

# Eltérő szerszámanyagok hatása a fröccsöntött darabok tulajdonságaira

## Effect of different mould material on the properties of injection moulded parts

*KOVÁCS Norbert Krisztián<sup>1</sup>, TÁBI Tamás<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Polimertechnika Tanszék, H-1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3. Tel: +36-1-463-1459, Fax: +36-1-463-1440 E-mail: kovacs@pt.bme.hu,

<sup>2</sup>MTA–BME Kompozittechnológiai Kutatócsoport, H-1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3. Tel: +36-1-463-1459, Fax: +36-1-463-1440 E-mail: tabi@pt.bme.hu

### **Abstract**

*In our work the effect of different mould material was investigated on the properties of injection moulded parts. A mould was designed and manufactured by using conventional and additive technologies. Injection moulding tests were performed using these moulds. The temperature of the moulds was determined as well as its effect on the thermal properties of the parts.*

### **Összefoglalás**

*Munkánk során különböző szerszámanyagok fröccsöntött darabokra gyakorolt hatását vizsgáltuk. Megterveztünk, majd additív és hagyományos gyártástechnológiával legyártottunk egy egyszerű lapkapróbatest szerszámberendezést, amelyet fröccsöntési teszteknek vetettünk alá. Mértük a fröccsöntött darabok termikus tulajdonságait, valamint a berendezések hőmérsékletének alakulását.*

### **Kulcsszavak**

gyors prototípusgyártás, gyors számozás, additív technológia, fröccsöntés, zsugorodás

## **1. BEVEZETÉS**

A piaci igények gyors változása, valamint a rohamosan fejlődő technológiák eredményeként az új termékek piacra kerülési ideje nagymértékben lecsökkent. A klasszikusnak számító egymást követő gyártási folyamatok helyét a 2000-es évektől egyre inkább az egyidejű, szimultán gyártástervezés vette át [1]. A szimultán gyártástervezés jellemzője a közbenső ellenőrzések, valamint a gyártásban résztvevők közötti hatékony kommunikáció. A gyors prototípusgyártásnak (RPT) a megjelenése ebben jelentett robbanásszerű előrelépést.

A gyors prototípusgyártás alatt azoknak a technológiáknak az összességét értjük, amelyek a klasszikusnak számító anyageltávolító, illetve képlékeny alakító eljárásokkal szemben anyaghozzáadás útján rétegről-rétegre hozzák létre a kívánt terméket. A megjelent szakirodalmak az RPT technológiákat alapvetően a felhasznált alapanyag alapján csoportosítja [2, 3]. Ezek szerint megkülönböztetünk folyadék alapú (SLA / lézer sztereolitográfia / Stereolithography, FDM / ömledék-retegezés / Fused Deposition Modelling, PolyJet-Objet), por alapú (SLS / szelektív lézerszinterelés / Selective Laser Sintering, 3D nyomtatás), illetve rétegeléses (LOM / réteges kivágás és felépítés / Laminated Object Manufacturing) technológiákat [2, 3].

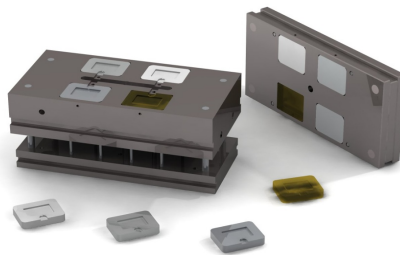
A piaci igények változásának eredményeként az utóbbi években egyre nagyobb igény mutatkozik arra, hogy a fejlesztési fázis során legyártásra kerülő prototípusok ne csak anyagukban, hanem gyártástechnológiájukban is megegyezzenek (production intent material) a sorozatban gyártott termékekkel. Ismert, hogy a világ műanyagtermékeinek a 30%-át fröccsöntéssel állítják elő, amely

legköltségesebb része maga a szerszám. Ahhoz tehát, hogy a prototípusunkat fröccsöntéssel tudjuk gyártani, szükség van olyan alternatívákra, amelyek lehetővé teszik, hogy a végleges szerszámozás költségeinek töredékén tudjunk szerszámot előállítani. Ilyen alternatívát jelenthet a gyors szerszámozás technológiája (RT), amelynek legfontosabb fejlesztési iránya az olyan szerszámok gyors előállíthatóságának kidolgozása, amelyek funkcionalitásukban ugyan hasonlítanak a hagyományosan alkalmazott forgácsolt, szikraforgácsolt, hőkezelt és köszörült acélszerszámokéhoz, de anyagukban, illetve gyártástechnológiájukban attól eltérnek [4-6].

