

Objet-PolyJet technológiával gyártott fröccsöntő szerszám-betétek vizsgálata
Kovács N. K., Kovács J. G.

Accepted for publication in Műanyag és Gumi

Published in 2011

DOI:

Objet-PolyJet technológiával gyártott fröccsöntő szerszámbetétek vizsgálata

Falk György okleveles gépészmérnök,

a magyarországi gyors prototípus gyártás úttörőjének, 60. születésnapjára

Kovács Norbert Krisztián* doktorandusz, Dr. Kovács József Gábor* egyetemi docens

1. Bevezetés

A piaci igények gyors változása és az ezzel lépést tartó, rohamosan fejlődő technológiák eredményeként az új termékek piacra kerülésének ideje jelentősen lecsökkent. Mindez magával hozta, hogy a klasszikus, egymást követő gyártási folyamatok helyét átvegye az egyidejű, szimultán gyártástervezés [1–3]. Ennek legfontosabb pillérei a közbenső ellenőrzés és a gyártásban résztvevők hatékony kommunikációja. A gyors prototípusgyártás (RTP) megjelenése ebben a kommunikációban robbanásszerű előrelépést jelentett.

A lassan három évtizedes múlta visszatekintő RPT technológiák fejlődése a gazdasági válság ellenére is töretlen. A 2007. évi eladási adatok szerint, a világon közel 3500 gép került piacra, ami az előző évhez képest 21% növekedést jelent [6]. Ebből a dinamikus növekvő piacból az OBJET GEOMETRIES cég 8,2%-os részesedést tud felmutatni, és további biztató előjel, hogy a beruházók közel 27,8%-a vásárol OBJET gépet [6].

Az *Objet-PolyJet* eljárás magában foglalja a legtöbb RPT technológia előnyét. A tintasugaras nyomtatófejből származó fényérzékeny műgyantát UV fényforrással szilárdítják meg, szemben más RPT technológiákkal, ahol lézertényel alkalmaznak. Mivel a nyomtatás térben történik, és a 3D printig eljárással ellentétben itt a modellt nem veszi körbe por, ami megtámasztja, ezért külön támaszanyagra van szükség. Előnyös azonban, hogy a támaszanyag vízzel oldható, így könnyű eltávolítani. Az UV fényforrásnak köszönhetően olcsóbb és gyorsabb, mint a lézertel működő RPT-k. A berendezés pontosságát jól jellemzi a 16–30 µm-es építési rétegvastagság, és az, hogy a legkisebb függőlegesen elkészíthető falvastagsága 0,6 mm, a teljes modell pontossága pedig $\pm 0,05$ mm.

Az utóbbi évtizedben a kutatások egyre inkább eltolódtak abba az irányba, hogy a prototípusok anyagukban és gyártástechnológiájukban is teljesen megegyezőek legyenek a sorozatban készült termékkel [4]. Ismert, hogy a polimer termékek közel egyharmadát fröccsöntik, a gyártás legköltségesebb része maga a szerszám. Ahhoz tehát, hogy prototípust lehessen fröccsönteni, szükség van olyan alternatívákra, amelyekkel a végleges szerszá-

mozás költségeinek töredékén tudunk szerszámot előállítani. Ilyen alternatívát jelenthet a gyors szerszámgyártás, amelynek legfontosabb fejlesztési iránya az olyan szerszámok gyors előállíthatóságának kidolgozása, amik funkcionalitásukban ugyan hasonlítanak a hagyományosan gyártott szerszámokhoz, de anyagukban, illetve gyártástechnológiájukban attól eltérnek.

Objet-PolyJet technológiával állítottunk elő fröccsöntő szerszámbetéteket, amelyeket a korábban általunk által készített acél szerszámokba illetve fröccsöntésre használtunk. A technológiai paraméterek közül a szerszámbetét kezdeti hőmérsékletét változtattuk 30–60°C-os tartományban 10°C-os lépésközzel. Mértük a szerszámbetét hőmérsékletének változását a fröccsöntési ciklusok során, a késztermék és a szerszámbetét alakváltozásait, és ezen keresztül a fröccsöntött termék zsugorodásának alakulását eltérő szerszámhőmérsékletek esetén.

