de eltérő méretű csavarokat alkalmaznak a bokában, lábfejjében, illetve csuklónál és kézfejjében az inak szakadása esetén.

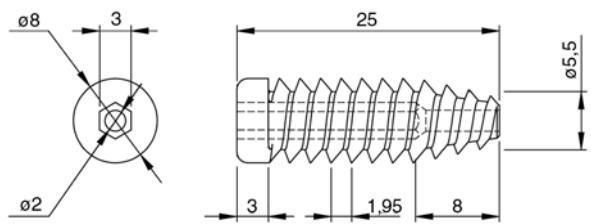
A piacon jelenleg is elérhető fém, illetve felszívódó anyagból készült csavarok és rögzítő eszközök. A felszívódó anyagból készült csavarok vitathatatlan hátránya az áruk, amit viszont kiegyenlíthet a kevesebb revíziós, illetve implantátum eltávolító műtét. A kevesebb műtéttel pedig nemcsak az ellátórendszer jár jól, hanem a betegek szervezetét is kevesebb terhelés éri.

3. Csavarok tervezése

A tervezés során kétféle igényfelmérést végeztünk gyakorló orvosok körében. Először felmértük az általuk használt rekonstrukciós technológiákat és implantátumokat, különös figyelmet szentelve az interferencia csavaroknak [13]. A második ütemben az előzetes tervek alapján gyártott csavar prototípusokat juttattunk el az orvosoknak. Felmérésünk eredményeit és az orvosok válaszait figyelembe véve dolgoztuk ki a végleges csavargeometriát (3. ábra).

4. Fröccsöntés szimuláció

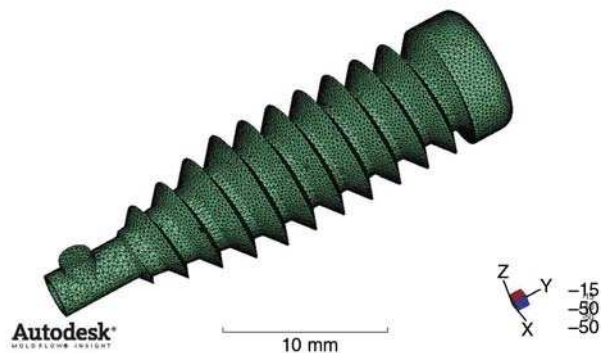
A gyártást megelőzően fröccsöntési szimulációkat alkalmaztunk, különféle beömlőcsatornák hatását vizsgáltuk a termék termikus és geometriai tulajdonságaira. Az összehasonlító szimulációs vizsgálatok eredményeit korábbi publikációnkban [16] közöltük, ezért e munka keretében



3. ábra. Végleges csavargeometria és a csavar fő méretei [13]

csak a végleges modellen elért eredményeket foglaljuk össze.

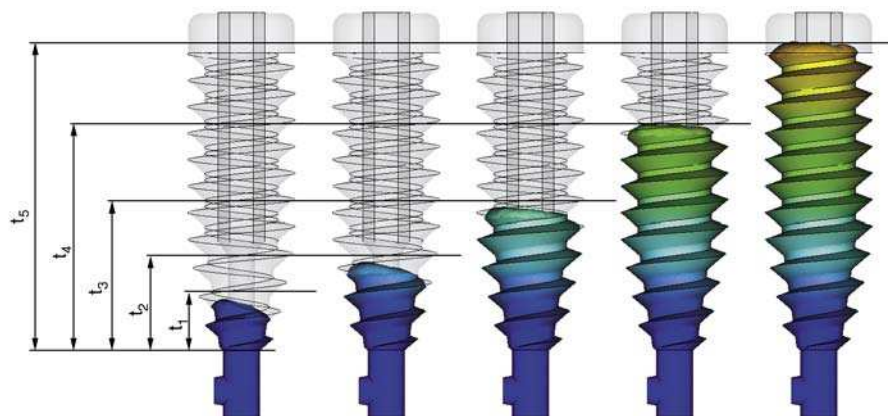
Moldflow Plastics Insight programmal dolgoztunk. Térfogati hálózást alkalmazva a csavar szimulációs modellje közel fél millió tetraéder elemből épült fel (4. ábra). A számításhoz az anyagadatbázisban is megtalálható Natureworks 7000 politejsavat használtuk.



