

Fröccsöntő gépek homogenizáló képességének optimalizálása

Zsíros László* PhD hallgató, Dr. Kovács József Gábor* egyetemi docens

1. Bevezetés

Kiváló minőségű fröccsöntött termékek előállítása során kulcskérdés, hogy a plasztifikálási folyamat eredményeképpen mennyire homogén az előkészített műanyag ömledék, amely a befroccsöntési szakaszban az alakadó szerszámba kerül. A nem megfelelő ömledékhomogenitás elsősorban esztétikai hibákat okoz a termékeken, de szélsőséges esetben a szilárdság csökkenéséhez is vezethet.

Az elégtelen ömledékhomogenításra esztétikai szempontból különösen érzékenyek a mesterkeverékkel színezett anyagok, márpedig manapság a színes fröccsöntött termékek jelentős részét (~90%) mesterkeverékekkel színezik, amely elsősorban gazdaságossági okokra vezethető vissza [1]. Bizonyos termékek esetében az esztétikai megjelenés legalább annyira fontos, mint maga a funkcionalitás, így belátható, hogy kitűnő minőségű fröccsöntött termékek előállítása nem lehetséges a fröccsöntő gép homogenizáló képességének optimalizálása nélkül.

Elfogadott álláspont, hogy egy általános célú fröccsöntő gép fröccsöntő egységének homogenizáló képessége nem túl kiemelkedő [2], bár ez javítható bizonyos paraméterek helyes megválasztásával és különböző keverőelemek alkalmazásával. Ezenkívül, a színhomogenitást a színezéshez használt mesterkeverék tulajdonságai is jelentősen befolyásolják, ezt azonban az esetek többségében adottnak kell tekinteni, és nincs lehetőség a mesterkeverék receptúrájának megváltoztatására, vagy ha van is, ez komoly erőforrásigénnyel rendelkezik, és többnyire elég időigényes.

Ha fröccsöntő szakember abban a kivételes helyzetben van, hogy egy adott, mesterkeverékkel színezett termék gyártásához megválaszthatja a fröccsöntő gépet, akkor általánosságban azt lehet mondani, hogy az adagsúlynak $(1,0-1,5)D$ között célszerű lennie. Fontos továbbá a jellemzően alkalmazott $20L/D$ aránnyal rendelkező csiga helyett $(23-26)L/D$ arányú, dinamikus keverőelemmel ellátott csigát választania [2, 3]. Az 1. ábra egy ilyen dinamikus keverő kialakítást mutat. A fröccsöntési para-



1. ábra. CRD (Chris Rauwendaal Dynamic mixer) keverős csiga kialakítása [5]

méterek is befolyásolják a végtermék homogenitását, ezek hatása azonban korlátozott, ráadásul az ömledék hőmérséklet hatását tekintve egymásnak ellentmondó eredmények találhatók az irodalomban [3, 4], ami további vizsgálatokat tesz szükségessé.

Az esetek jelentős részében azonban az inhomogenitáshoz vezető problémákat nem lehet gazdaságosan megoldani a csiga vagy a teljes fröccsöntő keverőegység cseréjével. Ilyenkor kerülnek előtérbe az utólagosan felszerelhető keverőelemek. Ezek alapvetően két nagy csoportba sorolhatók: dinamikus és statikus keverőelemek. A dinamikus keverőelemekre jellemző, hogy a csigával együtt forognak, és sokszor annak részét képezik. Egy ilyen utólagosan, a csigacsúcs helyére beépíthető dinamikus keverőt mutat a 2. ábra.



2. ábra. TMR (Twente Mixing Ring) típusú dinamikus keverővel ellátott csigacsúcs

Ezzel szemben a statikus keverőelemek, ahogyan az elnevezésük is utal rá, nem végeznek mozgást a fröccsöntési ciklus alatt, hanem a keverési teljesítményüket a belső zeg-zugos kialakításuk adja. Egy nagyon elterjedt statikus keverő látható a 3. ábrán.

A különböző keverőelemek mindegyikén a fröccsön-

*Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Polimertechnika Tanszék, 1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3., telefon: 36-1-463-1440, e-mail: kovacs@pt.bme.hu



3. ábra. A Sulzter cég SMX (Static Mixer, X type) típusú statikus keverőjének kialakítása [6]

tési ciklusban jelentős nyomásesés lép fel, amivel a fröccsöntési folyamat során kalkulálni kell. A dinamikus keverőelemeken a nyomásesés plasztifikáláskor jelentkezik, ami a plasztikálási teljesítményt kb. 10–15%-kal csökkenti [3], és a keverőelem kialakításától függően ömledékhőmérséklet növekedést okoz. A befröccsöntési szakaszban azonban ezek a keverőelemek nem befolyásolják a fröccsöntő gép működését.

