

## Többfészkes fröccsszerszámok kiegyensúlyozási problémái

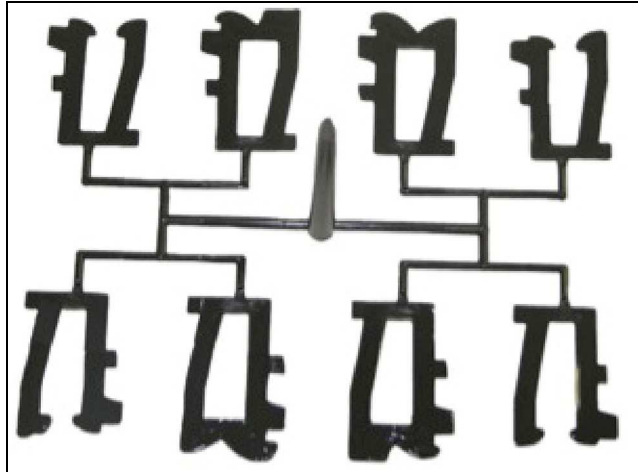
A többfészkes fröccsöntő szerszámok fészkeihez vezető elosztócsatornákat nem elegendő geometriailag kiegyensúlyozni, és még kevésbé kielégítő eredményt ad a folyási utak beszűkítésével elért látszólagos folyási egyensúly kialakítása. Hidegcsatornás szerszámoknál a Hagen-Poiseuille törvény alkalmazásán alapuló reológiai kiegyensúlyozás jelenti a megnyugtató megoldást. Forrócsatornás szerszámok esetén egyes fészkek lezárásával is lehetséges jó minőségű termékeket gyártani, ha a fészkeket megfelelő érzékelőkkel látják el és korszerű számítógépes szabályozó rendszert alkalmaznak.

*Tárgyszavak: műanyag-feldolgozás; fröccsöntés; többfészkes fröccsszerszám; hidegcsatornás szerszám; forrócsatornás szerszám.*

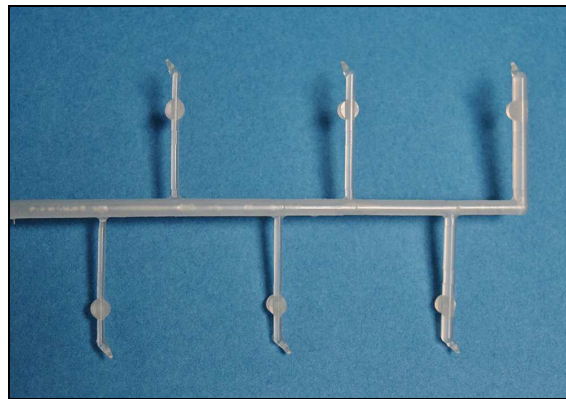
A kisebb termékeket általában többfészkes fröccsszerszámokkal állítják elő. Ahhoz, hogy az egyes fészkekben kialakított darabok egyforma méretűek és tulajdonságuk legyenek, a műanyagömledéknek azonos sebességgel kell feltöltenie a szerszám-fészkeket és azonos hőmérséklet- és nyomásviszonyoknak kell kialakulniuk, amit általában jól kiegyensúlyozott szerszámkiképzésnek neveznek. Az elterjedt gyakorlat szerint azonban a szerszám kiegyensúlyozása alatt csupán azt értik, hogy a szerszám egyes fészkei azonos időpontban telnek meg, ami egyrészt nem garantálja, hogy a különböző fészkekben gyártott termékek jellemzői (pl. méretei, mechanikai tulajdonságai) azonosak és a tűréshatáron belüliek lesznek, másrészt a feldolgozási paraméterek kis mértékű változásai is kibillenthetik a rendszert még ebből az (szerszámkitöltés szempontjából) egyensúlyi állapotból is (túl szűk technológiai ablak).