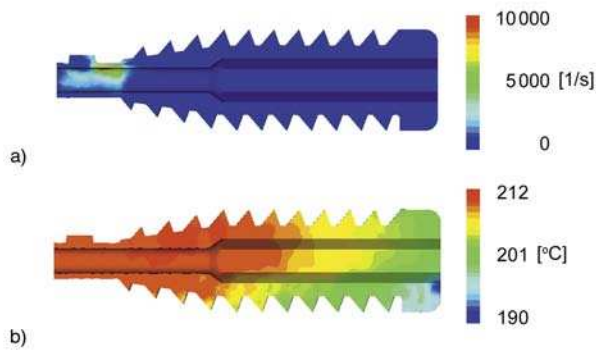
4. ábra. Termékmodell beömlővel

A kitöltési vizsgálatok alapján megállapítható, hogy a csavartesthez csatlakozó beömlő oldalról való kitöltése aszimmetrikus ömledékfrontot okoz a formaüregben a hossz tengely mentén. Az aszimmetrikus kitöltés csak a teljes kitöltési idő 85%-nál tűnik el, amikor a csavar fejéhez ér (5. ábra).

A szimulációs vizsgálatok kimutatták, hogy a csavar-



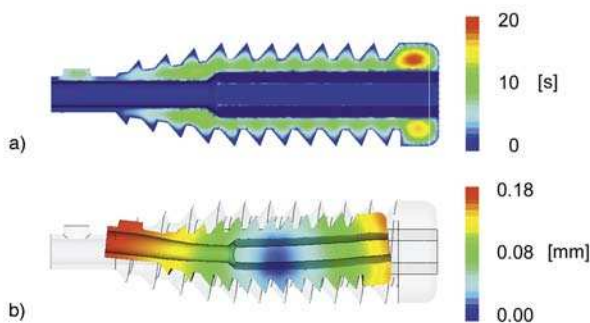
5. ábra. Formaüreg kitöltési mintája a kitöltési idő 10 (t_1), 15 (t_2), 35 (t_3), 60 (t_4) és 85 (t_5) százalékánál [16]



6. ábra. Nyírás- (a) és hőmérséklet-eloszlás (b) a szerszám-üregben a kitöltés során [16]

testhez csatlakozó beömlési oldalon nagyobb nyírás lép fel (6a. ábra), ami tovább növelheti az egyenetlen kitöltés okozta aszimmetrikus hőmérséklet-eloszlást (6b. ábra).

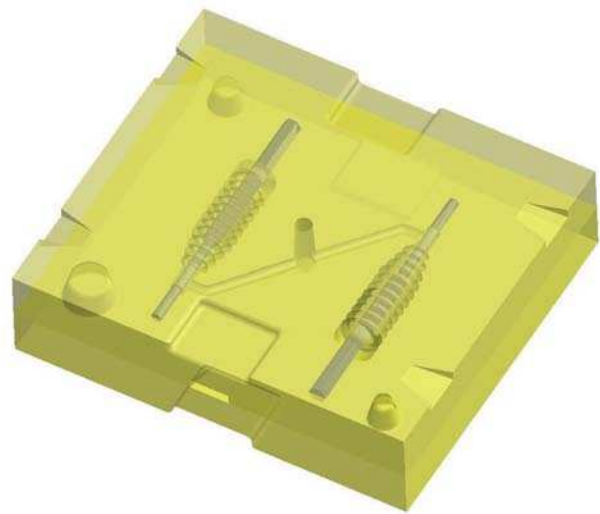
A hűlési időszükségletre nincs jelentős hatással az aszimmetrikus hőmérséklet-eloszlás. A 7a. ábrán látható, hogy a befröccsöntéssel azonos oldalon található nagyobb hűtési időt igénylő terület megegyezik a csavarment és a csavarfej összefutásának területével. A csavarment csavarfejbe való befutásánál lokális anyag-többlet jön létre, amelynek a hűlési ideje is hosszabb, mint a csavarfej ellenkező oldalának hűlési ideje. Az aszimmetrikus hőmérséklet-eloszlás okozta egyenetlen hűlés hatása jól megfigyelhető a csavar deformációján, amely a vártaknak megfelelően a melegebb oldala felé görbül (7b. ábra).



7. ábra. Hűlési időszükséglet (a) és modell deformáció (nagyítás: 25×) (b) [16]

