

# Fröccsöntő szerszám inzertek deformációinak mérése és vizsgálata gyártási ciklus közben

## Measurement and analysis of deformation of injection moulding inserts during manufacturing cycle

SZÉPLAKI Péter<sup>1</sup>, SZABÓ Ferenc<sup>2</sup>

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Polimertechnika Tanszék,  
H-1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3., +36-1-463-1459,  
e-mail: <sup>1</sup>szeplakip@pt.bme.hu, <sup>2</sup>szabof@pt.bme.hu

### Abstract

*We have measured and investigated for several different constructions whether a photopolymer insert produced with PolyJet equipment can withstand the forces of an injection moulding cycle and, if so, what deformations occur during the cycle and how they vary with deviation from the nominal height of the polymer insert.*

**Keywords:** Injection molding, additive manufacturing, insert, deformation

### Kivonat

*Munkánk során több különböző konstrukció esetében mértük és vizsgáltuk, hogy egy PolyJet berendezéssel gyártott fotopolimer inzert képes-e elviselni egy fröccsöntési ciklus során fellépő erőhatásokat és amennyiben igen, milyen deformációk lépnek fel a ciklus során, és azok hogyan változnak a névleges mérettől való eltérés függvényében.*

**Kulcsszavak:** fröccsöntés, additív gyártástechnológia, inzert, deformáció

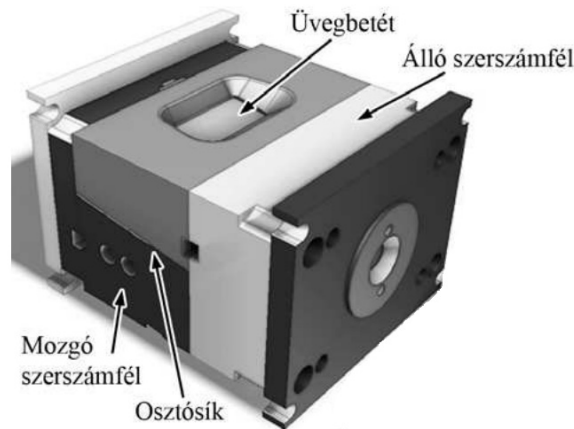
## 1. Bevezetés

A fröccsöntés a polimer feldolgozástechnológiák egyik, ha nem a leggyakrabban alkalmazott módja. A magyar viszonyokat tekintve a polimer termékek több mint harmada ezzel készül és ez az arány folyamatosan növekszik [1].

Rendeteg fajta és felhasználási célú termék készül fröccsöntéssel. Vannak olyan elemek, amelyekben fém alkatrészek, úgynevezett inzertek találhatóak, amelyik merevítési és lokális megerősítési célokat látnak el. Ezek segítségével nagy mértékben növelhetők egy termék mechanikai tulajdonságai, azonban a két külön komponens miatt rendkívül megnehezíti az újrafeldolgozhatóságot. Ezt a problémát küszöbölné ki, ha a fém alkatrészeket additív gyártástechnológiával gyártott polimer inzertekkel váltanánk ki, melyek a nyomtatási irány beállításával és a geometria optimalizálásával lokális megerősítésként tudnának szolgálni. Munkánk során azt vizsgáltuk, hogy egy PolyJet technológiával [2] előállított inzert képes-e elviselni a fröccsöntési ciklus során fellépő hő- és erőhatásokat, és amennyiben igen, hogyan változik a deformáció mértéke a gyártási pontosság és a keresztmetszet függvényében.

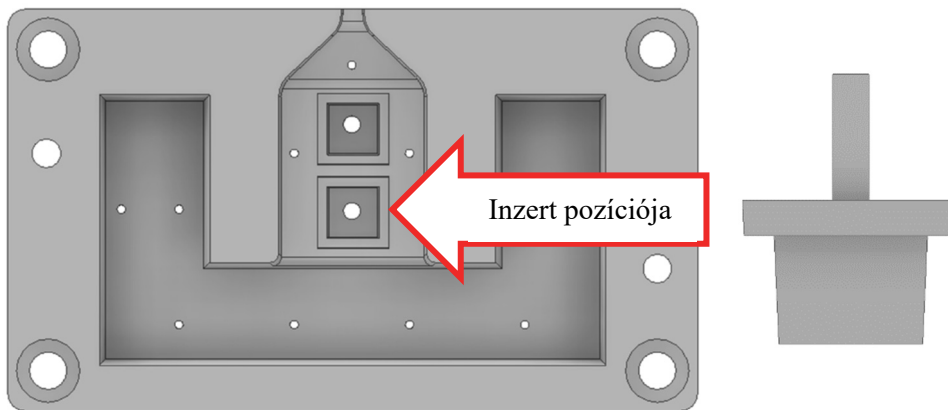
## 2. Az Inzert gyártási pontosságának hatása a deformációra