Ezzel szemben a statikus keverőelemek nincsenek hatással a plasztikálási teljesítményre; ezek a befröccsöntési szakaszban okoznak szignifikáns nyomásesést, megnövelve ezzel a szerszámüreg kitöltéséhez szükséges nyomást [6]. Mivel a statikus keverők hatásukat zeg-zugos kialakításuk révén érik el, ez a kialakítás a polimer ömledéket a befröccsöntési szakaszban addicionális nyírásnak teszi ki, amely a polimer ömledék hőmérsékletét jelentősen, nagyjából 20 bar nyomásesésenként 1°C-kal emeli meg [7].

A fentiekből látható, hogy a fröccsöntő gép homogenizáló képességének javítása bizonyos áldozatokkal jár a fröccsöntési ciklus adott szakaszaiban. Gazdaságossági megfontolást is igényel annak eldöntése, hogy mennyire szeretnénk megnövelni az adott fröccsöntő gép keverési határfokát. Ennek az optimumnak a megtalálása jelenleg igen nehéz, tekintettel arra, hogy nem léteznek mérési eredmények arra vonatkozóan, hogy egy adott mesterkeverék homogén elkeveredéséhez milyen keverő teljesítmény szükséges, és arra vonatkozóan sem, hogy adott fröccsöntő gép milyen keverési határfokkal rendelkezik. Bár léteznek mérések a fröccsöntési paraméterek keveredésre gyakorolt hatására [4], ezek nem elegendőek a fröccsöntő gép homogenizáló képességének teljes körű optimalizálásához. Ezért célszerűnek látszik a statikus és a dinamikus keverőelemek keverési határfokának jellemzése objektív mérési módszerekkel, ami segítséget nyújthat a szakembereknek a megfelelő keverőelem vagy keverőelem kombináció kiválasztásában.

2. Felhasznált anyagok, gépek, mérési módszerek

Az általunk vizsgált próbatesteket ARBURG Allrounder 370S 700-290 fröccsöntő gépen készítettük (4. ábra). A tesztermékek 80 × 80 × 2 mm-es lapkapróbatestek voltak, amelyeket egy 2 fészkes, filmbeömlős, 2 lapos, hidrogenszűrővel szereléssel fröccsöntöttünk.



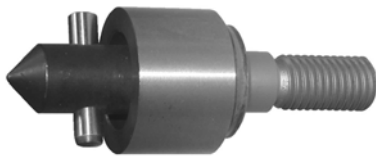
4. ábra. Az Arburg Allrounder 370 700 290 S

A kísérletekhez a CLARIANT által gyártott (RENOL PINK ABS143479Q) halványlila, valamint a POLYONE által gyártott (CC10171122BG) szintén halványlila mesterkeveréket adagoltuk az ABS (BASF GP 35) alapanyaghoz 4%-ban, ahol mind az alapanyagot, mind pedig a mesterkeveréket granulátum formában használtuk fel. A próbatesteket az 1. táblázatban szereplő technológiai paraméterekkel fröccsöntöttük, majd HP Scanjet G4010 síkgyas lapszkennerrel digitalizáltuk 200 dpi felbontással. Az így előállított képek kiértékeléséhez egy speciális szoftvert használtunk, amely saját fejlesztésű algoritmus alapján számszerűsíti a próbatesteken látható színegyenetlenséget, ez nagy (~90%) korrelációt mutat az emberi kiértékelésekkel is [4]. A szoftver fix méretű ablakkal pásztázza végig a próbatest digitalizált képét, kiszámítja az adott ablak egyes képpontjainak színeltérését annak átlagos színétől. A kiértékelés során alkalmazott ablakméret 21 × 21 pixel volt, amely 2,667 × 2,667 mm-nek felel meg 200 dpi felbontás esetén.

A referenciaméréshez általános célú csigát használtunk.

1. táblázat.
A fröccsöntési paraméterek

Paraméter	Érték
Befröccsöntési sebesség, cm ³ /s	55
Kidobó hátrahúzásának késleltetése, s	10,5
Csiga kerületi sebessége, m/min	25
Torlónyomás, bar	60
Zónahőmérsékletek, °C	
1. zóna (fűvóka hőmérséklete)	225
2. zóna	220
3. zóna	215
4. zóna	210
5. zóna	205
Álló szerszámfél hőmérséklete, °C	40
Mozgó szerszámfél hőmérséklete, °C	40
Átkapcsolási pont, cm ³	12
Ciklusidő, s	33



5. ábra. Egyszerű visszáramlás-gátló



6. ábra. Arburg gyártmányú, általános célú csigacsúcs



7. ábra. Speciális dinamikus keverőfunkciójú csigacsúcs



8. ábra. Stamixco SMN 22-5 statikus keverő

tunk egyszerű visszáramlás-gátlóval (5. ábra) kombinálva. A visszáramlás-gátlót először egy ARBURG gyártmányú (6. ábra), általános célú csigacsúcsra, majd egy keverőelemekkel is ellátott egyedi fejlesztésű keverő csigacsúcsra (7. ábra) cseréltük.

