

Kitöltési egyenetlenségek fröccsöntésszimulációs vizsgálata

SIMULATION OF FLOW IMBALANCES IN MULTYCAVITY INJECTION MOLDS

SZABÓ Ferenc¹, PhD, adjunktus, SUPLICZ András², PhD, adjunktus

¹Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Polimertechnika Tanszék, H-1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3., +36-1-463-1459, szabof@pt.bme.hu, www.pt.bme.hu

²Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Polimertechnika Tanszék, H-1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3., +36-1-463-1459, suplicz@pt.bme.hu, www.pt.bme.hu

ABSTRACT

In this work the flow imbalances, developed in difficult runner systems of multi cavity molds was analyzed. It was proved with ABS raw material and a special mold that the melt temperature and the flow rate have the biggest influence on the flow imbalance. It was showed with simulations that the injection molding simulation software gives smaller differences compared to the differences in real injection moldings.

ÖSSZEFOGLALÁS

Munkánkban a fröccsöntés során, a nagy méretű, szerteágazó kialakítású elosztórendszerekben jellemző kitöltési egyenetlenségeket vizsgáltuk. Egy speciális szerszám segítségével ABS alapanyagon bizonyítottuk, hogy a kitöltési sebesség mellett az ömledék hőmérsékletnek van a legnagyobb hatása az egyenetlenség mértékére. Szimulációs vizsgálataink rámutattak, hogy a szimulációs szoftverekkel számított egyenetlenség gyakran jelentős mértékben kisebb a valóságban kialakulónál.

Kulcsszavak: fröccsöntés, fröccsöntésszimuláció, egyenetlen töltődés

1. BEVEZETÉS

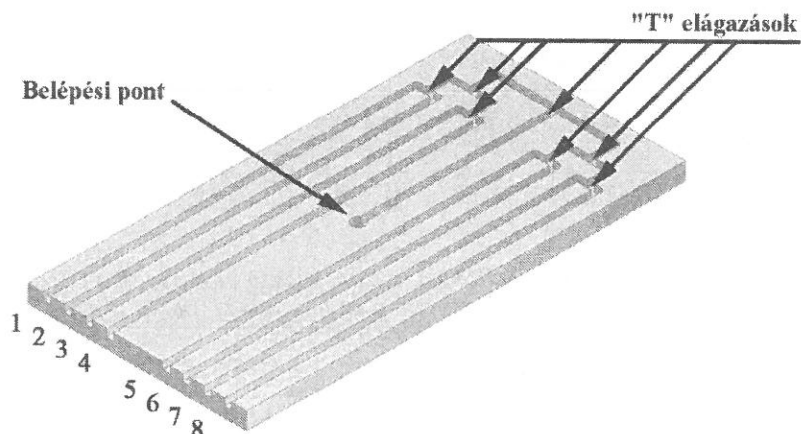
A műanyag feldolgozó ipar az elmúlt 20 év egyik leggyorsabban növekvő ipari ágazata, 2015-ben közel 325 millió tonna alapanyag került feldolgozásra. Az ágazat egyik legfontosabb feldolgozási technológiája a fröccsöntés, amellyel nagy pontosságú, összetett, 3D-s termékek állíthatók elő ciklikus üzemben, gyakorlatilag hulladékmentesen. A növekvő minőségi és gazdasági követelmények miatt a termékek minőségének javítása és a ciklusidő csökkentése fontos szempont, így az iparban egyre nagyobb figyelmet fordítanak a nagy méretű, bonyolult elosztórendszerrel rendelkező gyártószerszámok fejlesztésére. Ezek a szerszámok lehetővé teszik egy cikluson belül nagyszámú termék egyidejű előállítását, ugyanakkor új kihívásokat jelentenek mind tervezési, mind üzemeltetési szempontból [1].

Az elosztórendszereknek több típusa is elterjedt az ipari gyakorlatban, azonban a rendszerek három fő csoportba sorolhatók: kiegyensúlyozatlan, mesterségesen kiegyensúlyozott és a geometriailag kiegyensúlyozott típusok. A kiegyensúlyozatlan típusok legfőbb jellemzője, hogy az ömledék belépési pontja és az egyes termékek között mérhető folyási út nem egyforma, így az egyes fészkek a kitöltési folyamat során egyenetlenül töltődnek. A kitöltési egyenetlenség csökkenthető az egyes csatornaszakaszok átmérőinek változtatásával, amelyet mesterséges kiegyensúlyozásnak is szoktak nevezni. A termékminőség szempontjából a legjobb eredmény leggyakrabban a geometriailag kiegyensúlyozott típusokkal érhető el, amelyek jellemzője, hogy az ömledék belépési pontja és az egyes formaüregek között mérhető folyási utak egyenlők, valamint, hogy azonos az ugyanolyan rangú csatornaszakaszok geometriája. Habár a geometriailag kiegyensúlyozott típusok elméletben azonos termékjellemzőket biztosítanak az összes formaüregben, az alapanyagra a csatornában való áramlás során ható igénybevételek (súrlódás, nyíró igénybevétel, degradáció stb.) miatt ezekben a típusokban is felléphetnek kitöltési egyenetlenségek [2].

