

Polimer alapú 3D nyomtatott prototípus fröccsöntő szerszámbetétek formaüregének indirekt nyomásmérése

CAVITY PRESSURE MEASUREMENT IN POLYMER-BASED 3D PRINTED INJECTION MOLD INSERTS

SUPLICZ András, PhD, adjunktus; KOVÁCS Norbert Krisztián, PhD, adjunktus
 Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Polimertechnika Tanszék,
 H-1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3., +36-1-463-1459, suplicz@pt.bme.hu, kovacs@pt.bme.hu,
 www.pt.bme.hu

ABSTRACT

In this project a new cavity pressure measurement method was developed. With this method the conditions of the 3D printed mold inserts can be investigated during the injection molding process. To detect cavity pressures, we glued a strain gauge onto the back of the mold insert, and calibrated its signals with a direct cavity pressure sensor. During the experiments it was proved that cavity pressures can be properly measured with strain gauges.

ÖSSZEFOGLALÁS

Munkánk során egy új indirekt nyomásmérési módszer alapjait dolgoztuk ki, amellyel 3D nyomtatással készült prototípus szerszámbetétek fröccsöntés közbeni állapota, és a formaüregben keletkezett üregnyomások felügyelhetővé váltak. A nyomások meghatározásához a betétek hátoldalára ragasztott nyúlásmérő bélyegeket alkalmaztunk, és a kapott nyúlásjeleket piezoelektromos elven működő, direkt nyomásmérő szenzor jeleivel kalibráltuk. Méréseinkkel bebizonyítottuk, hogy a nyúlásmérő bélyeggel történő mérés alkalmas a formaüreg nyomásának kimutatására.

Kulcsszavak: additív gyártástechnológia, 3D nyomtatás, prototípus szerszámok, nyomásmérés, nyúlásmérő bélyeg

1. BEVEZETÉS

A fröccsöntés a műanyagipar egyik legsokoldalúbb, legdinamikusabban fejlődő gyártástechnológiai eljárása. Ezt jól mutatja az is, hogy a műanyag termékek közel harmadát ezzel a technológiával készítik el. Az eljárás két legfontosabb eszköze maga a feldolgozó gép és az alakadó szerszám. A fröccsöntő szerszámokat hagyományosan nagy szilárdságú acélokból gyártják, hogy a folyamat során kialakuló nagy nyomások, esetlegesen az alapanyag koptató hatása ne károsíthassa élettartama során, ami akár több százezer ciklus is lehet [1].

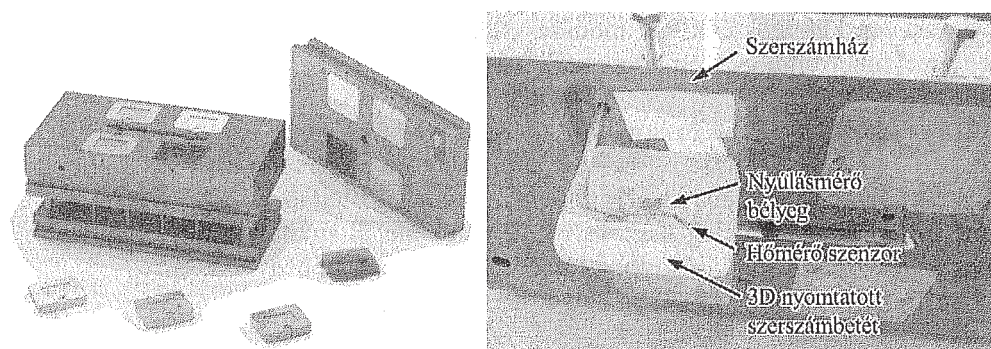
A műanyag feldolgozási technológiákban nagy figyelmet kaptak az utóbbi években az additív gyártástechnológiák (AM). Ezalatt azokat az eljárásokat értjük, amelyek az anyageltávolítással ellentétben anyaghozzáadás útján, rétegről-rétegre hozzák létre a kívánt terméket, közvetlenül a virtuális 3D-s modellből. Manapság a tervezési és fejlesztési fázisba a fröccsöntő ipar is előszeretettel alkalmazza a 3D nyomtatást prototípus szerszámok előállítására, hiszen kis sorozat esetén a nagy költséggű fém szerszámokat könnyedén kiválthatja. Így nem csak a közvetlen anyag- és megmunkálási költségeket tudjuk csökkenteni, hanem az alakadó szerszám elkészítési idejét, ezzel a termék piacra jutási idejét is le tudjuk rövidíteni. Emellett segíthet megtalálni a megfelelő szerszámozási megoldásokat, a termék funkcionalitásának ellenőrzését, de akár a hűtési rendszer tetszőleges kialakíthatósága miatt is előszeretettel alkalmazzák (formakövető hűtések) [2, 3].

