

A polimer tulajdonságainak hatása a fröccsöntés eredményére

Az elektronikai termékek miniaturizálását követniük kell a hőre lágyuló műanyagokból készülő fröccstermékeknek is. A vékony falú, apró alkatrészek gyártásánál az ömledék összenyomhatósága döntő szerepet játszhat. A részben kristályos polimerek megolvasztásához több energia kell, mint az amorfokéhoz. A részben kristályos polimerek esetében gyakran nem sikerül minden granulátumot teljesen megolvasztani, és ezek zárványként megjelenhetnek a termékben, illetve károsíthatják a csiga felületét is.

Tárgyszavak: műanyag- feldolgozás; vékony falú termékek; fröccsöntés; PA; PP; LCP; műanyagömledék; különböző szerkezetű polimerek

Az elektronikai termékek méreteinek csökkenésével az e területen használt műanyag alkatrészek is egyre kisebbek és vékonyabb falúak lesznek. Az ilyen termékek fröccsöntésénél korábban elhanyagolható ömledéktulajdonságok fontos szerepet játszanak.

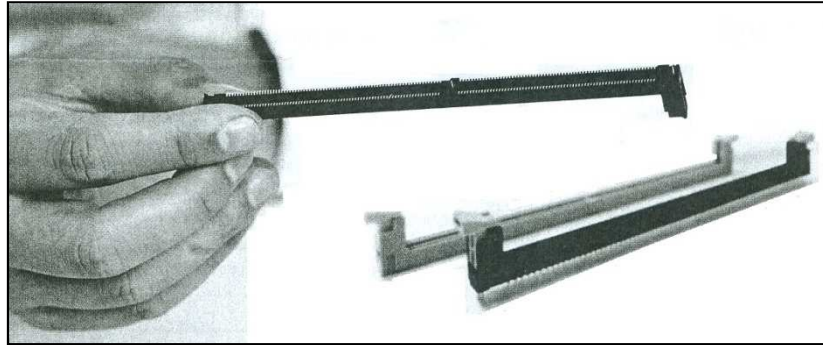
Vékony falú, kis termékek fröccsöntése

Mint ismeretes, a polimerek ömledéke nagy nyomások hatására összenyomható. Ennek hatása a nagyobb, viszonylag vastag falú termékek fröccsöntésekor általában elhanyagolható, illetve segít kiegyenlíteni a hőtágulásból és halmazállapot-változásból eredő zsugorodás hatását. A vékony falú, kis alkatrészek gyártásakor azonban hatása rendkívül erősen jelentkezik, döntően befolyásolhatja a termék és a szerszám kialakítását, illetve a fröccsöntési paraméterek, sőt a fröccsöntő gép kiválasztását is.

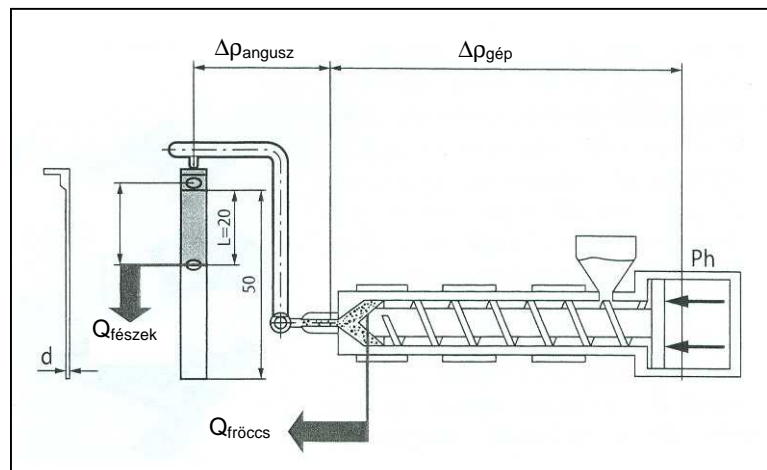
Az elektronikai termékek alkatrészei egyre kisebbek és ennek megfelelően egyre vékonyabb falúak lesznek, ami egyre nagyobb kihívásokat jelent a gyártásuknál alkalmazott műanyagokkal szemben. Ugyanakkor feldolgozásuknál egyre fontosabbá válik a műanyagömledékek tulajdonságainak alapos ismerete is. E téren különösen jelentős lehet az ömledék összenyomhatóságának szerepe, ami vékony falú termékek-nél döntő hatást gyakorolhat a szerszámüregben tapasztalható áramlási sebességekre.