Az elvárásoknak megfelelő termék és gyártószerszám elkészítésében segítséget nyújthatnak a fröccsöntésszimulációs programok, amelyekkel a fröccsöntési ciklus egyes fázisai vizsgálhatók, mint például a szerszám kitöltése, utónyomási szakasz stb. Az eredményekből következtetések vonhatók le például a termék minőségre vagy megállapíthatók az optimális feldolgozási paraméterek [3]. Az összetett elosztórendszerekben történő alapanyag áramlás megfelelő pontosságú szimulációja sok esetben még megoldatlan probléma, így új modellek alkotását és új vizsgálati módszerek fejlesztését követeli meg.

2. ALKALMAZOTT ANYAGOK, BERENDEZÉSEK, MÓDSZEREK

A folyási egyenetlenségek vizsgálatára egy speciális fröccsöntő szerszámot fejlesztettünk. A szerzámba munkált csatorna hálózat egy nyolcfészes, geometriailag kiegyensúlyozott fröccsöntő szerszám elosztórendszerét mintázza, keresztmetszete minden csatornaszakaszban 4x4 mm. A középén bevezetett polimer ömledék egy egyenes csatornaszakaszt követően hét T-elágazáson halad keresztül, majd nyolc, szimmetrikusan elhelyezkedő, végén nyitott csatornaszakaszban halad tovább (1. ábra). Ez a kialakítás biztosítja, hogy a kitöltési egyenetlenség mértéke könnyen számszerűsíthető legyen, továbbá hogy a kitöltési folyamat során a csatornában haladó ömledék előtt ne alakulhasson ki a folyamatot befolyásoló túlnyomás. A fröccsöntési kísérletek Arburg 370S 700-290 típusú fröccsöntőgépen történtek, Styrolution Terluran GP-35 típusú ABS alapanyaggal. Az alapanyag szárítását forrólevegős szárítószekrényben végeztük 80°C-on, 4 órán keresztül.

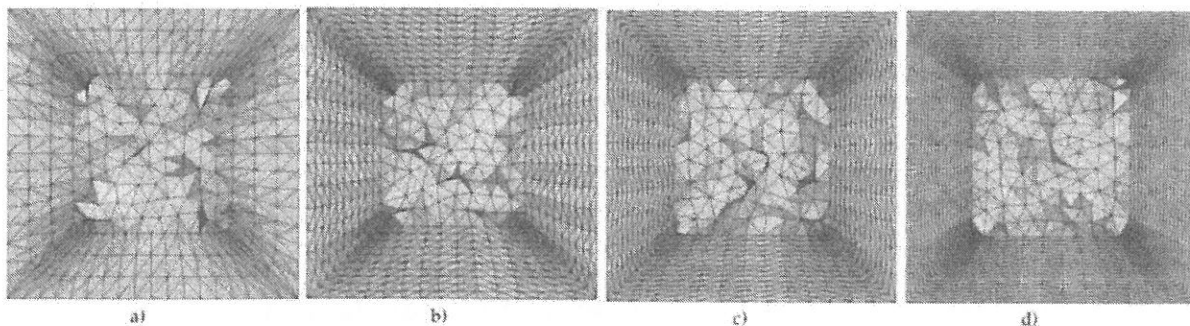


1. ábra. A kísérletekhez használt fröccsöntő szerszám csatornahálózatának vázlata

A kitöltési egyenetlenségek szimulációs vizsgálatát Autodesk Moldflow 2016 szoftver segítségével végeztük, négy csomópontos tetragonális elemek alkalmazásával. A végeselemes háló generálása Altair HyperMesh szoftver segítségével történt. Az elemszám és a futási idő mérséklésére a csatorna keresztmetszetének külső 0,9 mm-es rétegében kisebb elemméretű, strukturált hálót készítettünk, amíg a magban nagyobb elemméretű (0,3 mm) strukturálatlan hálót alkalmaztunk. A modellekre jellemző elemszámok a határretegben alkalmazott elemméret függvényében 11,5-29,4 millió között változtak. A 3D háló kialakítása 0,35 mm elemméretű háromszögekből álló felületi hálóból történt. A futtatások során a program saját alapanyag adatbázisában található adatokat használtuk, mivel azok korábbi ellenőrző mérések alapján megfelelőnek bizonyultak. A technológiai beállítások megegyeztek a valós vizsgálatok során is alkalmazott beállításokkal.