### Hidegcsatornás szerszámok kiegyensúlyozása

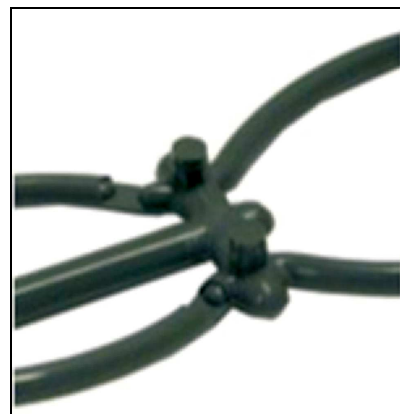
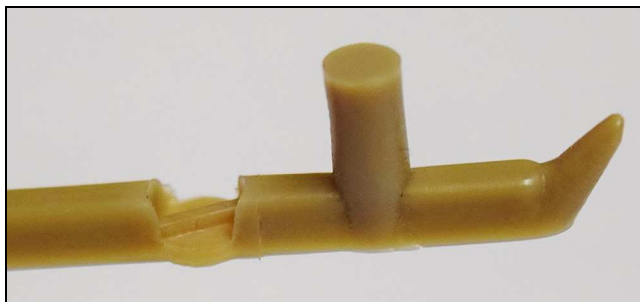
Az általánosan használt gyakorlat szerint a szerszámüregek egyidejű feltöltődését a hidegcsatornás szerszámokban vagy úgy próbálják elérni, hogy az egyes fészkekhez vezető elosztócsatornákat geometriailag azonosnak képzik ki (1. ábra), vagy pedig a beömlőcsonktól távolabbra eső fészkekhez vezető csatornákat (és/vagy gátakat) nagyobb keresztmetszetűre alakítják (2. ábra). Ha a szerszámpróba során nem sikerül valamennyi fészket – néhány százalék eltéréssel belül – egyidejűen feltölteni már vagy eredetileg beépített, vagy utólag kialakított megoldásokkal (3. ábra) igyekeznek a szerszámgyártó megoldani a problémát. Forrócsatornás szerszámokban általában az egyes fészkekhez vezető fúvókák hőmérsékletének változtatásával érik el az egyenletes feltöltődést (részletesen ld. később).



1. ábra. A geometriailag kiegyensúlyozott elosztócsatornájú többfészkés szerszám sem szavatolja a teljes szerszámkitöltést



2. ábra. Egy 12 fészkés szerszám létraszerűen kiképzett elosztócsatornáit a beömlőcsonttól (balra, az ábrán nem látszik) távolodva egyre nagyobb keresztmetszetűek



3. ábra. A kiegyensúlyozatlanság kompenzálására az elsőként, azaz túl hamar megtöltődő fészkekhez vezető elosztócsatornák keresztmetszetét csavarral állítható gátlótüskével (balra) vagy a behegesztett elosztócsatornák kisebb keresztmetszetűre marásával (jobbra) szűkítik le

Egy sokfészkés fröccsszerszám átvételekor a szerszámpróba egyik első követelménye az egyenletes feltöltődés, azaz a fészkek néhány százalékos eltéréssel bekövetkező egyidejű feltöltődése. Ezt úgy ellenőrzik, hogy ha például nyomásérzékelőt építenek be az egyik fészkekbe, akkor annak mondjuk 95–99%-os feltöltődésekor leállítják a folyamatot és megvizsgálják az egyes fészkek feltöltöttségét. A gyakorlatban ez azt jelenti, hogy ekkor kapcsolnak át a fröccsnyomásról az utónyomásra, vagyis a dugattyú elmozdulásos vezérléséről a nyomással szabályozott vezérlésre. Ez azonban nem garantálja azt, hogy az egyes fészkekbe ugyanolyan hőmérsékletű, nyomású, sebességű és mennyiségű műanyagömladék kerül be. Ráadásul jelentős hatású az is, hogy melyik fészkekben helyezik el a nyomásmérőt, illetve hogyan befolyásolják a termékek tulajdonságait a ciklusonként eltérő ingadozások. Vagyis ahhoz, hogy valamennyi fészkekben azonos tulajdonságokkal rendelkező terméket gyártsanak, nem elegendő az, hogy a szerszámpróba során az egyes fészkeket sikerült egyidejűen feltölteni. Még a geometriailag kiegyensúlyozott beömlőrendszerben is általában eltérő az egyes fészkek és csatornák hőmérséklete, amely eltérő áramlási, feltöltési viszonyokat eredményezve eltérő terméktulajdonságokat hoz létre.