A fröccsöntési folyamat egyik legfontosabb paramétere a polimer ömledék nyomása. Ezt a nyomást több helyen is meghatározhatjuk, de a termék minőség szempontjából a legfontosabb a formaüreg nyomása. A formaüreg nyomásának monitorozásával már gyártás közben információkat nyerhetünk a termék minőségéről. Ezt a technológiát fém szerszámok esetében gyakran alkalmazzák ipari környezetben is, de polimer alapú 3D nyomtatott szerszámoknál még nem megoldott. A polimer alapú RPT szerszámok szilárdsága elmarad a fém szerszámokétól, így élettartamuk is, amit a fröccsöntés során fellépő formaüregbeli nyomás jelentősen befolyásol. Ezért a formaüreg nyomásának mérése jelentős javulásokhoz vezethet a 3D nyomtatott szerszámok élettartama tekintetében. Munkánkban egy újszerű indirekt nyomásmérési eljárást fejlesztünk ki,

amellyel a polimer alapú nyomtatott szerszámok üregnyomása mérhetővé válik anélkül, hogy az a termékek minőségét befolyásolná.

2. ANYAGOK, BERENDEZÉSEK, MÓDSZEREK

A fröccsöntési kísérleteket Arburg Allrounder Advance 270S 400-170 típusú fröccsöntő gépen végeztük el, Tipplen H145F típusú homo-polipropilén (MOL Petrolkémia Zrt.) felhasználásával. A prototípus fröccsöntő szerszámbetéteket Objet Alaris 30, PolyJet elv alapján működő 3D nyomtatóval állítottuk elő, FullCure 720 típusú, UV fényre térhálósodó epoxi-akrilát gyanta felhasználásával. A betétekre azok üzem közbeni állapotának ellenőrzésére HBM 1-LY11-3/350 típusú nyúlásmérő bélyeget és NiCr-Ni T 190-0 típusú hőelemet rögzítettünk. A nyúlásmérő bélyeg jeleit Spider 8 adatgyűjtővel, a hőelem jeleit pedig Ahlborn Almemo 8990-6 adatgyűjtővel rögzítettük és dolgoztuk fel. A felszenzorozott nyomtatott szerszámbetéteket egy négyfészes acélkeretbe illesztettük (1. ábra). A betétekkel szemben az álló szerszámfélben Kistler 6182B típusú nyomásmérő szenzorral és Como Injection 2869B adatfeldolgozóval monitoroztuk a formaüregben keletkezett valós ömledéknomásokat. A tesztek során a formaüregbe az átkapcsolási pontig 10,5 cm³, 210°C-os ömledéket jutattunk be 10 cm³/s sebességgel. Ezt követően hat különböző utónyomási szinten (25, 50, 75, 100, 125 és 150 bar) rögzítettük a kialakult üregnyomás görbéket és a szerszámbetét nyúlásait.