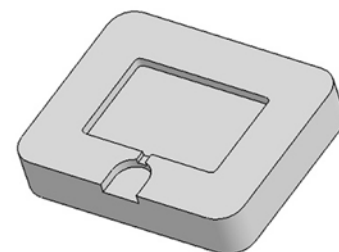
2. Alkalmazott gépek és berendezések

A fröccsöntési kísérletekhez a korábban tervezett szerszámbetétet alkalmaztuk (1. ábra), azzal a módosítással, hogy a betét hőmérsékletének mérésére a formaüreg felületétől 2 és 4 mm-re hőelemeket helyeztünk el, mert a későbbi szimulációs vizsgálatokhoz szükséges a szerszámbetét jól definiálható pontjaiban a valós fröccsöntési hőmérsékletek pontos ismerete.

A fröccsöntő szerszámbetéteket ALARIS 30 típusú gyors prototípusgyártó berendezéssel állítottuk elő *Full-Cure 830* alapanyagból.

A darabokat ARBURG *Allrounder 370H 600-290* gépen fröccsöntöttük az 1. táblázat paramétereivel.

A szerszámbetétek belsejében a hőmérsékletet az előre elkészített furatokba illesztett, *T190-1* NiCr-Ni hőelem-



1. ábra. A fröccsöntő szerszámbetét 3D-s modellje [11]

*Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Polimertechnika Tanszék

kábelekkal mértük, AHLBORN *Almemo 8990-6-V5* soros (RS 232) porton számítógéphez illeszthető feldolgozó berendezés és AHLBORN *AMR-Control* szoftver segítségével. A felületi hőmérséklet méréséhez TESTO 875 infra hőkamerát használtuk TESTO *IRSoft* kiértékelő szoftverrel.

A TVK *H116F* jelű polipropilén tulajdonságait a 2. táblázatban foglaltuk össze.

A fröccsöntött darabok tömegét OHAUS *Explorer E01140* típusú precíziós mérleggel mértük.

A termékek és a szerszámüreg alakváltozását HP *ScanJet G4100* síkágyas lapolvasóval rögzítettük, mely a képet jelentős optikai torzítás nélkül, rövid idő alatt képezi le.

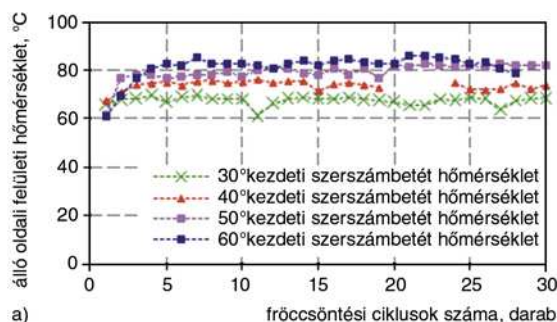
3. Kísérleti eredmények és értékelésük

3.1. A regisztrált hőmérsékletek eredmények értékelése

A regisztrált hőmérséklet adatok alapján (2.–4. ábrák) megállapítható, hogy a szerszámvetését felületének kiindulási hőmérséklete nagymértékben befolyásolja a fröccsöntés során kialakuló hőmérsékleteket mind a felületen, mind a szerszámvetését belsejében.

A 2. ábra a szerszámnyitást követően, hőkamerával mért felszíni hőmérsékleteket mutatja az álló és a mozgó oldalakon. 30°C-os kiindulási hőmérsékletnél a csúcshőmérséklet az álló oldalon 65–70°C, a mozgóon 60–65°C volt. A kiindulási hőmérsékletet megemelve (60°C) a csúcshőmérsékletek az álló oldalon 80–85°C-ra, a mozgóon 75–80°C-ra nőttek. Ez a közel 20°C-os emelkedés jelentősnek mondható, főleg annak fényében, hogy a prototípus szerszámvetését üvegesedési hőmérséklete, a korábbi méréseink alapján, 50°C volt.