A különböző elektronikai termékek csatlakozóihoz használatos hőre lágyuló műanyagoknak számos követelménynek kell megfelelniük, mint amilyen a jó folyóképesség, a nagy mechanikai szilárdság, a nagy hőállóság – hogy elviseljék az ólommentes

visszáramlásos forrasztás hőterhelését –, a jó éghetőségi jellemzők (UL94 V-0 fokozat 0,2 mm falvastagságnál is, jó ellenállás az izzóhuzalos vizsgálatnál), az érintkező lábak biztonságos megtartása és a jó színezhetőség (1. ábra). Az elmúlt évek tapasztalatai alapján megállapítható volt, hogy az ilyen műanyag alkatrészek falvastagsága évente átlagosan 12%-kal csökken. Jelenleg gyakran már csak 0,15 mm falvastagságú alkatrészeket kell gyártani, ahol a műanyagömladék összenyomhatósága már kritikus hatásokat okoz.



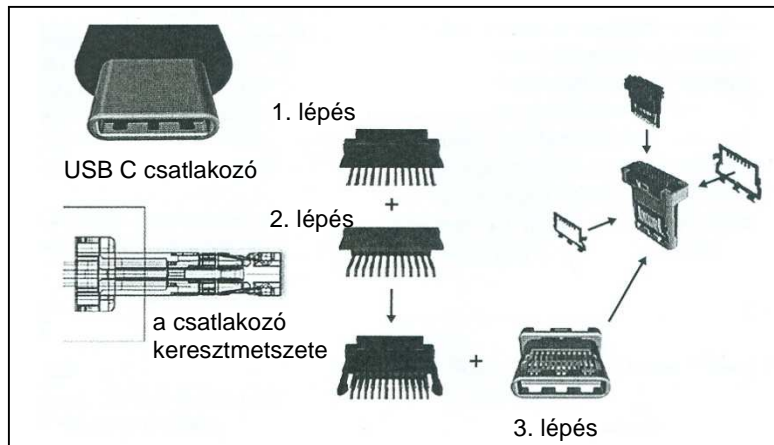
1. ábra Fröccsöntött csatlakozók, halogénmentes, csökkentett éghetőségű Stanil ForTii PA4T poliamidból



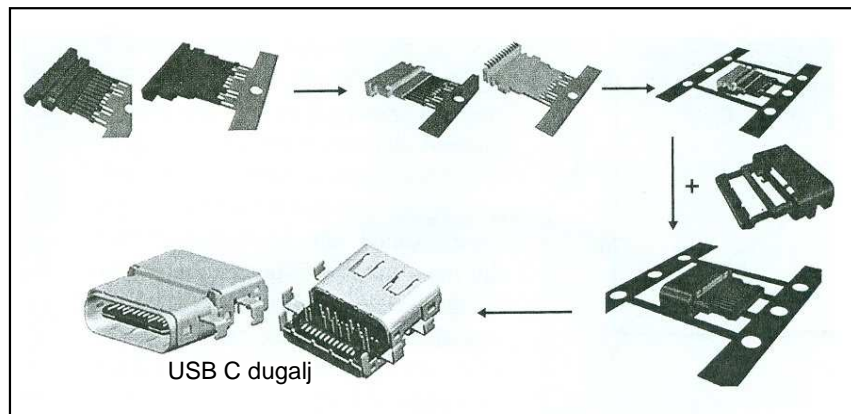
2. ábra A vékony falú kis termékek fröccsöntésekor fellépő nyomáskülönbségek (Δp) és ömladékáramlási sebességek (Q) vázlatos megjelenítése, ahol „d” a falvastagság „L” a folyási út és „Ph” a hidraulikanyomás

A szakirodalomban csak nagyon kevés információt vagy számítási módszert lehet találni a kis alkatrészek fröccsöntésénél fellépő ömladék összenyomódásáról, noha az jelentős hatású (2. ábra). Az újabb, USB C csatlakozó például nagyon kompakt formátumú, és érintkezőinek sáv szélessége 0,5 mm (szemben az USB A típus 2 mm-es méreteivel), a köztük lévő szigetelés falvastagsága pedig csak 0,12 mm (1,84 mm he-

lyett). A gyártás nehézségeit sejteti a csatlakozó és a befogadására szolgáló dugalj gyártási folyamatának vázlata (3. és 4. ábra).