Munkánk során különböző szerszámanyagok fröccsöntött darabokra gyakorolt hatását vizsgáltuk. Megterveztünk, majd hagyományos, valamint additív gyártástechnológiával legyártottunk egy lapkapróbatest szerszámbetéteket, amelyeket a korábban általunk átalakított acél szerszámokká illesztve fröccsöntési teszteknek vetettünk alá. Vizsgáltuk a fröccsöntött darabok tulajdonságainak alakulását, valamint a szerszámbetétek fröccsöntési ciklus során bekövetkező hőmérséklet változását.

## 2. ALKALMAZOTT ANYAGOK ÉS BERENDEZÉSEK

A fröccsöntési kísérletek elvégzéséhez első lépésben megterveztünk egy lapka próbatestet gyártó szerszámbetétet (1. ábra). A szerszámbetét tervezése során törekedtünk arra, hogy maga a termék ne legyen túl bonyolult geometriájú, valamint, hogy alkalmas legyen további vizsgálatok, úgymint zsugorodás, vetemedés és termomechanikai vizsgálatok elvégzésre is. A választásunk végül egy egyszerű lapka geometriára esett, amelynek mérete 20x30x2 mm lett. A betéteket a tervezés során úgy alakítottuk, hogy lehetőség legyen a hőmérsékleteik változásának a mérésére is a formaüreg felületétől 2 és 4 mm-re. Mindez azért szükséges, mert a későbbi szimulációs vizsgálatok verifikálásához szükségünk lesz a szerszámbetét jól definiálható pontjaiban a valós fröccsöntés közbeni hőmérsékletek pontos ismeretére.



1. ábra

*Az általunk használt fröccsöntő szerszámbetét 3D-s modellje*

A megtervezett szerszámbetéteket kétféle módon gyártottuk le. Az egyik esetben RPT technológiát (Objet-PolyJet) alkalmazva egy Alaris 30 típusú gyors prototípusgyártó berendezésen készítettük el a betéteket FullCure 720 típusú fényre térhálósodó epoxi-akrilát alapanyagból. A másik esetben konvencionális eljárást (marást) alkalmaztunk, a betétek anyagának szerszámacélt választottunk.

A fröccsöntési tesztek Arburg Allrounder Advance 370S 700-290 típusú fröccsöntő gépen végeztük, amely során az alkalmazott főbb technológiai paraméterek a következők voltak: 100 kN záróerő, 25 cm<sup>3</sup> adagsúly, 500 bar nyomáskorlát, 200 bar utónyomás, 15 cm<sup>3</sup>/s befröccsöntési sebesség és 15 s maradék hűtési idő. A fröccsöntési ciklusok között holtidőt is alkalmaztunk, amelynek nagyságát úgy választottuk meg, hogy a betét kezdeti hőmérséklete a felületen, minden esetben 30°C legyen. A felületi hőmérsékleteket minden ciklus kezdetén Testo típusú hőkamerával ellenőriztük.

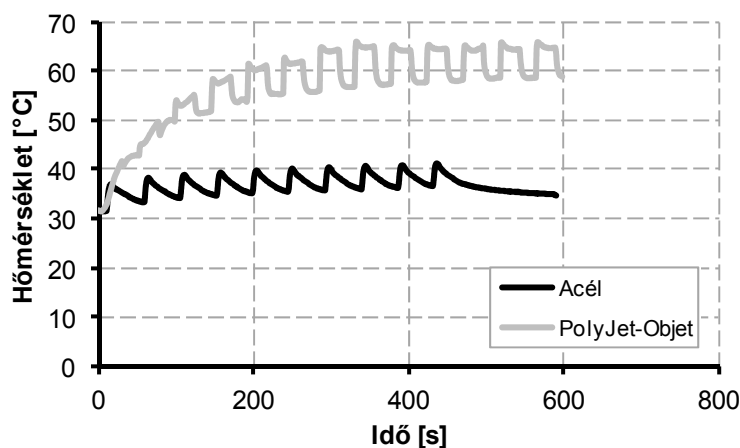
Vizsgálatainkhoz a részben kristályos polimerek családjából két típust választottunk, az egyik a fröccsöntés szempontjából talán az egyik legnagyobb mennyiségben feldolgozott polipropilén (TVK H116F jelű), amíg a másik alapanyag az utóbbi időben egyre inkább előtérbe kerülő politejsav (AI 1001 eSUN) volt [8]. A politejsavhoz (PLA) 20m% talkumot és 10 m% polietilén-glikolt adagoltunk göcképzőnek.