Első mérési sorozatunk során azt vizsgáltuk, hogy az inzert névleges méretétől való eltérés milyen hatással annak deformációjára. Ehhez segítségünkre volt egy üvegbetét fröccsöntőszerszám (1. ábra), amely lehetővé tette, hogy a ciklus közben is vizsgálni tudjuk a deformációs folyamatokat, és ezekről felvételeket készíthessünk.



1.ábra. A mérésekhez használt fröccsöntő szerszám [3]

Szerszámbetétet terveztünk melynek célja, hogy az inzertereket kitegyük az ömledék által kifejtett erőhatásoknak, valamint egy hátsó tartály résszel ezeket az erőhatásokat el tudjuk nyújtani időben (2.ábra). A szerszámbetétet Fullcure 835 fotopolimerből nyomtattuk egy Objet 30 Pro PolyJet típusú nyomtatón.

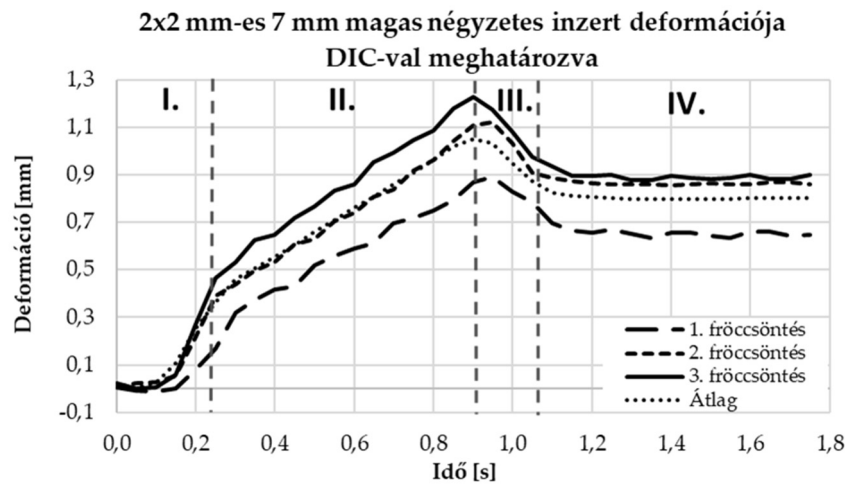


2.ábra. A mérésekhez használt fröccsöntőszerszám betét (bal) és inzert (jobb)

Korábban végzett előkísérletek során arra a következtetésre jutottunk, hogy méréseket 2x2 mm-es négyzetes keresztmetszetű, 7 mm névleges magasságú inzerteken végezzük. Ettől a magasságtól a vizsgálatok során mind két irányba 0,5 mm-rel térünk el, 0,25 mm-es osztásközzel, így összesen öt különböző magasság esetében mértük a deformációs értékeket. A mérések kiértékelése egy képszerkesztő szoftver segítségével történt, amely lehetővé tette, hogy az egyes időpillanatokban rögzített képkockákat egymás mellé helyezzük, pozícionáljuk, majd inzert helyzeteinek a különbségéből megállapítsuk a deformáció mértékét.

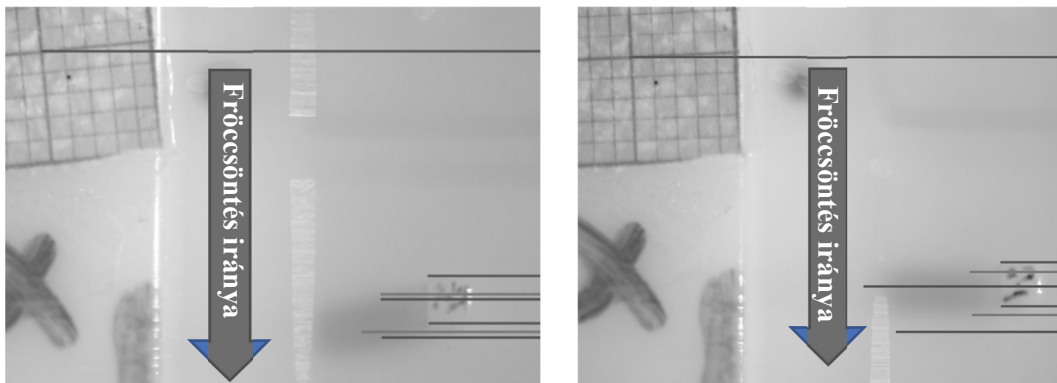
A fröccsöntés minden esetben egy Arburg Allrounder 470 A 1000-290-es fröccsöntőgépen végeztük, a MOL Petrolkémia Zrt. Tipplen H 145 F típusú polipropilénjével, 200 °C-on, 40 cm<sup>3</sup>/s befröccsöntési sebességgel, 600 bar fröccsnyomás mellett és 60 cm<sup>3</sup> befröccsöntési térfogattal. A szerszám nem rendelkezett hűtőkörrel, ezért egy igen hosszú, 140 másodperces hűtési időt iktattunk be a ciklusba, valamint utónyomást sem alkalmaztunk, ugyanis előzetes méréseink során arra jutottunk, a deformáció mértékét ez nem befolyásolja számottevően.