5. Szerszámkészítés

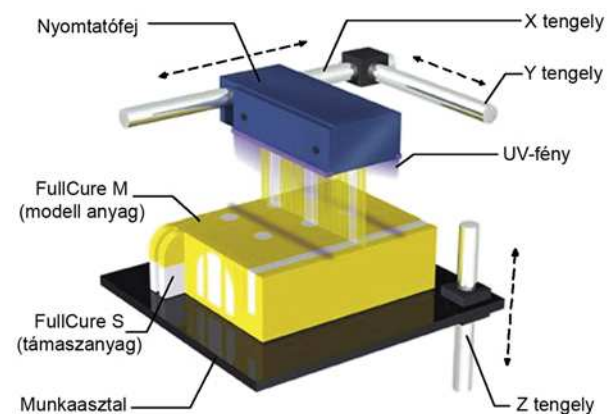
A szerszám tervezése során a főbb szempontok a kiegyensúlyozottság, az egyszerű használhatóság és gyártathatóság volt. A kiegyensúlyozottság érdekében kétfélszkes szerszámot terveztünk, amelyben a csavarok ellentétes irányban helyezkednek el, az elosztócsatorna pedig a szerszám átlója mentén éri el a csavarok beömlőit. A szerszámfeleket vezetőképpokkal pozícionáltuk. A záráshoz használt fém zárópántoknak az alsó és felső él men-



8. ábra. Fröccsöntő szerszám összeillesztett modellje betétekkel

tén mélyedéseket alakítottunk ki. Az álló oldali szerszámfél hátuljára ék alakú bemetszéseket terveztünk a fröccsöntő gépből való könnyebb eltávolítás érdekében (8. ábra).

Az eljárás lényege, hogy a nyomtatófej a végleges modell anyagát rétegről-rétegre egymásra nyomtatja. Az alapanyag fényérzékeny műgyanta, amelyet UV fényel térhálósítunk (9. ábra). A nyomtatófej a síkban X és Y tengely mentén tud mozogni, a működés során a nyomtatófejbe épített UV fényforrások azonnal megszilárdítják a kinyomtatott anyagot. Amikor egy réteg elkészül a kívánt termékből, az asztal a Z tengely mentén egy réteget süllyed [17–21].



9. ábra. Objet Polyjet technológia vázlatja [21]

6. Csavarok fröccsöntése

A csavarokat ARBURG 320C 600-250 típusú berendezéssel fröccsöntöttük, alapanyagként Natureworks 3051D típusú, előírások szerint előszárított politejsavat használunk. Célunk a csavarok geometriai és mechanikai tesztelése volt, nem pedig az élő állatokon való kísérletezés,

ezért nem volt szükséges orvosi tisztaságú alapanyag felhasználására, miként tisztateres fröccsöntési körülmények biztosítására sem.

A szerszámot az állóoldali szerszámfelfogó lapra rögzítettük (10. ábra). A mozgóoldali szerszámfelet a szorítópántok tartották a helyén. A mozgóoldali szerszámfelfogó lappal kizárólag a záróerőt, illetve a szerszám pozíciójában tartását biztosítottuk. Bár a szerszám nyitása és zárása, miként a termék eltávolítása is kézzel történt, a kis darabszám miatt ez nem okozott gondot. A fröccsöntési paraméterek beállítása során figyelembe kell venni, hogy a szerszám nyomószilárdsága 85 MPa körüli és 50°C körül van az üvegesedési hőmérséklete. Nagy záróerő, fröccsnyomás vagy túlmelegedés könnyen tönkretelheti a szerszámot. A sikeres csavar fröccsöntéshez alkalmazott gépbeállításokat az 1. táblázat tartalmazza.

Egy szerszámmal 10–15 terméket tudunk készíteni, amelyből néhányat a 11. ábra szemléltet. Mivel mind a



10. ábra. Fröccsöntő gépre felfogott, összeszerelt fröccsöntő szerszám [21]

1. táblázat.

Fröccsöntési paraméterek a gyártás során

Paraméter	Beállított érték
Névleges fröccsnyomás, bar	400
Utónyomás, bar	400 → 200
Utónyomás ideje, s	5
Záróerő, kN	20
Zónahőmérsékletek, °C	
1. zóna	175
2. zóna	185
3. zóna	190
4. zóna	195
5. zóna	200



11. ábra. Elkészült csavar sorozat

termék geometriája, mind a termék anyaga jelentősen befolyásolja a szerszám élettartamát, ezért célszerű minél több fészket kialakítani a szerszámban. Egyszerűbb geometriák esetén a szerszám akár 100 ciklust is kibírhat [9], azonban bonyolultabb geometriánál nem szabad ekkora élettartammal számolni.

7. Összefoglalás

Fröccsöntési szimulációval támogatott, *Objet Polyjet* technológián alapuló prototípus szerszámozási feladat megoldását adtuk közre. *Moldflow* fröccsöntési szimulációval rámutattunk a prototípus szerszám kialakításának egyes részleteire és a gyártás kezdete előtti optimalás lehetőségeire. Átterveztük az elosztó rendszert, meghatároztuk az ideális gyártási körülményeket, hogy a lehető legtöbb terméket lehessen a szerszámban elkészíteni. Néhány tucat olyan orvostechikai rögzítő elemet fröccsöntöttünk, amelyek elengedhetetlenek az adott termék végső geometriájának teszteléséhez. A jelen technológia alkalmas fröccsöntött termékek költséghatékony, kiszériás gyártására.