A hőelemes mérések (3.–4. ábra) jellegre hasonló képet mutatnak, mint a hőkamerás eredmények, eltérés csupán a hőmérsékletek maximális értékében mutatkozik. A mért hőmérsékletek a betét vastagsága mentén folyamatosan csökkennek. A 60°C-os kiindulási hőmérsékletnél a felületen mért 75–85°C-hoz képest 2 mm-re a formaüreg felületétől álló oldalon csupán 50°C-ot, mozgó oldalon 55–60°C-ot regisztráltunk. Ugyanakkor



1. táblázat.
Alkalmazott fröccsöntési paraméterek

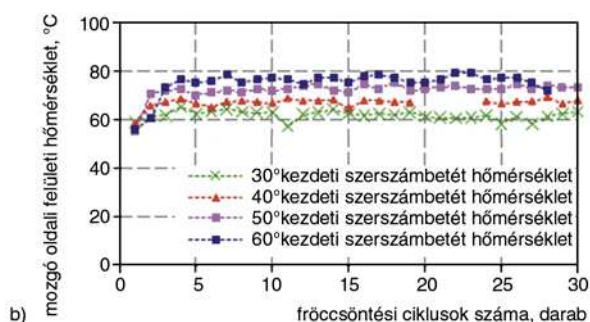
Paraméter	Számérték
Záróerő, kN	100
Adagsúly, cm ³	25
1. zóna hőmérséklete, °C	175
2. zóna hőmérséklete, °C	185
3. zóna hőmérséklete, °C	190
4. zóna hőmérséklete, °C	195
5. zóna hőmérséklete, °C	200
Utónyomás, bar	100
Nyomáskorlát, bar	500
Átkapcsolási pont, cm ³	1,4
Befröccsöntési sebesség, cm ³ /s	15
Maradék hűtési idő, s	15
Dekompresszió, cm ³	5
Dekompresszió sebessége, cm ³ /s	5

2. táblázat.
TVK H116F -PP tulajdonságai [1]

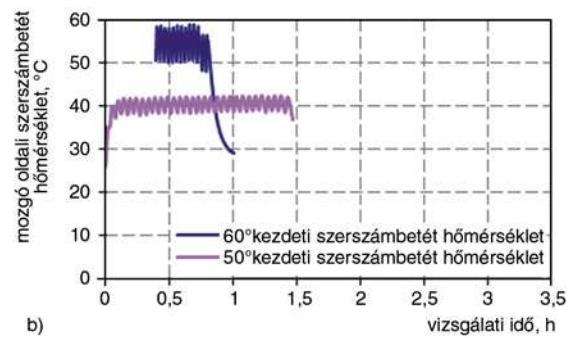
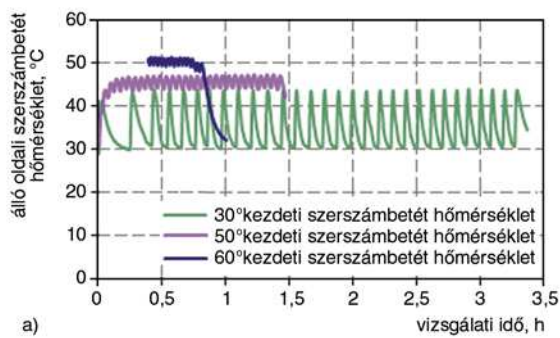
Jellemző	Számérték
sűrűség, g/cm ³	0,905
olvadási hőmérséklet, °C	165
Vicat lágyulási hőmérséklet, °C	72
viszkozitás 1000 s ⁻¹ -nél, 230°C-on, Pa·s	35
hőmérsékletvezetési tényező, mm ² /s	0,067
zsugorodás, %	1,2–2,5
nedvességfelvétel, %	<0,1
csiga maximális kerületi sebessége, m/s	0,9
előszárítás	nem szükséges
anyagbeömlő garat hőmérséklete, °C	30–50
plasztikáló henger hőmérséklete, °C	160–300 (zónától függően)
szerszámhőmérséklet, °C	20–70
fröccsnyomás, bar	800–1400
utónyomás a fröccsnyomás %-ában	30–60
csiga maximális kerületi sebessége, m/s	0,9

4 mm-re a felülettől álló oldalon 45–50°C-ot, mozgó oldalon 40°C-ot mértünk.