Ha szimulálják a szerszámkitöltést megfelelő számítógépes programokkal, még a geometriailag kiegyensúlyozott szerszámkiképzés (ld. 1. ábra) esetében is azt tapasztalják, hogy a szerszám középpontjához közelebb eső fészkek hőmérséklete 40 °C-kal magasabb, mint a szélsőké, ráadásul még egy fészken belül is szignifikánsan eltérő hőmérsékletűek annak egyes részei. Ezért a középponttól távolabbi fészkek kissé lassabban telnek meg, és az utónyomásra történő átkapcsolás után kisebb lesz bennük az anyag tömörítését eredményező nyomás is. Mindezek hatására végül kevesebb anyag jut a fészkekbe és kisebb nyomáson tömörödik, mint a középponthoz közelebb esőkben, és ezáltal a fröccsdarab térfogati zsugorodása is eltérő lesz, ami eltérő méreteket, maradó feszültségeket, vetemedési hajlamot és mechanikai jellemzőket eredményez. A geometriailag nem kiegyensúlyozott, vagyis az elosztócsatornák és/vagy a gátak keresztmetszetének változtatásával „kiegyensúlyozott” szerszámkiképzés esetében még nagyobb eltérések mutatkoztak a szimuláció során. Ezért egyik megoldás sem képes kezelni az ömladékot érő nyíróerők által létrehozott hőmérséklet- és viszkozitásváltozásokat, amelyek az elosztócsatornáknak fellépnek, és amelyek jelentős hatással vannak a termékek minőségére.

A megoldást szimulációs próbák szerint is az jelenti, hogy az egyes szerszámfészkekbe jutó műanyagömladék áramlását reológiaileg egyensúlyozzák ki a Hagen-Poiseuille törvény

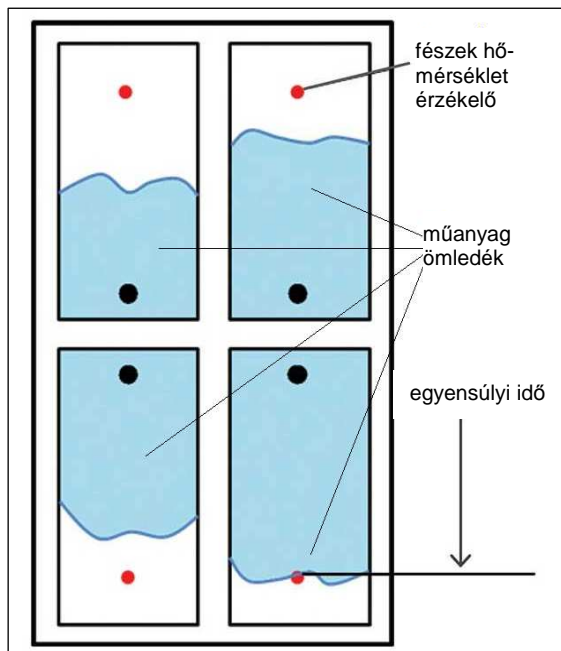
$$\Delta P = \frac{8Ql\eta}{\pi r^4}$$

alkalmazásával, amely az adott csatornán a  $\Delta P$  nyomáscsökkenést a  $Q$  térfogati áramlási sebesség, az  $l$  folyási hossz, a (kör keresztmetszetű) csatorna  $r$  sugara és a  $\eta$  dinamikus viszkozitás függvényeként fejezi ki.

## Forrócsatornás szerszámok egyensúlyi problémái

Az egyenletes terméktulajdonságok biztosításához a többfészkés forrócsatornás szerszámokban is nagyon fontos a fészek kiegyensúlyozottsága. Itt azonban a szerszám kialakítása mellett plusz lehetőségként adódik, hogy az egyes szerszámfészek fűvókáinak hőmérsékletét egyenként lehet a reológiai szempontból szükséges értékre állítani.

