

Többszemes fröccsöntő szerszámok kitöltési szimulációjának továbbfejlesztése

ENHANCED FILLING SIMULATION OF MULTYCAVITY INJECTION MOLDS

SZABÓ Ferenc, PhD, adjunktus

Budapesti 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

ABSTRACT

I investigated the unbalanced filling of geometrically balanced runner systems in the filling phase of injection molding with the use of a special mold, and possible ways of making their simulation more accurate. I proved with tests on ABS that at a high rate of filling, the melt may irreversibly change in highly sheared zones of the polymer and the neglect of this effect affects the results considerably.

KIVONAT

Munkámban egy speciális szerszám segítségével vizsgáltam a geometriailag kiegyensúlyozott elosztórendszerekben a fröccsöntés kitöltési fázisában jelentkező kitöltési egyenetlenségeket és azok szimulációs előrejelzésének pontosabbá tételi lehetőségeit. ABS alapanyagon végzett mérésekkel bizonyítottam, hogy nagy kitöltési sebesség mellett az alapanyag erősen nyírt zónáiban az ömledék irreverzibilis változásokon mehet keresztül, amelynek elhanyagolása jelentős hatással van az eredményekre.

Kulcsszavak: kitöltési egyenetlenség, fröccsöntés, reológia, szimuláció, fröccsöntésszimuláció

1. BEVEZETÉS

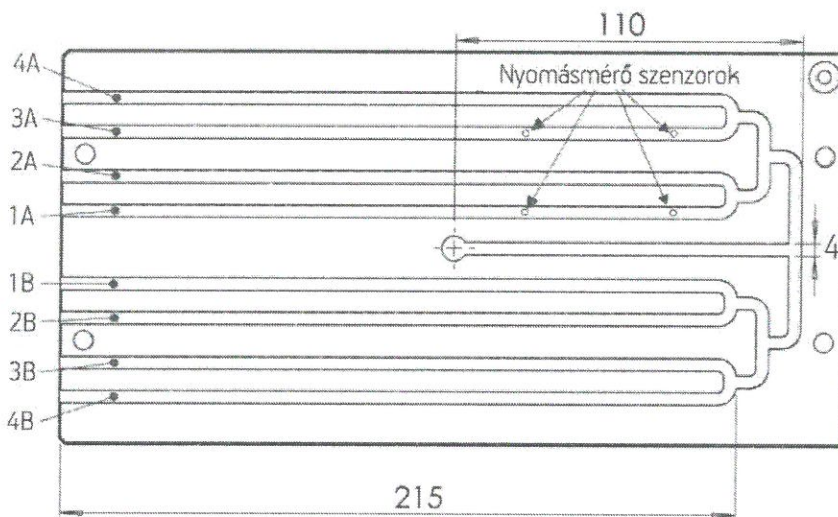
A műanyag feldolgozó ipar napjaink egyik leggyorsabban növekvő ipari ágazata, 2017-ben közel 350 millió tonna alapanyag került feldolgozásra. Az egyik legfontosabb polimer feldolgozási technológiája a fröccsöntés, amellyel bonyolult geometriájú termékek állíthatók elő nagy méretpontossággal, ciklikus üzemben, gyakorlatilag hulladékmentesen. A jellemzően nagy darabszámban történő gyártás miatt az iparban egyre elterjedtebben alkalmaznak nagy fészekszerű gyártószerszámokat, amelyek egy cikluson belül nagyszámú termék előállítását teszik lehetővé. A nagy fészekszerű termékek ugyanakkor új kihívásokat jelentenek mind tervezési, mind üzemeltetési szempontból, mivel nagyobb számú termék minőségi jellemzőit kell egyidejűleg a megadott határértékeken belül tartani [1].