A cikk a Bolyai János Kutatási ösztöndíj támogatásával készült. Ezúton fejezzük ki köszönetünket a VARINEX ZRT.-nek a folyamatos támogatásáért és az ARBURG HUNGÁRIA KFT.-nek a fröccsöntő gépért. A munka a „Minőségorientált, összehangolt oktatási és K+F+I stratégia, valamint működési modell kidolgozása a Műegyetemen” című projekt szakmai célkitűzéseinek megvalósításához kapcsolódik. A projekt megvalósítását az ÚMFT TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KMR-2010-0002 programja támogatja.

Irodalomjegyzék

- [1] Wohlers, T.: Wohlers Report 2006 – Rapid Prototyping and Manufacturing State of the Industry, Wohlers Associates, Fort Collins, USA, 2006.

- [2] László, Gy.: Polimerek alkalmazása a gyors szerszámgyártásban fémlemez alakításához, *Műanyag és Gumi*, 46/6, 227–231 (2009).
- [3] Deák, T.; Kovács, J. G.: Gyors prototípus vákuumformázó szerszám kifejlesztése, *Műanyag és Gumi*, 43/3, 111–115 (2006).
- [4] Falk, Gy.; Bartha, L.; Kovács, J. G.: Rapid Prototyping – Rapid Tooling a gyakorlatban, *Műanyag és Gumi*, 42/3, 84–88 (2005).
- [5] Radstok, E.: Rapid Tooling, *Rapid Prototyping Journal*, 5, 164–168 (1999).
- [6] King, D.; Tansey, T.: Rapid Tooling – selective laser sintering injection tooling, *Journal of Materials Processing Technology*, 132, 42–48 (2003).
- [7] Kovács, N. K.; Kovács, J. G.: Újszerű fröccsöntő szerszám alkalmazása a műanyag fröccsöntésben, *Gép*, 60, 78–80 (2009).
- [8] Rahmati S.; Dickens P.: Rapid tooling analysis of Stereolithography injection mould tooling, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 47, 740–747 (2007).
- [9] Pavlik, A.; Hidas, P.; Tállay, A.; Berkes, I.: Elülső keresztzalag pótlásnál alkalmazott rögzítések I. Az ideális graftrögzítés, *Magyar Traumatológia, Ortopédia, Kézsebészet, Plasztikai Sebészet*, 48, 101–110 (2005).
- [10] Pavlik, A.; Hidas, P.; Tállay, A.; Berkes, I.: Elülső keresztzalag pótlásnál alkalmazott rögzítések II. Biomechanikai értékelés, *Magyar traumatológia, ortopédia, kézsebészet, plasztikai sebészet*, 48, 205–219 (2005).
- [11] Bodó, L.; Hangody, L.; Borsitzky, B.; Béress, Gy.; Arató, G.; Nagy, P.; Ráthony, G.: Development of a tension-adjustable implant for anterior cruciate ligament reconstruction, *Joint Diseases and Related surgery*, 19, 27–32 (2008).
- [12] Beevers, D. J.: Metal vs. bioabsorbable interference screws: initial fixation, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers – Part H, Journal of Engineering in Medicine*, 217, 59–75 (2002).
- [13] Oroszlány, Á.: Speciális orvosi csavarok fejlesztése, *Gép*, 61, 67–70 (2010).
- [14] Kovács, J. G.: Fröccsöntési technológia tervezése és modellezése számítógépes szimulációs programmal, *Műanyag és Gumi*, 37/9, 316–325 (2000).
- [15] Kovács, J. G.: Fröccsöntési szimulációs programok elemzése, *Műanyag és Gumi*, 38/9, 350–358 (2001).
- [16] Oroszlány, Á.; Kovács, J. G.: Gate type influence on thermal characteristics of injection molded biodegradable interference screws for ACL reconstruction, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 37, 766–769 (2010).
- [17] Falk, Gy.: PolyJet, a Rapid Prototyping új dimenziója, *Műanyag és Gumi*, 43/11, 456–459 (2006).
- [18] Falk, Gy.: A 3D Printing térhódítása, *Műanyag és Gumi*, 44/3, 107–110 (2007).
- [19] Falk, Gy.: 3D nyomtatás – a la Carte, *Műanyag és Gumi*, 45/4, 134–135 (2008).
- [20] Falk, Gy.: Amikor a minőség számít – új 3D nyomtató – Objet/Alaris 30, *Műanyag és Gumi*, 46/3, 97–100 (2009).
- [21] www.objet.com