### 3. VIZSGÁLATI EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

Ebben a fejezetben ismertetjük a vizsgálati eredményeket és azok értékelését.

#### 3.1 A fröccsöntő szerszámbetétek hőmérsékletének alakulása

Az álló szerszámbetétek hőmérsékletének alakulását a 2. ábra mutatja. Látható, hogy amíg az acél esetén a felülettől 2 mm-re levő hőmérséklet viszonylag gyorsan (100 másodperc) beáll az egyensúlyi hőmérsékletre (40°C), addig a PolyJet-Objet betétek esetén az egyensúlyi hőmérséklet (~65°C) eléréséhez közel 400 másodpercra volt szükség. Továbbá megállapítható, hogy az egyensúlyi hőmérsékletek között is közel 1,5-szeres különbség mutatkozik a PolyJet-Objet betét javára.



2. ábra

*A vizsgált szerszámbetétek hőmérsékletének alakulása formaüreg felületétől 2 mm-re polipropilén fröccsöntése során*

Az általunk mért jelentős eltérések magyarázata, hogy az PolyJet-Objet betét hőtani tulajdonságai nagyságrendekkel rosszabbak az acélnál. Korábbi munkánk során hot plate módszer segítségével mértük az általunk alkalmazott szerszámanyagok hővezetési tényezőjét, valamint kalorimetriás (DSC) méréseket is végeztünk a fajhő értékek meghatározására. Méréseink eredményeként az acél alapanyag hővezetési tényezője 20 W/mK-re, fajhője 600 J/kgK-ra, a PolyJet-Objet szerszámbetét anyagául szolgáló FullCure 720 szerszámanyag hővezetési tényezője 0,22 W/mK-re, átlagos fajhője 1700 J/kgK-ra adódott.

Az elvégzett méréseink alapján belátható, hogy más-más hűtési sebességek alakulnak ki a két szerszámbetétben. Ez az eltérő hűtési sebesség hatással lehet a fröccsöntött termékben kialakuló kristályos szerkezetre, amely áttételesen befolyásolhatja a termék mechanikai tulajdonságát és méretváltozását (zsugorodását). Ennek a hatásnak a feltárására DSC méréseket végeztünk a fröccsöntött darabokon.

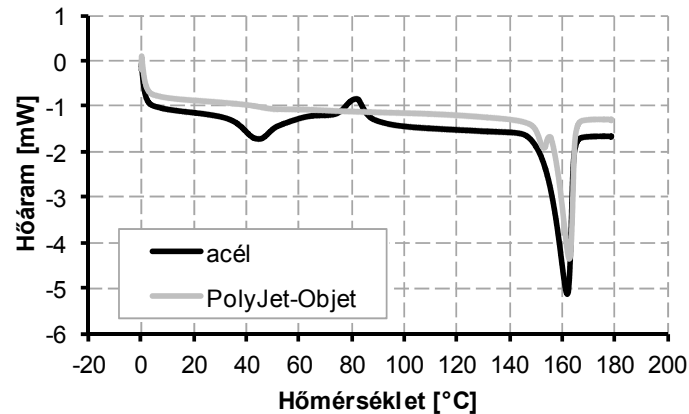
#### 4.1 Fröccsöntött darabok DSC mérése

A PP és PLA fröccsöntött próbatestekből 3-5 mg-os mintákat munkáltunk ki a DSC mérésekhez. A DSC vizsgálatainkat fűt-hűt-fűt program mellett végeztük el 0-180°C között, 10°C/perc sebességgel. Amint az várható volt – a polipropilén minták esetében nem tudtunk eltéréseket kimutatni kristályosságban. A kristályos részarány acél szerszámbetétbe történő fröccsöntés során 54,9%-ra amíg az PolyJet-Objet szerszámbetétbe fröccsöntött terméknél 56,8%-ra adódott. A DSC mérések eredménye tehát arra enged következtetni, hogy H116F homo polipropilén esetén a PolyJet-Objet betétnél tapasztalható [7] nagyobb zsugorodást kizárólag a szerszámbetét (mechanikai és termikus) deformációja okozta.