Ha az egyes fészkekben készülő termékek nem azonos módon töltődnek ki a gyártási folyamat során, tulajdonságaik egymástól eltérhetnek, ráadásul a kitöltési fázis egyenetlenségei a további cikluselemeket is (pl. utónyomás) befolyásolhatják. Elméletileg a legegyszerűsebb töltődés azokkal az elosztócsatornákkal érhető el, amelynél az ömledék belépési pontja és a formaüregek távolsága azonos, illetve az ugyanolyan rangú csatornaszakaszok geometriája megegyezik, azonban a csatornában való áramlás során az ömledékre ható igénybevételek miatt ezekben a típusokban is felléphetnek kitöltési egyenetlenségek. A kitöltési folyamat során a szerszám elosztórendszerében áramló ömledék egy az elosztócsatornával érintkező vékony rétege lefagy, így áramlása megáll. A csatorna belső részében áramló alapanyag szerszámfalhoz közeli részei így jelentős nyíró igénybevételnek vannak kitéve, amelynek következtében jelentősen felmelegedhetnek. Az így kialakuló hőmérsékleti és reológiai inhomogenitás alapvetően szimmetrikus jellegű, azonban az elosztórendszer elágazásaiban a szimmetria felbomlik, így többszöri elágaztatást követően jelentős inhomogenitás alakulhat ki az egyes ágakba érkező ömledék tulajdonságai között. Az inhomogenitás mértéke jelentős mértékben függ az alapanyag típusától, a feldolgozási körülményektől és az elosztócsatorna geometriai jellemzőitől is [2].

A fröccsöntés során kialakuló kitöltési egyenetlenségek megfelelő pontosságú szimulációja napjainkban is jelentős problémákat okoz, mivel a szimulációs algoritmusok legtöbbször jelentősen alulbecslik az egyenetlenségeket, az eredmények jelentősen függenek az alkalmazott végelelemes hálótól, illetve gyakran az alkalmazott reológiai modellek pontossága sem kielégítő [3].

2. ALKALMAZOTT ANYAGOK, BERENDEZÉSEK, MÓDSZEREK

A fröccsöntési kísérletek Arburg 370S 700-290 típusú fröccsöntő gépen történtek, INEOS Styrolution GP-35 típusú ABS alapanyaggal. Az alapanyag szárítása a gyártó előírásainak szem előtt tartásával 80°C hőmérsékleten 4 órán keresztül forrólevegős szárítószekrényben történt. A folyási egyenetlenségek vizsgálatára egy speciális fröccsöntő szerszámot alkalmaztam, amelynek formaürege egy nyolcfészes, geometriailag kiegyensúlyozott fröccsöntő szerszám elosztórendszerét mintázza (1. ábra). A csatornák keresztmetszete 4x4 mm. A polimer ömledék bevezetése a szerszám közepén elhelyezett beömlőkúpon keresztül történik, majd az ömledék a 110 mm hosszúságú fő elosztócsatornából több T-elágazást követően jut a végükön nyitott 1-4/A-B csatornába. A kitöltési folyamat egyenlőtlenségeinek minősítése az egyes csatornaszakaszokban elért folyási utak segítségével végezhető, továbbá a szerszámba épített nyomásmérő szenzorok segítségével a valós és modellezett nyomásviszonyok is összehasonlíthatók.



1. ábra

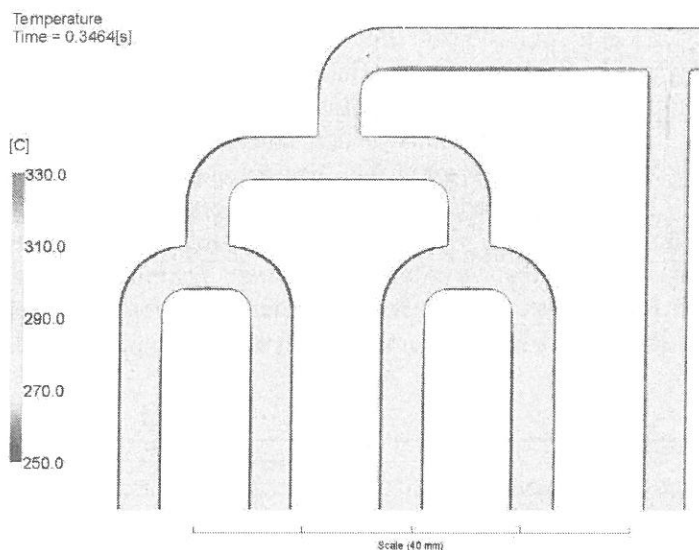
A kísérletekhez használt fröccsöntő szerszám csatornahálózatának vázlata

A számításokhoz szükséges fajhő adatok meghatározása DSC mérés segítségével történt 0-300°C hőmérséklet tartományban, 5 °C/ perc hűtési sebességgel TA Q2000 berendezésen. A hővezetési tényező értékeinek mérését egy speciális, aszimmetrikus elrendezésű hot-plate berendezésen végeztem 55°C-os hőmérsékleten. A viszkozitásgörbéket Ceast SR 50 kapilláris reométer segítségével határoztam meg, majd a mért értékeken Bagley és Rabinowitsch korrekciót végeztem.