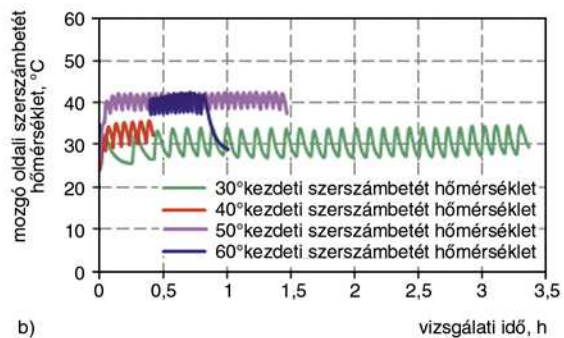
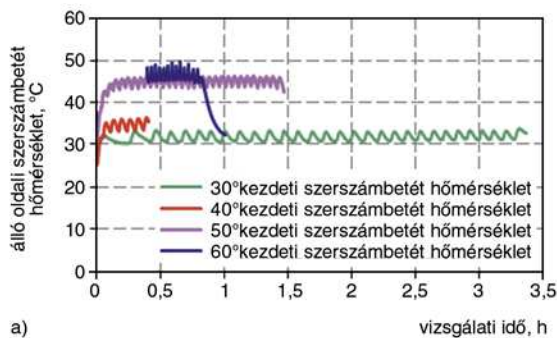
Az eredmények a polimerek rossz hővezető-képességével magyarázhatók. Meg kell említeni, hogy a 60°C-os kezdeti szerszámvetését hőmérséklet a fröccsöntés termelékenységére kedvezően hatott, azonban termikus okok-



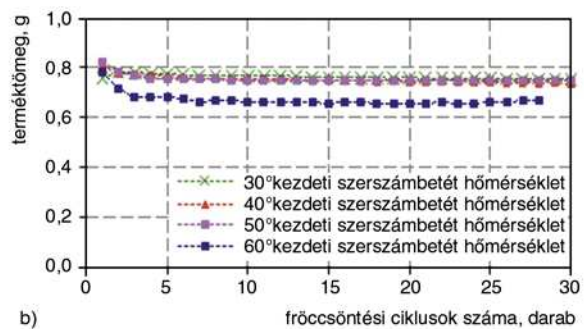
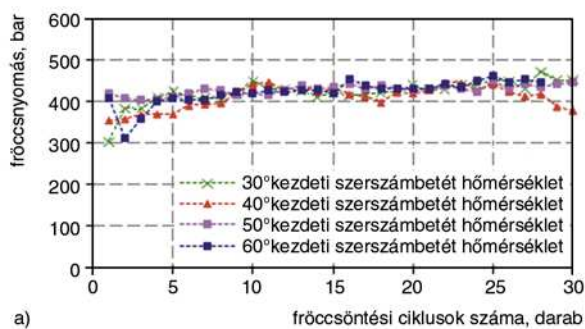
2. ábra. A szerszámvetését felületi hőmérsékletének alakulása a fröccsöntési ciklusok számának függvényében a szerszámnyitást követően hőkamerával mérve a) álló szerszámvetését, b) mozgó szerszámvetését esetén



3. ábra. A fröccsöntő szerszámbetét hőmérsékletének alakulása 2mm-re a felülettől a) álló szerszámbetét, b) mozgó szerszámbetét esetén