1. ábra

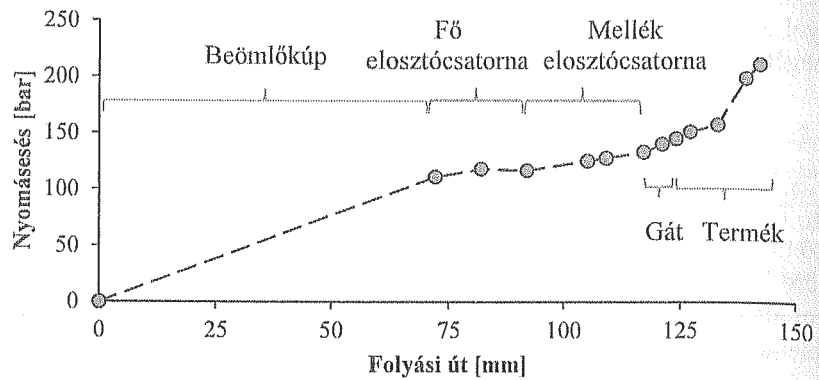
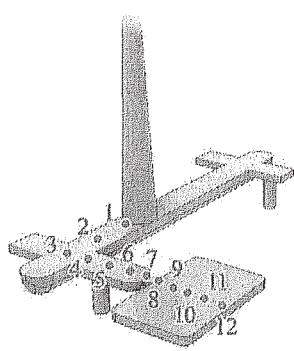
Az alkalmazott fröccsöntő szerszámház és a felszenzorozott 3D nyomtatott szerszámbetét

3. EREDMÉNYEK

Nyomásésés vizsgálata a szerszámban

A prototípus szerszámban elsőként kitöltési vizsgálatokat végeztünk, hogy megismerjük az egyes kitöltöttségi szintekhez tartozó fröccsöntési nyomásszükségleteket. Ezzel a módszerrel a fröccsöntő gép által mért fröccsnyomásokból következtetni tudunk a formaüregben létrejövő maximális nyomásokra. Az így megkapott folyási út - fröccsnyomás értékpárokkal már tudtuk becsülni a nyomásesést a fröccsegységtől a nyomásmérési pontig, illetve a folyási út végéig. A pontos nyomásesési viszonyok megismeréséhez tizenegy köztes mérési pontot vettünk fel, illetve a tizenkettedik a teljes kitöltés szintje volt. A kitöltés során nem alkalmaztunk utónyomást. Az így kimért fröccsnyomás maximum szükségleteket a kitöltési út függvényében a 2. ábra mutatja be. A diagramról megállapítható, hogy a beömlőkúpon közel 110 bar, az elosztórendszeren 30 bar, majd a gát elérése után a teljes kitöltésig további 70 bar nyomásesés lépett fel. Továbbá megállapítható, hogy a teljes kitöltöttséghez 212 bar-ra volt szükség. A számunkra fontos adat a 10. mérési pontban mérhető nyomás maximuma, mivel ez a kitöltöttségi szint volt a direkt nyomásmérő szenzor határán, amelyből látható, hogy 157 bar-os fröccsnyomás szükséges ahhoz, hogy az ömledék eddig a pontig eljusson.

A nyomásesések verifikálására a formaüreg kitöltése során mértük a 10. mérési pontban keletkezett üregnyomásokat. A teljes kitöltöttség esetén a nyomásmérő szenzorral 58 bar nyomást mértünk, amelyet ha kivonunk a 212 bar fröccsnyomásból, 154 bar nyomáskülönbséget kapunk. Ez nagy pontossággal megegyezik a kitöltési vizsgálat során mért nyomáseséssel, azonban több esetben ettől jelentősebb eltérést is tapasztaltunk.