A szimulációs futtatások során használt végeeselemes háló előállítását Altair HyperMesh szoftver segítségével végeztem. A csatornák fala mentén fellépő nyíró igénybevétel számításának pontosabbá tételére a csatornák keresztmetszetének külső 0,9 mm-es rétegében strukturált tetraéder hálót készítettem, amelynek vastagság mentén jellemző elemmérete 0,07 mm volt. A mag hálózása 0,3 mm maximális elemméretű strukturálatlan tetraéder hálóval történt. A fröccsöntési szimulációkat Autodesk Moldflow 2018 szoftver segítségével végeztem.

3. EREDMÉNYEK

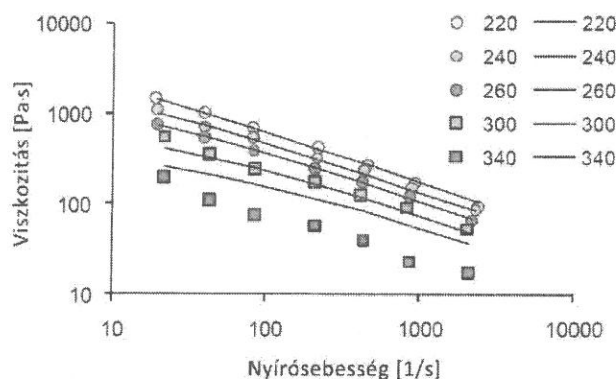
Ahogy arra már a korábbi kutatások eredményei is rávilágítottak, a szimulációs úton meghatározott folyási úthossz különbségek minden esetben elmaradnak a valóságban fellépő értékekhez képest még kis elemméretű végeeselemes háló esetében is, azonban a szimulációs eredmények és a valós kísérletek eredményei legnagyobb arányban a nagy ömledék hőmérséklettel és kitöltési sebességgel végzett vizsgálatok esetében térnek el egymástól. A lezajló folyamatok vizsgálatára fröccsöntési kísérleteket végeztem és fröccsöntési szimulációkat futtattam 260°C ömledék hőmérséklet, 80°C szerszámhőmérséklet és 90 cm³/s kitöltési sebesség mellett. A szimulációs úton meghatározott hőmérséklet eloszlást megvizsgálva látható, hogy a kitöltési folyamat során a nagy nyíró igénybevétel miatt az alapanyag jelentős mértékben felmelegszik a beállított értékhez képest még az első elágazást megelőzően (2. ábra).



2. ábra

Az ömledék hőmérsékletének változása az elosztócsatornában

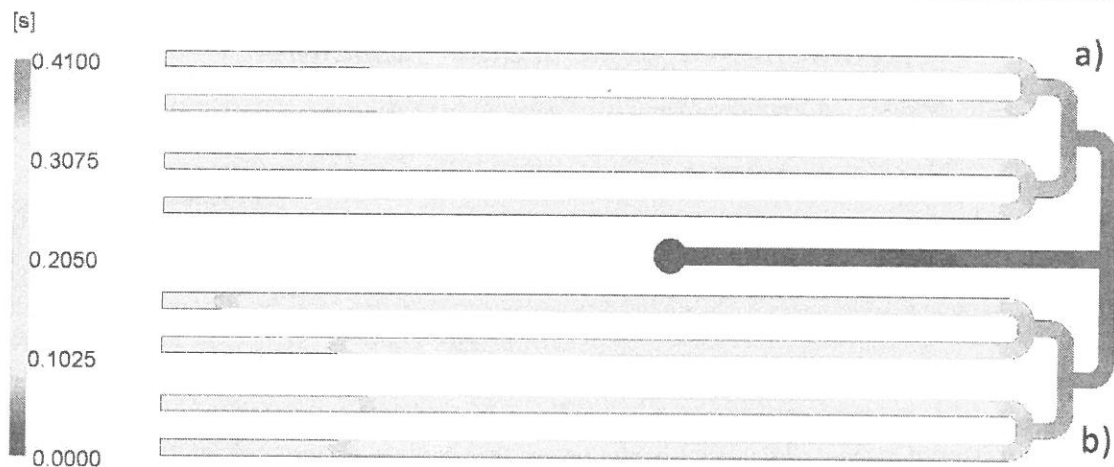
A vizsgált beállítások mellett az alapanyag hőmérséklete a 330°C hőmérsékletet is meghaladta, amely lényegesen nagyobb, mint az alapanyagra javasolt legmagasabb feldolgozási hőmérséklet (260°C). Ilyen körülmények között az alapanyag már jelentős irreverzibilis változásokat szenvedhet, amely a szimulációk pontosságát rontja, mivel az alapanyag tulajdonságok leírására használatos egyenletek ezt nem képesek figyelembe venni. Ennek alátámasztására viszkozitás méréseket végeztünk 220-340°C hőmérséklet tartományban kapilláris reométer segítségével, majd a korrekciózott eredményekre elvégeztük a Cross-WLF egyenlet illesztését (3. ábra).