4. ábra. A fröccsöntő szerszámbetét hőmérsékletének alakulása 4 mm-re a felülettől a) álló szerszámbetét, b) mozgó szerszámbetét esetén



5. ábra. Objekt-PolyJet technológiával készült szerszámbetétbe történő fröccsöntés során a fröccsnyomás (a) és a terméktömeg (b) alakulása a fröccsöntési ciklusok számának függvényében

ből mégis kerülendő, mert ekkor a betét hőmérséklete már nemcsak a felületen, hanem attól mélyebben is meghaladja a T_g -t, amely – ahogy azt a későbbi eredmények is mutatják – kedvezőtlen hatást gyakorol a fröccsöntött termékek tömegére, zsugorodására, valamint magára a betét élettartamára is.

3.2. A tömeg- és nyomásértékek értékelése

Az 5. ábra a fröccsnyomásnak és a fröccsöntött termékek tömegének változását mutatja a fröccsöntési ciklusok függvényében. A stabilnak mondható beállítás ellenére felfedezhető egy lassú nyomásnövekedés, illetve tömegcsökkenés. Ennek oka a betét jelentős hőtágulása le-

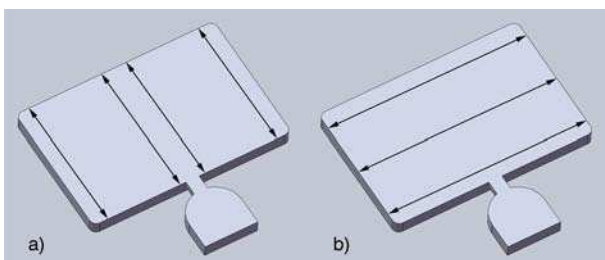
het, amely a merev fémkeret miatt a formaüreg irányában fejthette ki hatását.

3.3. Zsugorodás és szerszámbetét deformáció

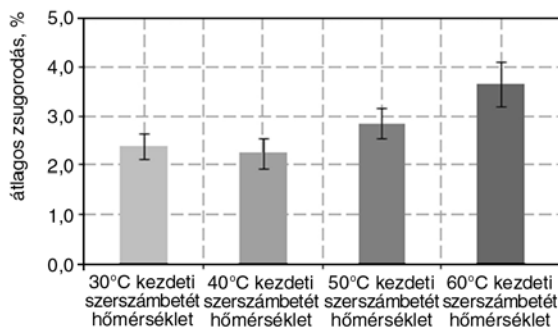
A fröccsöntött termék zsugorodását a 6. ábrán jelölt helyeken mértük és átlagoltunk.

A polipropilén zsugorodása közismert, hagyományos acélszerszám esetén $\sim 1,5\%$ [5]. Ezzel szemben az általunk fröccsöntött termékek zsugorodása minden esetben 2%-nál nagyobbak adódott (7. ábra).

Valószínűleg az a számítási feltevésünk, miszerint a szerszámüreg mérete és alakja állandó, az Objekt-PolyJet technológiával gyártott szerszámbetét esetén nem telje-



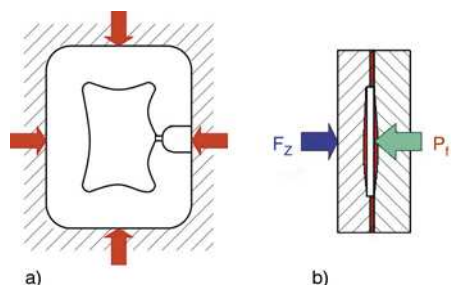
6. ábra. Mérési pontok a fröccsöntött lapkán a) hosszirányban, b) keresztirányban



7. ábra. A fröccsöntött termékek átlagos zsugorodásának alakulása

sül. Továbbá, a szerszámbetét kiindulási hőmérsékletének növekedéséhez növekvő zsugorodás érték párosul. Ez a hatás egyértelműen a hőtágulással áll szoros kapcsolatban, amit az is bizonyít, hogy amíg alacsonyabb hőmérsékleten (30, 40°C) nem tapasztalunk jelentős eltérést a zsugorodásokban, addig 50, 60°C kezdeti szerszámhőmérséklet esetén látványos növekedés mutatkozott [6]. A polimerek hőtágulási tényezője ugyanis az üvegesedési hőmérséklet alatt és felett jelentős mértékben eltér.