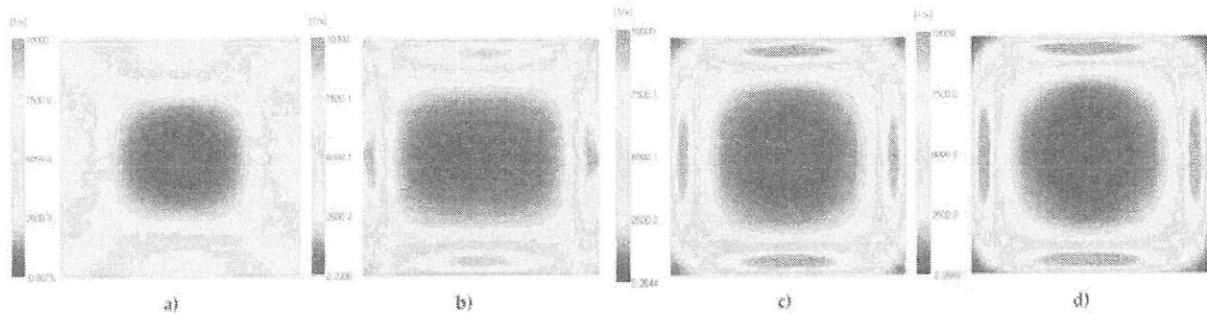
3. EREDMÉNYEK

A végeselemes háló szimulációs eredményekre gyakorolt hatásának vizsgálatára négy eltérő elemmérettel végeztük el a csatorna héjrétegének hálózását, az alkalmazott elemméretek vastagság irányban 0,3 mm, 0,1 mm, 0,07 mm és 0,05 mm voltak (2. ábra).



2. ábra. A hálóérzékenység vizsgálatához alkalmazott végeselemes hálók keresztmetszete (a. - 0,3 mm; b. - 0,1 mm; c. - 0,07 mm; d. - 0,05 mm elemméret alkalmazásával a héjrétegben)

Az eltérő sűrűségű hálókkal végzett szimulációk minősítésére a csatornák első elágazását megelőző részeire számított adatait használtuk. A nyírósebesség eloszlásokat (3. ábra) megvizsgálva látható, hogy az elemméret csökkenésével egyre jobban kirajzolódnak a falak menti nyírt zónák, illetve nőnek a számított nyírósebesség értékek. A c) és d) esetekben egyértelműen megjelennek a csatorna sarkaiban az intenzív hőelvonás következtében jellemző lefagyott részek, az intenzíven és a kevésbé intenzíven nyírt részek közötti átmenetek finomodnak. Mivel a sűrűlódás következtében történő hőmérséklet változás és az azáltal okozott kitöltési egyenetlenség kimutatásának alapvető feltétele a nyírások pontos számítása és a c) és a d) beállítások között lényegi eltérés már nem tapasztalható, a további számításokhoz indokolt a maximum 0,07 mm-es elemméret alkalmazása.



3. ábra. Az eltérő hálósűrűségek esetén jellemző nyírósebesség eloszlások a központi csatornában (a. - 0,3 mm; b. - 0,1 mm; c. - 0,07 mm; d. - 0,05 mm elemméret alkalmazásával a héjrétegben)

A kitöltési egyenetlenségek és az azokat befolyásoló hatások vizsgálatára teljes faktoriális kísérlettervet állítottunk össze, amelyben a vizsgált tényezők az ömledék hőmérséklet, a szerszám hőmérséklet és a kitöltési sebesség voltak (1. Táblázat). Az egyenetlenség mértékének jellemzésére a legrövidebb és a leghosszabb ágak hosszának különbségét használtuk.