3. ábra

INEOS Styrolution GP-35 típusú ABS alapanyag viszkozitásának alakulása eltérő hőmérsékleteken

Amint az látszik, a 220-260°C hőmérséklettartományt használva az illesztéshez a 300°C-hoz tartozó mérési pontok még jól illeszkednek a trendbe, azonban a 340°C-hoz tartozó pontok nagy mértékben eltérnek attól, így ebben a tartományban már a degradáció miatt az egyenlet nem alkalmazható. A feltárt jelenség kezelésére egy a Moldflow szimulációs rendszerbe épülő programmodult (API) fejlesztettem, amely a Matlab programcsomaggal együttműködve lehetővé teszi egyedi függvények és eljárások alkalmazását az alapanyag tulajdonságok szimulációs kezelésére úgy, hogy a szimulációk már kiszámított eredményei a számítás során figyelembe vehetőek. A fellépő degradáció kezelésére egy olyan Matlab kódot írtam, amely nyomon követi az anyagrészek áramlását és az alapanyag viszkozitásának irreverzibilis csökkenését az áramlás során elszennvedett hő- és nyírési igénybevétel integrálásával veszi figyelembe. A kiegészítő modul segítségével futtatott szimulációk eredményei a valóságot jobban közelítik (4. ábra), amíg az API használata nélkül számított eltérés a legrövidebb és leghosszabb ágak között csupán 13 mm, addig az új algoritmussal számítva 35 mm, amely lényegesen jobban közelíti a valós folyamat során mért 49,5 mm-t.



4. ábra

Az API használata nélkül számított folyási egyenetlenségek (a) és az API használatával számított folyási egyenetlenségek (b) viszonya

4. ÖSSZEFOGLALÁS

Munkámban a geometriailag kiegyensúlyozott, többfeszkes fröccsöntő szerszámok elosztórendszerében fellépő kitöltési egyenetlenségeket vizsgáltam gyakorlati és szimulációs úton. Az ABS alapanyagon végzett vizsgálatok rámutattak, hogy a csatornában való alapanyag áramlás során irreverzibilis változások mehetnek végbe, amelyek a szimulációk pontosságát rontják. A szimulációk pontosabbá tételére beépülő programmodult fejlesztettem, amelynek segítségével az irreverzibilis változások hatása a számítások során figyelembe vehető, így az eredmények pontossága javítható.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Az Emberi Erőforrások Minisztériuma ÚNKP-18-4 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának támogatásával készült. A munka a Nemzeti Kutatási és Innovációs Hivatal támogatásával az NKFIH Alapból valósult meg, a „Fröccsönthető polipropilén alapú tapadásközvetítő kompozitok fejlesztése járműtechnológiai alkalmazásokhoz” (NVKP_16-1-2016-0038) projekt keretében. A cikk a Bolyai János Kutatási ösztöndíj támogatásával készült. A 2017-2.3.7-TÉT-IN-2017-00049. számú projekt a Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból biztosított támogatással, a TÉT-IN-2017 pályázati program finanszírozásában valósult meg.

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Dunai A., Macskási L.: Műanyagok fröccsöntése, Lexica Kft., Budapest, 2003.
- [2] Reifschneider L. G.: Documenting and simulating flow segregation in geometrically balanced runners. *Journal of Injection Molding Technology*, 5, 4, 208-223, 2001.
- [3] Szabó F., Suplicz A.: Kitöltési egyenetlenségek fröccsöntésszimulációs vizsgálata. OGÉT 2017: XXV. Nemzetközi Gépészeti Konferencia, Kolozsvár, 368-371, 2017.