A fröccsöntéseket követően a szerszámbetéteket is besz kenneltük, hogy vizsgálni tudjuk a termék zsugorodása mellett a szerszámbetét deformációját is. A digitális képfeldolgozást követően megállapítottuk, hogy az eredetihez képest csökkent a fészek mérete, azaz a hőtágu-



8. ábra. A vizsgált szerszámbetét feltételezett deformációi (torzulásai), a) hőtágulás hatására bekövetkező, b) a záróerő és a fészeknyomás hatására bekövetkező

lás mellett, a szerszámzárás miatt, maradó alakváltozás is fellépett. A szerszámbetét deformációjának feltételezett jellegét a 8. ábra mutatja felnagyítva. A deformáció a már említett hőtágulásból adódó torzulás (8a. ábra), valamint a záróerő és a fészeknyomás hatására kialakuló torzulás (8b. ábra) szuperpozíciója.

4. Összefoglalás

Munkánkban *Objet-PolyJet* technológiával előállított szerszámbetétek fröccsöntéskor mutatott viselkedését elemeztük eltérő kiindulási szerszámhőmérsékletnél. Megállapítottuk, hogy a betét kiindulási hőmérséklete nagymértékben befolyásolja a fröccsöntés alatt kialakuló állandó hőmérsékletet, amely 60°C kiindulási hőmérsékletnél a formaüregtől 2 mm-re meghaladta a szerszámanyag (*FullCure 830*) üvegesedési hőmérsékletét. Ennek hatása a fröccsöntött termékek tömegének változásában jól láthatóvá vált, hiszen amíg a 30–50°C-os kiindulási hőmérséklet esetén a termékek tömege alig mutat eltérést, addig 60°C-on a tömeg 12,5%-kal csökkent. Ugyanez a jelenség az átlagos zsugorodásoknál is megfigyelhető volt. Ennek oka, véleményünk szerint, a polimerek nagy hőtágulása, ami az üvegesedési hőmérséklet felett még jelentősebb. Rámutattunk, hogy az átlagos zsugorodási értékek nemcsak a fröccsöntött termék zsugorodását, hanem a szerszámbetét torzulását is magukban foglalják.

A cikk a Bolyai János Kutatási ösztöndíj támogatásával készült. A munka szakmai tartalma kapcsolódik a „Minőségorientált, összehangolt oktatási és K+F+I stratégia, valamint működési modell kidolgozása a Műegyetemen” című projekt szakmai célkitűzéseinek megvalósításához. A projektet az Új Széchenyi Terv TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KMR-2010-0002 programja támogatja.

Irodalomjegyzék

- [1] Dunai, A.; Macskási, L.: *Műanyagok fröccsöntése*, Lexica Kft., Budapest, 2003.
- [2] Czvikovszky, T.; Nagy, P.; Gaál, J.: *A polimertechnika alapjai*, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2006.
- [3] Kovács, J. G.; Körtélyesi, G.; Kovács, N. K.; Suplicz, A.: Evaluation of measured and calculated thermal parameters of a photopolymer, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 37: Paper Article in Press, 2011.
- [4] Masood, S. H., Song, W. Q: Development of new metal/polymer materials for rapid tooling using Fused deposition modelling, *Materials and Design*, 25, 587–594 (2004).
- [5] Kovács, N. K.; Kovács, J. G.: Újszerű fröccsöntőszerszám alkalmazása a műanyag fröccsöntésben, *Gép*, 60/10–11, 78–80 (2009).
- [6] Kovács, J. G.: Fröccsöntött termékek tervezése és szimulációja, BME, Doktori értekezés, 2007.