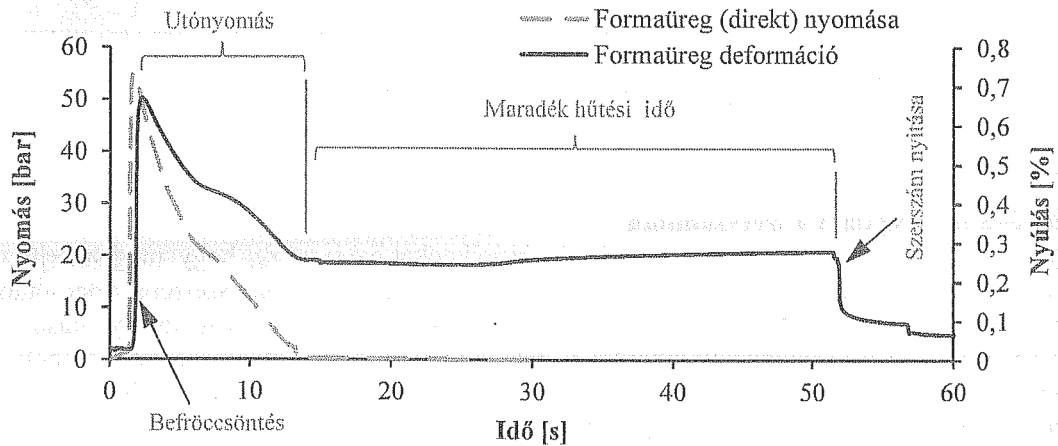
2. ábra

A folyási út mentén kialakult nyomásesés

A kitöltési vizsgálattal bebizonyítottuk, hogy az üregnyomás maximuma a kitöltési folyamat során számítható a maximális fröccsöntési nyomásokból, azonban ennél több információt sajnos nem biztosít. Ezek alapján megfelelő nyomásmérő szenzor hiányában a nyomásfelfutásokat és leépüléseket nem tudjuk monitorozni. Ennek érdekében kidolgoztunk egy módszert, ahol a prototípus szerszámbetétekre felhelyezett nyomásmérő bélyegekkkel felügyeljük a nyomásváltozásokat.

Formaüreg deformáció és az üregnyomások összehasonlítása

A nyúlásmérő bélyeggel felszerelt betéteken elvégeztük a fröccsöntési kísérleteket, különböző utónyomások alkalmazásával. A vizsgálatok során folyamatosan rögzítettük a direkt nyomásokat és a szerszámbetét deformációkat. A kapott jeleket összevetve (3. ábra) megállapítható, hogy a formaüregben mérhető nyomásfelfutások és a deformációgörbék időbeli lefutásának jellege megegyezik.



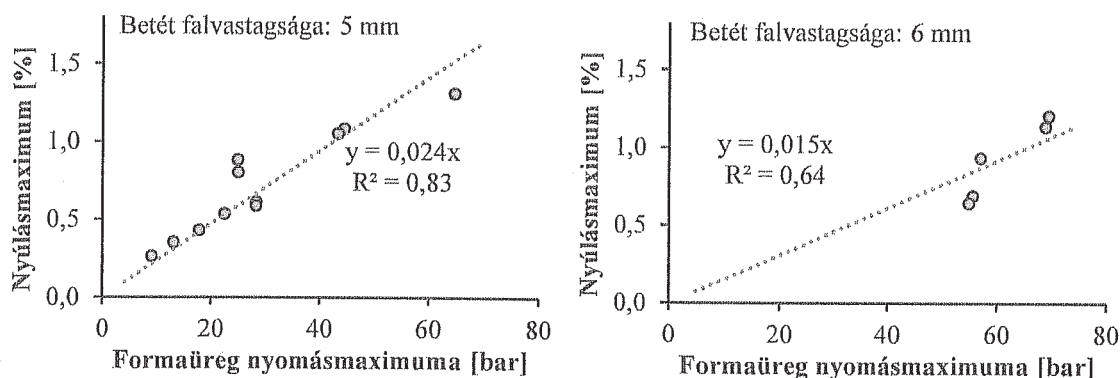
3. ábra

A formaüreg nyomásgörbéjének és deformációs görbéjének összehasonlítás egy teljes ciklus alatt