A csigacsúcsok vizsgálata mellett egy STAMIXCO SMN 22-5 gyártmányú statikus keverőt is megvizsgáltunk ARBURG csigacsúcs alkalmazásával. A statikus keverő megjelölésében szereplő 22 a keverőelem belső átmérőjét jelenti mm-ben, az 5-ös pedig a keverőelemek számát jelöli. A 8. ábra az általunk alkalmazott 5 elemből álló keverőt szemlélteti.

3. Színhomogenitás vizsgálatok eredményei

A vizsgálatot két sorozatban végeztük. Az első részben az egyes dinamikus és statikus keverőelemek hatását vizsgáltuk egymáshoz képest. A másodikban az ARBURG csigacsúccsal felszerelt fröccsöntő gépen vizsgáltunk 2 különböző receptúrájú, de azonos színű mesterkeverékekkel gyártott mintákat.

3.1. Keverőelemek összehasonlítása

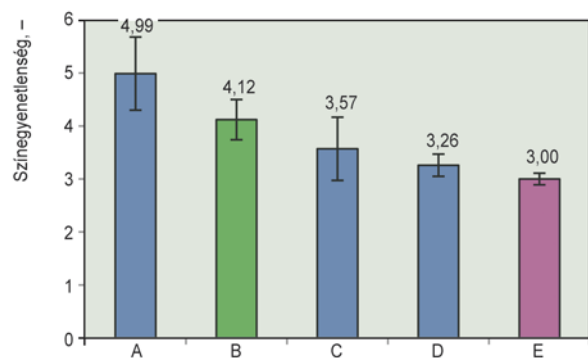
A különböző keverőelemeket a CLARIANT cég által gyártott mesterkeverékekkel hasonlítottuk össze. A számított mérési eredményeket a 2. táblázat, az ezekből az adatokból készült diagramot pedig a 9. ábra mutatja.

A vizsgált keverőtípusok közül az egyszerű visszáramlás-gátló használata esetében a legnagyobb a színe-

2. táblázat.

A színegyenetlenség mért értékei különböző keverőelemek esetén

Keverőelemek	Átlagos színegyenetlenség érték	Szórás
Egyszerű visszáramlás-gátló	4,99	0,69
Arburg csigacsúcs	4,12	0,38
Statikus keverő	3,57	0,59
Dinamikus keverős csigacsúcs	3,26	0,21
Kompaundált alapanyag	3,00	0,11



9. ábra. A színegyenetlenség mért értékei különböző keverőelemek esetén (A – egyszerű visszáramlás-gátló, B – Arburg csigacsúcs, C – statikus keverő, D – dinamikus keverős csigacsúcs, E – kompaundált alapanyag)

gyenetlenség, ami geometriai kialakításának ismeretében várható eredmény. Megfigyelhető, hogy a mérési eredmények szórása is ebben az esetben mutatkozott a legnagyobb, ami jelentős részben a fröccsöntési folyamat ismétlődiképességéből adódik. A gyári általános célú ARBURG csigacsúcs ettől kisebb színegyenetlenséget hozott létre, és a fröccsöntési ciklusok ismétlődiképessége is javult. A statikus keverőelemek is a várt eredményt mutatták, miszerint a színegyenetlenség átlagos értéke csökkent. Nem várt eredmény viszont a színegyenetlenségnek a nagyobb szórása, ami a fröccsöntési ciklusok ismétlődiképességének romlására utalhat. Ennek ellenőrzésére megvizsgáltuk a termékek tömegét statikus keverő alkalmazásával az egyes gyártási ciklusok során, ami a statikus keverő nélküli esethez képest fele akkora szórás mutatott. Mivel ez az eredmény a ciklusok stabilizálására utal statikus keverő alkalmazása esetében, a színegyenet-

lenségben okozott nagyobb szórások további vizsgálatokat igényelnek.