3. ábra Egy USB C típusú csatlakozó előállításának vázlata



4. ábra Egy USB C típusú dugalj előállításának vázlata

Az ilyen fröccsöntési folyamat esetében fontos megérteni az ömledék összenyomódásának hatásait. Ennek tanulmányozására a holland DSM cégnél egy vékony falú próbatestszerszámot készítettek, amelybe a beömléshez közel és a próbatest hosszának felénél egy-egy piezoelektromos nyomásmérőt építettek be, hogy a szerszámba belépő ömledék előrehaladását követhessék. A fröccsöntéshez egy 180 kN záróerejű, 15 mm csigaátmérőjű kis hidraulikus fröccsgépet használtak. A befröccsöntési sebesség 20–40 cm³/s között váltakozott különböző alapanyagok, elsősorban polipropilén (PP) és különböző poliamidok (PA) felhasználásával.

A vizsgálatok meglepő eredményeket hoztak. Így például egy erősítetlen, alacsony viszkozitású PP befröccsöntési sebessége 40 cm³/s volt, de ez a szerszámban csupán 2 cm³/s áramlási sebességet hozott létre. Az ezt követő vizsgálatok kimutatták, hogy amikor vékony falú csatlakozókat csökkentett éghetőségű PA6-ból egy 32 fészes szerszámban sorozatban gyártottak, a normál üzemi viszonyok között a befröccs-

öntési sebesség és szerszámkitöltés áramlási sebessége 5:1 arányban tért el egymástól, miközben a gép az előírt fröccsnyomás értékeken belül dolgozott.

Az ömledék-összenyomódás matematikai leírására egy modellt készítettek, amelynek helyességét a DSM a nagy teljesítményű műszaki műanyagok közé tartozó *Stanyl PA46*-tal végzett mérésekkel igazolt. A hagyományos termékeknél az ömledék-összenyomódás hatásainak mérséklésére többféle lehetőség kínálkozik. Csökkenteni lehet például az összenyomhatóságot összenyomhatatlan töltőanyagok bekeverésével, de ez mind az ömledék áramlási, mind pedig a késztermék jellemzőit befolyásolni fogja. Egy másik megoldás lehet egy kisebb viszkozitású típus alkalmazása, de ez általában gyengébb mechanikai szilárdságot eredményez.

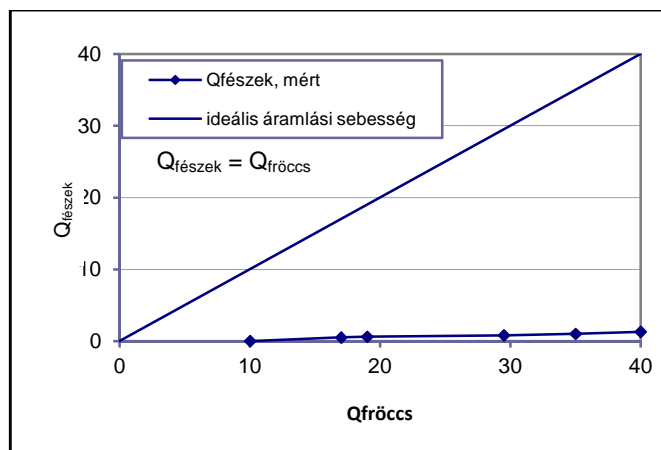
$$Q_{\text{Fészek}} = Q_{\text{Fröccs}} - \underbrace{\left(V_{\text{Henger}} + V_{\text{Fúvóka}} + V_{\text{Elosztó}} + V_{\text{Angusz}} \right) \left(K \frac{dp}{dt} \right)}_{\substack{\text{Az összenyomódás okozta áramlási sebesség veszteség} \\ 37,5 \text{ cm}^3/\text{s}}} - Q_{\text{Szivárgás}}$$

$(2 \text{ cm}^3/\text{s}) \quad (40 \text{ cm}^3/\text{s}) \quad (0,5 \text{ cm}^3/\text{s})$