A PLA mérési eredményét a 3. ábra mutatja. Jól látható, hogy az acélszerszámban készült termék esetén 80°C-nál egy exoterm (hidegkristályosodási) csúcs figyelhető meg, amely a rosszabb termikus tulajdonságokkal rendelkező PolyJet-Objet szerszám esetén nem jelentkezik.

Amennyiben összevetettük a kialakult kristályos részarányokat, azt tapasztaltuk, hogy az acél szerszámbetét esetén közel fele akkora (33,5%) értéket kaptunk, mint a PolyJet-Objet szerszámbetét

esetén (58,7%). Továbbá megfigyelhető még az acél szerszámbetétbe fröccsöntött darab görbéjén egy endoterm csúcs 40°C környékén. Ez az üvegesedési hőmérsékletéhez és az afölött található entalpia relaxációhoz köthető, amely abban az esetben jelentkezik, ha az anyag sokáig az üvegesedési hőmérséklete közelében tartózkodik. A PLA üvegesedési hőmérséklet 55-65°C, amennyiben megnézzük az általunk mért hőmérséklet adatokat (2. ábra) kijelenthetjük, hogy a PolyJet-Objet betét esetén minden esetben az anyag  $T_g$  hőmérséklete felett vagyunk, amíg acél esetében annak közelében.



3. ábra

*Politejsav (PLA) estén az első felfűtés során mért DSC görbék alakulása az eltérő szerszámbetétekben*

A mért eredmények PLA esetében arra engednek következtetni, hogy a lassabb hűtési sebesség alkalmazása (PolyJet-Objet betét) kedvezőbben hat a kialakuló kristályszerkezetre, jelentősen nagyobb kristályos részarány érhető el.

## 4. KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

A szerzők köszönetüket fejezik ki az Országos Tudományos Kutatási Alap (OTKA K105257) anyagi támogatásáért. A munka szakmai tartalma kapcsolódik a "Minőségorientált, összehangolt oktatási és K+F+I stratégia, valamint működési modell kidolgozása a Műegyetemen" c. projekt szakmai célkitűzéseinek megvalósításához. A projekt megvalósítását az Új Széchenyi Terv TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KMR-2010-0002 programja támogatja. A munka szakmai tartalma kapcsolódik a "Új tehetséggondozó programok és kutatások a Műegyetem tudományos műhelyeiben" c. projekt szakmai célkitűzéseinek megvalósításához. A projekt megvalósítását a TÁMOP -4.2.2.B-10/1-2010-0009 program támogatja. Köszönjük továbbá az Arburg Hungária Kft-nek az Arburg Allrounder 370S 700-290 Advance típusú fröccsöntőgépet, a Lenzkes GmbH-nak a szerszámfelfogókat.

## 5. IRODALOM

- [1] Czvikovszky T., Nagy P., Gaál J.: A polimertechnika alapjai, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2006
- [2] C. K. Chua, K. F. Leong, C. S. Lim: Rapid Prototyping: Principles and Applications, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Singapore, 2003
- [3] S. Upcraft, R. Fletcher: The rapid prototyping technologies, Assembly Automation, 2003/23, 318-330
- [4] A. Rosochowsky, A. Matuszak: Rapid tooling: the state of the art, Journal of Materials Processing Technology, 2000/106, 191-198
- [5] N. Hopkinson, P. Dickens: A comparison between stereolithography and aluminium injection moulding tooling, Rapid Prototyping Journal, 2000/6, 253-258
- [6] S. Rahmati, P. Dickens: Rapid tooling analysis of stereolithography injection mould tooling, International Journal of Machine Tools and Manufacture, 2007/47, 740-747
- [7] Kovács N.K., Kovács J. G.: Objet-PolyJet technológiával gyártott fröccsöntő szerszámbetétek vizsgálata, Műanyag és Gumi, 2011/48, 269-272
- [8] T. Tábi, P. Tamás, J. G. Kovács: Chopped basalt fibres: A new perspective in reinforcing poly(lactic acid) to produce injection moulded engineering composites from renewable and natural resources, Express polymer letters, 2013/7, 107-119