A grafikonon látszik, ahogy a befroccsöntés hatására az első néhány másodpercben nagymértékben megnő a nyúlás. 1,4 másodperc eltelte után átkapcsol utónyomásra a gép, aminek hatására a nyúlás és az üregnyomás csökkenni kezd. Az átkapcsolás után 10 másodperccel az utónyomási szakasz véget ér, a nyomások teljes mértékben leépülnek, de a nyúlások nem. Ennek oka egyrészt a szerszámbetét anyagában keletkező, a polimer anyagokra jellemző maradó deformáció, másrészt a termék vetemedéséből eredő feszültség lehet. A hűtési idő letelte után kinyílt a szerszám, amit újabb deformációcsökkenés jelez. Az ezt követően fennmaradt deformációs jel a polimer alapú fröccsöntő szerszámbetétben keletkezett maradó deformációt mutatja. A kapott eredmények alapján elmondható, hogy a nyúlásmérés a fröccsöntés szakaszait jól elkülöníthetően megjeleníti, amit a 3. ábra szemléltet 6 mm vastag szerszámbetét és 75 bar utónyomás esetén. Ezen túlmenően a direkt nyomásméréstől eltérően a szerszámbetét maradó deformációja és a termék vetemedése is detektálhatóvá vált.

A kísérleteket két különböző vastagságú (5 és 6 mm) szerszámbetéttel is elvégeztük. A mérések során detektált relatív nyúláscsúcsokat a direkt nyomásmérés csúcaival összevetettük (4. ábra). A mért nyúlás- és

nyomásértékek közt vizsgáltuk a korrelációt, hogy minősíteni tudjuk a nyúlásmérést, mint nyomásmérési módszert 3D nyomtatott szerszámbetéteknél. Az eredmények alapján látható, hogy a belső nyomások és a szerszámbetét deformációja közt jó közelítéssel lineáris összefüggés állítható fel. Továbbá látható, hogy a betét falvastagságának növelésével adott üregnyomás mellett a deformációk csökkennek, ami a betét falának növekvő merevségével magyarázható.



4. ábra

A formaüreg nyomása és deformációja közötti összefüggés 5 (balra) és 6 mm (jobbra) vastag betét esetén

4. ÖSSZEFOGLALÁS

Munkánk célja egy indirekt nyomásmérési módszer kifejlesztése volt 3D nyomtatott, polimer alapú prototípus szerszámokhoz. Első lépésként a szerszámokban fellépő nyomásesést mértük ki a fröccsöntő gép segítségével. Ez a vizsgálat rámutatott arra, hogy ezzel a módszerrel a formaüreg nyomásmaximumait ugyan ki lehet mutatni (bár az eredmények bizonytalanok), de a nyomás felfutásokról és leéptülésekről információkat nem tudunk szerezni. Ezt követően a felszenzorozott szerszámokban egy kísérletterv alapján hasonlítottuk össze a direkt nyomásmérő szenzor és a nyúlásmérő bélyeg által rögzített jeleket. Az eredmények alapján megállapítottuk, hogy a formaüregben mérhető nyomásgörbék és deformációgörbék időbeli lefutásának jellege jól megegyezik. Ezen túlmenően a direkt nyomásméréstől eltérően a polimer alapú szerszámbetét maradó deformációja és a termék vetemedése is detektálhatóvá vált. Továbbá kimutattuk, hogy a belső nyomás-csúcsok és a szerszámbetét deformációjának maximális értéke közt jó közelítéssel lineáris összefüggés állítható fel.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Munkánkat a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal támogatta az NKFIH Alapból, az „Egyénre szabott orvos-biológiai implantátumok és segédeszközök új generációs gyártási folyamatának kidolgozása additív technológiákra” (NVKP_16-1-2016-0022) című projekt keretében. Köszönjük továbbá az Arburg Hungária Kft.-nek az Arburg Allrounder 370S 700-290 típusú fröccsöntőgépet, a Lenzkes GmbH-nak a szerszámfelfogókat és a Tool-Temp Hungária Kft.-nek a szerszámtemperálókat.

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Macskási L., Dunai A., Műanyagok fröccsöntése, Lexica Kft., Budapest, 2003.
- [2] A. Gebhardt, Understanding Additive Manufacturing, Carl Hanser Verlag, Munich, 2011.
- [3] B. Zink, F. Szabó, I. Hatos, A. Suplicz, N. K. Kovács, H. Hargitai, T. Tábi, J. G. Kovács, Enhanced Injection Molding Simulation of Advanced Injection Molds, Polymers, 2017/9.