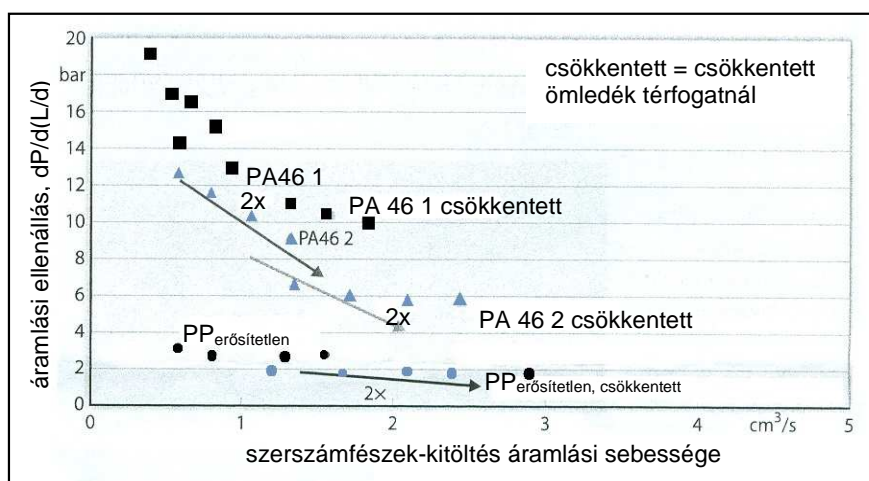
5. ábra Leegyszerűsített számítási modell az ömledék összenyomhatósága által okozott áramlási sebesség csökkenésére, ahol V_{henger} az anyagpárnát, V_{Angusz} pedig a beömlőcsonk vagy a forrócsatorna-rendszer térfogatát jelöli

Nagyobb sikerrel kecsegtet, ha a fröccsgépben, illetve a szerszám elosztócsatornáiban vagy forrócsatorna rendszerében csökkentik a műanyagömledék mennyiségét, illetve növelik az egyidejűleg kitöltődő szerszámfészek számát. Az első lépés a csigacsúcs és a fúvóka között a csigadugattyú végállásánál megmaradó anyagpárna térfogatának minimalizálása. Ezt elősegíti, ha minél kisebb csigaátmérőjű fröccsgépet használnak. Igyekezni kell a fúvóka és a szerszámon belüli elosztócsatornák térfogatát is minél kisebbre méretezni. A befolyásoló tényezők hatása egy viszonylag egyszerű képlettel írható le (5. ábra). A korábbiakban leírt körülmények között elvégzett elrendezés szerinti kísérleti eredmények jól mutatják, hogyan csökken le a fészek belsejében mérhető áramlási sebesség a fröccssebességhez viszonyítva (6. ábra). Ha a 0,2 mm falvastagságú próbatestszerszámban az elosztó csatornák térfogatának csökkentésével 25%-kal lecsökkentik a fröccsöntési ciklusban részt vevő ömledék mennyiségét, az ömledék összenyomhatóságából eredő hatások is csökkennek, kisebb lesz az áramlással szembeni ellenállás, és nő a szerszámfészek kitöltési sebessége (7. ábra).

A folyási jellemzőkre annak is jelentős hatása van, hogy hidraulikus vagy elektromos (szervomotoros) meghajtású fröccsöntő gépet használnak. Az elektromos meghajtású gépek jóval dinamikusabban mozgatják befröccsöntéskor a csigát. A DSM-nél több gyártó hidraulikus és elektromos fröccsgépeit összehasonlítva megállapították, hogy egy 40% üvegszál-erősítésű, égésgátló adalékot is tartalmazó PA 46 alapanyagból gyártott vékony falú próbatestnél az elektromos meghajtás mintegy háromszor nagyobb fészekkitöltési sebességet eredményezett.