A 6,5 illetve 6,75 mm magas inzertek esetében, amelyek méretükből adódón nem érintkeztek a üvegbetéttel, hasonló eredményeket hoztak, így azokat egyként értékeltük ki. Ezek esetében a deformáció mértéke 0,8-1,1 mm volt a maximális esetben. A deformáció mértéke azonban a ciklus során nem lineárisan változott, hanem a terhelés megszűnésekor egy deformáció csökkenés volt megfigyelhető. A deformáció jellegéről Digitális Képkorrelációs (Digital Image Correlation, DIC) méréseket végeztünk, melynek eredményét mutatja a 3. ábra. Ezen jól látható a korábban említett visszarugózási folyamat, a végleges deformációk ennek megfelelően kisebb, 0,3-0,6 mm közötti értékek voltak.



3.ábra. 2x2 mm-es 7 mm magas négyzetes inzert deformációja DIC-val meghatározva

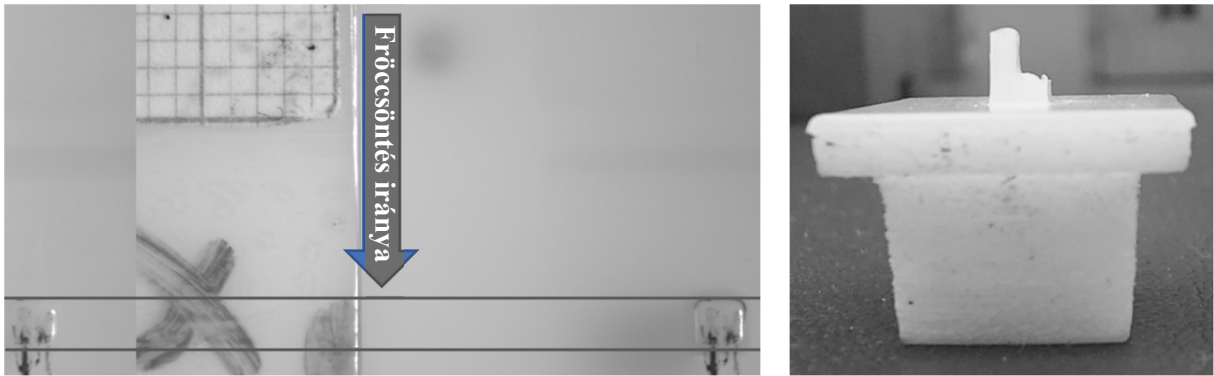
A névleges magasságú inzertek esetében a maximális deformáció értéke nem változott nagyságrendileg, 0,9 és 1,2 mm közötti értékeket mértünk, azonban a végleges deformáció mértéke 0,65-0,9 mm között változott. Ez utóbbi eltérést annak tulajdonítottuk, hogy a névleges magasság esetén egy érintkezési kapcsolat van a szerszámbetét és az inzert teteje között, aminek köszönhetően egy enyhe súrlódás lép fel, valamint a deformációt is kis mértékben korlátozza, így a terhelés megszűnése során kisebb mértékben tud visszahajolni a deformált inzert. A két eset közötti különbséget mutatja be a 4. ábra.