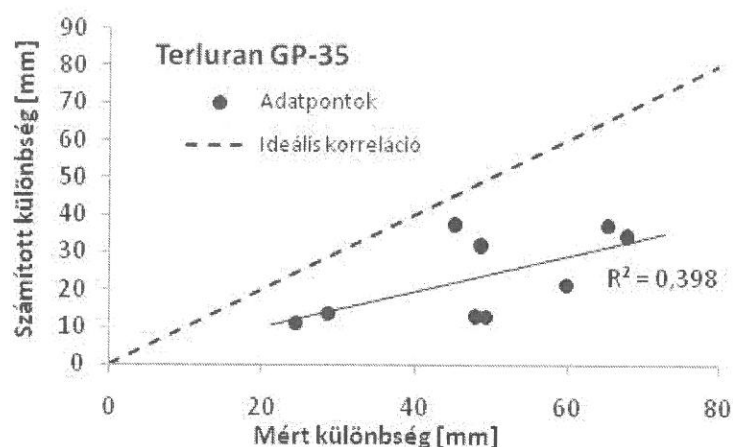
1. táblázat. Az alkalmazott vizsgálati paraméterek és eredmények

Sorszám	Paraméterek			Folyási úthossz különbség [mm]		
	Ömledék hőmérséklet [°C]	Szerszám hőmérséklet [°C]	Kitöltési sebesség [cm ³ /s]	Számított	Mért	
				Modflow	Átlag	Szórás
1	190	20	90	34,12	67,96	0,68
2	190	80	10	31,56	48,94	1,33
3	260	20	10	13,85	28,73	0,39
4	260	80	90	12,82	49,45	0,39
5	225	50	50	21,33	59,94	2,80
6	190	80	90	37,3	65,39	1,23
7	190	20	10	37,08	45,24	0,21
8	260	80	10	11,24	24,44	2,25
9	260	20	90	12,58	48,02	0,41

Az eredményeket megvizsgálva látható, hogy a kitöltés során kialakuló egyenetlenségre a vizsgált paraméterek közül jelentős hatása csak az ömledék hőmérsékletnek és a kitöltési sebességnek van, a szerszám hőmérséklet hatása elhanyagolható. Az ömledék hőmérsékletének emelése, vagy a kitöltési sebesség mérséklése a különbségeket csökkenti, ennek megfelelően a legnagyobb különbség az 1. beállítás esetén jelentkezik. Ennek oka, hogy a kitöltési folyamat során a sűrűlódásból származó hő a hideg, így viszkozusabb alapanyag viszkozitását arányaiban véve jobban le tudja csökkenteni, mint a melegebb, így már alapvetően kisebb viszkozitású alapanyagét. Ennek hatására a melegebb ömledékkel töltődő belső ágakban az áramlási sebesség jelentősen megnő a hidegebb ömledékkel táplált külsőkhöz képest.

A mért és szimulációs úton számított folyási úthossz különbségeket vizsgálva látható, hogy a számított különbségek minden esetben elmaradnak a valóságban fellépő értékekhez képest még kis elemméretű végeselemes háló esetében is (4. ábra). A legnagyobb (közel négyszeres) különbség a nagy ömledék hőmérséklet és kitöltési sebesség esetén jelentkezik. Ennek vélhető oka, hogy ilyen paraméterek mellett az alap-

anyagban a feldolgozás során végbemenő irreverzibilis változások felerősödnek, amelyet a szimulációs algoritmusok pillanatnyilag nem képesek kezelni.



4. ábra. A mért és szimulációs úton számított folyási egyenetlenségek viszonya

4. ÖSSZEFOGLALÁS

Munkánkban a bonyolult, elágazó elosztórendszerrel rendelkező, többfészkés fröccsöntő szerszámokra jellemző kitöltési egyenetlenségeket vizsgáltuk gyakorlati és szimulációs úton. Méréseinkhez speciális fröccsöntő szerszámot fejlesztettünk, amely lehetővé teszi az egyenetlenségek számszerűsítését. ABS alanyagon végzett vizsgálataink rámutattak, hogy a kitöltés egyenetlenségére jelentős hatást gyakorol az alkalmazott ömledék hőmérséklet és kitöltési sebesség. Szimulációs vizsgálatokkal rámutattunk a megfelelő végeleemes háló fontosságára, valamint a fröccsöntésszimulációs rendszerek fejlesztési lehetőségeire.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikk a Bolyai János Kutatási ösztöndíj támogatásával készült. A projekt a Magyar Kormány támogatásával, a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alap finanszírozásával valósult meg (NVKP_16-1-2016-0038). 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] Dunai A., Macskási L.: Műanyagok fröccsöntése, Lexica Kft., Budapest, 2003.
- [2] Beaumont J.P., Young J.H., Jaworski M.J., Mold filling imbalances in geometrically balanced runner systems, Reinforced Plastics and Composites, 18, 572-590.
- [3] Kennedy P.: Flow analysis of injection molds, Hanser Publishers, München, 1995.