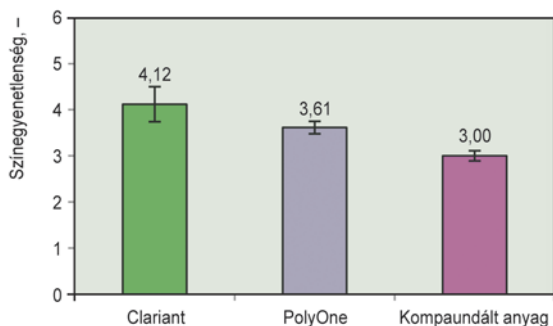
A jelenlegi mérések közül minden szempontból a legjobb eredményt a speciális dinamikus keverős csigacsúcs adta. Ezzel a keverőelemmel készült termékek szemmel láthatóan is lényegesen jobbak voltak a többiekénél, és a mérési eredmények szórása is itt volt a legkisebb, ami arra utalhat, hogy a fröccsöntési ciklusok ismétlőképessége javult ennek a keverőelemnek köszönhetően.

3.2. Különböző receptúrájú mesterkeverékek összehasonlítása

A különböző receptúrájú mesterkeverékek színhomogenitásra gyakorolt hatását két gyártó (CLARIANT és POLYONE) által készített mesterkeveréken vizsgáltuk. A próbatestek gyártása során a fröccsöntő gépünket az általános célú ARBURG csigacsúccsal szereltük fel. A 3. táblázat adatai tartalmazzák a számszerű mérési eredményeket, míg a mérési eredmények diagram formában a 10. ábrán láthatók. A mérési eredményekből látható, hogy a receptúra szignifikáns hatással van a késztermék színegyenetlenségére.

3. táblázat.
A színegyenetlenség mért értékei különböző mesterkeverékek esetén

Mesterkeverék	Átlagos színegyenetlenség érték	Szórás
Clariant	4,21	0,38
PolyOne	3,61	0,14
Kompaundált alapanyag	3,00	0,11



10. ábra. A színegyenetlenség mért értékei különböző mesterkeverékek esetén (Arburg csigacsúcs alkalmazásával)

Könnyen belátható az is, hogy a rosszabb keveredési tulajdonságú mesterkeverék legalább olyan jól elkeverhető megfelelő keverőelemek alkalmazásával, mint amilyen eredmény elérhető az általános kiépítésű fröccsöntő gépen a jobb keveredési tulajdonságú mesterkeverékekkel.

4. Összefoglalás

Elemeztük a fröccsöntött termékek színhomogenitását befolyásoló legfontosabb gyártási körülményeket, és részletesen tárgyaltuk az egyes keverőelem típusok alkalmazása esetén megfontolandó tényezőket. Megmutattuk, hogy az egyes keverő típusok színhomogenitásra gyakorolt hatása számszerűsíthető, így az alkalmazott keverő típus keveredésre gyakorolt hatása előre jelezhető. Rámutattunk továbbá arra, hogy a mesterkeverék receptúrája jelentős hatást gyakorol a késztermékek színhomogenitására, illetve nagymértékben befolyásolja azt, hogy milyen keverőteltjesítményt kell elérni az adott fröccsöntő géppel az elfogadható színhomogenitású termékek gyártásához.

A cikk a Bolyai János Kutatási Ösztöndíj támogatásával készült. A szerzők köszönetüket fejezik ki az Országos Tudományos Kutatási Alap (OTKA PD 105995) anyagi támogatásáért. A munka szakmai tartalma kapcsolódik a „Minőségorientált, összehangolt oktatási és K+F+I stratégia, valamint működési modell kidolgozása a Műegyetemen” című 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” című 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 fröccsöntő gépet, a PIOVAN HUNGARY KFT.-nek a temperálót és a kiegészítőket, valamint a LENZKES GMBH-nak a szerszám-felfogókat.

Irodalomjegyzék

- [1] Pásztor, M.: Automatikus eljárás színező mesterkeverékek előállítására, Műanyagipari szemle, 2010/6.
- [2] Osswald, T. A.; Turng, P. L-S.; Gramann: Injection molding handbook, Carl Hanser Verlag, Munich, 2008.
- [3] Dunai, A.; Macskási, L.: Műanyagok fröccsöntése, Lexica Kft., Budapest, 2003.
- [4] Zsíros, L.; Kovács, J., G.: Fröccsöntött termékek színegyenetlenségének mérése, Arad, 2013.
- [5] Rauwendaal: Extrusion Engineering Inc, New CRD barrier screw, 10556 Combie RD P. M. B., 6677 Auburn.
- [6] Meijer, H. E. H.; Singh, M. K.; Anderson, P. D.: On the performance of static mixers: A quantitative comparison, Progress in Polymer Science, 37, 1333–1349 (2011).
- [7] Gottlieb, S.; Ungvári, Gy.: Statikus keverőfej homogén ömledék előállításához fröccsöntésnél, Műanyag és Gumi, 44, 111–115 (2007).