Ugyanakkor előfordul, hogy egy vagy több szerszámfészket le kell zárni, és a termelést a termék minőségének minél kisebb veszélyeztetése nélkül, ilyen körülmények között is folytatni kell, hogy a szállítási határidőt tartani tudják. Természetesen, amint van rá mód, a problémás fészket a szerszámműhelyben rendbe kell hozni.



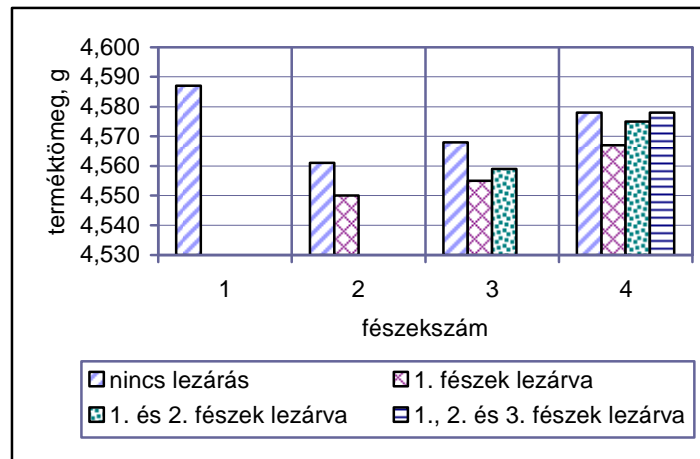
4. ábra. Az automatikus forrócsatornás érzékelőrendszer minden fészekben méri az ún. egyensúlyi időt, ami ahhoz szükséges, hogy a műanyagömledék elérje a fészek végéhez közel elhelyezett hőmérséklet-érzékelőt, és ennek függvényében változtatja a fészek fűvókájának hőmérsékletét

ömledékre ható nyírósebességbeli eltéréseket. E módszer hatásosságát az 5. és 6. ábra szemlélteti, mégpedig olyan extrém esetekre, ahol egy négyfészkés szerszám 1, majd 2, végül 3 fészket zárják le.

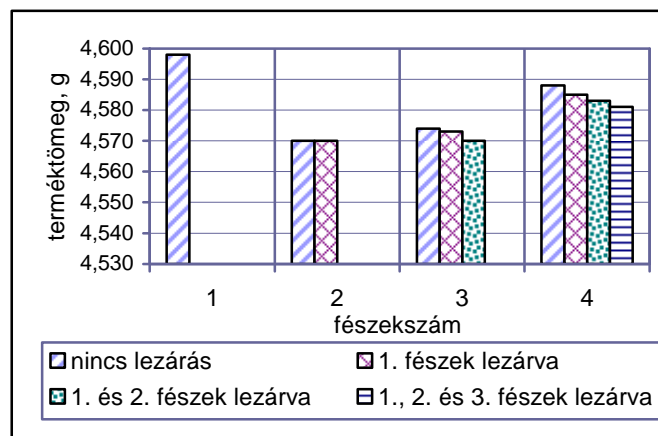
Természetesen egy vagy több fészek lezárásakor az adagtömeget is csökkenteni, illetve a fröccsnyomásról az utónyomásra történő átkapcsolási pontot változtatni kell. Ilyenkor gyakran előfordul, hogy a gépkezelő megbecsüli a szükséges változtatás mér-