4.ábra. 6,75 mm (jobb) és 7 mm (bal) magasságú inzert deformációjának szemléltetése  
(zöld: végleges deformáció, kék: maximális deformáció)

A névleges méretnél magasabb inzertek esetében két teljesen eltérő végeredményt figyeltünk meg. A 7,25 mm magas inzertek esetében a deformáció tulajdonképpen megszűnt, semmilyen mértékű kihajlást nem észleltünk a felvételek során. Ennek okát arra tudtuk visszavezetni, hogy a 7,25 mm magasságú minták előfeszített állapotba kerültek a szerszám zárásakor, mivel 0,25 mm-es a túlfedés volt az inzert és a szerszám között. A súrlódási erő az üveglap és az inzert között, olyan mértékű, hogy az képes kompenzálni a fröccsöntés során az inzert felületét terhelő nyomás hatását.

A 7,5 mm magas minták esetében azonban ezt a pozitív hatást már nem tudtuk reprodukálni. Ilyen magasságnál már a túlfedés olyan mértékű volt, hogy a szerszám zárásakor itt is előfeszített állapotba került az inzert, azonban ez már olyan mértékű volt, hogy azt a termék nem tudta elviselni, és vagy a szerszámzárás pillanatában, vagy az befröccsöntés pillanatában, de minden esetben törés következett be a veszélyes keresztmetszetben (inzert töve). Utóbbi két esetet szemlélteti a 5. ábra.



5.ábra. A 7,25 mm magas inzer deformációjának hiánya (jobb) és egy 7,5 mm magas törött inzer a fröccsöntési ciklus után (bal)

A 7 mm minták esetében egy érintkezési kapcsolatról beszélünk a szerszám fala és a vizsgált inzer teteje között, ami miatt a mozgásában bár korlátozottabb az inzer, befeszítve nincsen. Ezen minták esetén a deformáció mértéke változott, mivel az a súrlódási erő miatt, amit az üveglap okoz nála, nem tudott olyan mértékben kihajolni. Ezen kívül meg kell jegyezni, hogy a visszarugózás mértéke is lecsökkent, ugyanis a maximális 0,9-1,1 mm deformációról csak 0,65-0,85 mm-re csökkent vissza az kihajlás, ami a korábbi majdnem 50%-os csökkenéshez képest jelen esetben csak 20-30% volt (32.ábra).

### 3. Összefoglalás

Az eredményeket összefoglalva elmondhatjuk, hogy a gyártási pontosságra kiemelt figyelmet kell szánni az inzerterek előállításánál a magasság esetében. Kis mértékű változtatás is drasztikusan befolyásolja a termék viselkedését, hiszen, ha megnézzük, hogy míg 7,25 mm-es névleges méretnél minimális deformációt tapasztaltunk, addig 7,5 mm-es magasságnál már minden esetben törés következett be, pedig az inzer magasságához képest alig 3%-os változtatás történt. Emellett meg kell említeni persze, hogy a negatív irányú tőrés nagy változtatásokat nem okoz a viselkedésben, viszont ebben az esetben pedig nagyobb mértékű deformációval kell számolni, hiszen az inzer végének elmozdulását semmilyen kényszer nem korlátozza, nem úgy, mint az előfeszített esetekben.

Ezekből következik, hogy a gyártás esetében vagy szigorú tűréssel kell dolgozni, vagy nagyon nagy pontosságú géppel kell gyártani, ami utóbbi esetben erősen lekorlátozza a választható additív gyártási technológiák listáját, többek között az FDM nyomtatók sem lesznek ideálisak, ami nagy veszteség lenne az ipari alkalmazhatóságra nézve, mivel ez a legelterjedtebb és leginkább alkalmazott technológia az iparban.

### Köszönetnyilvánítás

A kutatást a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal (NKFIH) OTKA (FK 134336) pályázata támogatta. Köszönjük továbbá az Arburg Hungária Kft.-nek az Arburg Allrounder 470A 1000-290 típusú fröccsöntőgépet, a Lenzkes GmbH-nak a szerszámfelfogókat és a Tool-Temp Hungária Kft.-nek a szerszámtemperálókat. A szerzők részvételét az OGÉT 2023 konferencián az Emberi Erőforrás Támogatáskezelő NTP-HHTDK-20 pályázata támogatta.

### Irodalmi hivatkozások

- [1] Buzási Lajosné: Magyarország műanyagipara 2019-ben, Polimerek, MMSZ Lapkiadó Kft., 2020, VI. évfolyam, 07-08. szám, 977-987
- [2] Omer Sagi: White Paper: PolyJet Matrix Technology A New Direction in 3D Printing, Stratasys Ltd, 2009
- [3] Tari G., Szabó F., Suplicz A.: Áramlási egyenletlenségek valós idejű elemzése fröccsöntő szerszámokban, Polimerek Műanyagipari Szaklap, V. évfolyam, 3. szám, 424-428 (2019)