Egy fészek lezárását több ok is indokolhatja, mint pl. a fészek felületének megkarcolódása, egy kidobótüske sérülése, a beömlőcsatorna vagy a gát eltömődése stb. Ilyen esetben a fröccsgép kezelője (miután a kidobótüskét kiiktatta), egyszerűen lekapcsolja az adott fészek forrócsatornás fűvókájának fűtését, és a megdermedő műanyag lezárja a fészket. A többi fészeknél a fűvókák hőmérsékletét úgy kell módosítani, hogy azok hatása reológiai szempontból kompenzálja a szerszám egyensúlyát. Ezt kézi módszerek helyett egy megfelelő számítógépes szabályzó programmal (pl. Priamus FillControl) lehet hatásosan elvégezni. Ennek előfeltétele, hogy a szerszámfészek mindegyike a fészeknek a gáttól minél tovább eső pontján elhelyezett hőmérséklet-érzékelővel legyen ellátva (4. ábra), amely jelzi, amikor az ömledékfront eléri azt. Ha egy fészeknél ez a többihez és/vagy egy előre beállított értékhez képest lassabban következik be, akkor a program megemeli az adott fűvóka hőmérsékletét, ha pedig túl korán, akkor csökkenti. Ezáltal kompenzálja az

tékét, és ha a szerszámkitöltés megfelelő és a sorjaképződés sem nőtt meg, folytatja a gyártást. Ez azonban veszélyes eljárás, mert semmi sem szavatolja a termék minőségének változatlanóságát. A helyes megoldás a számítógépes szabályozóprogram alkalmazása a hőmérséklet-érzékelők jeladását felhasználva. Általában akkor érdemes utónyomásra átkapcsolni, amikor az érzékelők szerint a fészkek mintegy 97%-ban megtelek. A gyakorlatban a hőmérséklet-érzékelőket nem helyezhetik el a fészkek bármely pontján, mert útban lehetnek a kidobótüskék, a hűtőcsatornák vagy más, hasonló problémák adódhatnak. A program azonban lehetőséget ad a jel megfelelő késleltetésére, és így az átkapcsolás ideje milliszekundumos felbontással állítható be.



5. ábra. Nyírősebesség-szabályozás nélküli állapot: a fészeklezárás hatása kisebb, mint a fészkek közötti eltérés



6. ábra Nyírősebesség-szabályozás alkalmazásával kapott állapot: a fészkek közötti eltérés és különösen a fészeklezárások hatása jelentősen csökken

A termék minőségének állandó értéken tartásához a legfontosabb, hogy a műanyagömlédekre ható nyírósebesség minden fröccsciklus során ugyanolyan maradjon. Ugyanis, ha a nyírósebesség nő, akkor például az üvegszálak műanyagokban lévő üvegszálak nagyobb mértékben orientálódnak, és ez a következésképpen nagyobb anizotrópiát mutató zsugorodás miatt megváltoztatja a termék méreteit. A nagyobb nyírási sebesség azt is jelenti, hogy a gyorsabban mozgó ömlékfront következtében kevésbé lehűlt anyag éri el a szerszámfalat, és ezért fényesebb lesz a termék felülete.

A fröccsöntési folyamatok közben tartásához az is szükséges, hogy a fészkekbe nyomásérzékelőt is helyezzenek el. Ennek pozíciója általában a gát közelében van, segítségével mérhetik a nyírófeszültséget és ez által a fészkekben észlelhető ömlékvizkozitás értékét is. Azonban az (olcsóbb) második érzékelő, a korábban már említett hőmérséklet-érzékelő jele a meghatározó a nyírósebesség szempontjából. A mért és az előre beállított érték eltérése esetén a számítógépes program automatikusan korrigálja a fröccssebességet, és ezáltal szabályozza az ömlék nyírási sebességét és ezen keresztül a termék minőségét (ld. az 5. és 6. ábra összehasonlítását).

Bizonyos termékeknél, mint amilyenek az optikai alkatrészek, fontos minőségi tényező a fészkekben fellépő maximális nyomás értéke is, mivel ez hatással van a polimer összenyomódására és következésképpen annak optikai jellemzőire is. Ezért a megfelelő számítógépes szabályozórendszernek képesnek kell lennie az utónyomás maximális szerszámüreg-nyomásra végzett beállítására is.

Összeállította: Dr. Füzes László

Beaumont J.: The fallacies of mold fill balance = *Plastics Engineering*, 73. k. 1. sz. 2017. p.50–53.

Fenner M.: Block cavities and keep molding = [www.ptonline.com/articles/block-cavities-and-keep-molding](http://www.ptonline.com/articles/block-cavities-and-keep-molding), május, 2017.