6. ábra A polipropilénömladék összenyomhatóságának hatása egy vékony falú egyfészes próbatest szerszámban. A 45 fokos átló az ideális, összenyomhatatlan ömlékre vonatkozik



7. ábra Az ömléktérfogat 25%-os csökkentése nagyobb kitöltési sebességet és kisebb áramlási ellenállást eredményez az eredeti értékekhez képest

A vékony falú elektronikai alkatrészek fröccsöntésekor az ömladék összenyomhatósága mellett más áramlástani jellemzőket is figyelembe kell venni. Ilyen igény a csekély ömladékviszkozitás, amellyel a *Stanil HF* termékcsalád (HF: jól folyó) is rendelkezik. A folyásjavító adalékok bekeverése általában rontja a mechanikai szilárdságot és csökkenti a hőállóságot is. A halogénmentes, kis falvastagságok mellett is csökkentett éghetőség (UL94 szerinti V-0 fokozat) szintén fontos követelmény, amelyet a *Stanil ForTii PA4T* jól kielégít. A hagyományos poliamidok is megbízhatóan elérhetik halogénmentes adalékokkal a V-0 fokozatot, azonban ez általában a folyóképesség romlásával jár, és csökken az anyag kúszóáram-szilárdsága is. Több gyártó PA 46 alapanyaga és a DSM cég PA 4T típusa is eléri a nullás osztályú kúszóáram-

szilárdsági besorolást (CTI >600 V), ami jobb, mint a legtöbb e téren versenytárs polimeré, pl. a folyadékkristályos polimereké (ált. < 400 V, azaz 2. osztályú). Hőállóságuk is megfelelő az igényes forrasztási eljárásokhoz és alkalmasak az ultrahangos hegesztéshez is. A sokféle színben kapható PA 46 típusok megfelelnek a csatlakozóknál megkövetelt 10 000-szeres dugaszolási próbáknak is.

A részben kristályos és az amorf műanyagok fröccsöntése

A részben kristályos műanyagok polimerláncainak egy része kristályos szerkezetben, azaz egymáshoz nagyon közel, rendezett állapotban helyezkednek el, míg a többi láncrész véletlenszerűen, összegabalyodott fonalakként, vagyis amorf módon.

Ha egy amorf polimert felmelegítenek, az a hőmérséklet emelkedésével egyre lágyabb lesz, míg az olvadási hőmérséklet elérése után viszkózus folyadékká alakul. A részben kristályos polimerek a melegítés hatására sokáig nagyrészt megőrzik keménységüket és csak a kristályok elolvadásához szükséges plusz energia felvételét követően mennek át a folyadékfázisba. Ezért *a részben kristályos polimerek megolvasztásához lényegesen több energia szükséges, mint az amorfokéhoz.* Így például a poliamid 6-hoz több mint kétszer annyi (180 kcal/kg), mint az ABS-hez (86 kcal/kg).

Mindez azt jelenti, hogy amikor a feldolgozási folyamatban már sikerült az olvadáspont (helyesen: olvadási hőmérséklet-tartomány) értékére felmelegíteni a műanyagot, a részlegesen kristályos polimerekbe még további jelentős mennyiségű energiát kell bevinni a kristályok megolvasztásához, vagyis ez a folyamat mintegy energiagátként működik.

A fröccsöntő gépben a csiga behúzó zónájának menetei mélyek, feladatuk az etetőtölcsérből bejutó granulátum előre mozgatása az adagoló/olvasztó zóna felé. Az etetőzónában az anyag többé-kevésbé felmelegedhet, de nem olvadhat meg. Itt távozhat az etetőnyíláson át a levegő és az illékony anyagok egy része is, vagyis ez a szakasz egyúttal egy szellőzőnyílás szerepét is betölti.

A csiga kompressziós/olvasztó zónájának menetmélysége már jóval kisebb, ezért itt a granulátumszemcsék erőteljesen összenyomódnak és egymáshoz, illetve a csigahenger falához súrlódnak. A falhoz súrlódás okozza az anyag felmelegítésének döntő hányadát. Egy átlagos fröccsöntő gépben a műanyag megömlesztését 80%-ban a mechanikai mozgatás súrlódási energiájából keletkező hő végzi, és csak a hőenergia 20%-a származik a csigahengert körülvevő elektromos fűtőszalagokból. A gondot az okozhatja, hogy nem minden egyes granulátumszemcse találkozik előrehaladása során e zónában a henger falával, ezért egyes granulátumszemcsék nem olvadnak meg teljesen. Az ilyen szemcsék azután zárványként megjelenhetnek a fröccstermékben, illetve koptathatják a csiga anyagát.

A folyékony színezékek alkalmazása tovább növelheti a problémát, mivel ezek a színezékek gyakran olajos hordozót tartalmaznak, ami kenőanyagként csökkenti a granulátum súrlódását a csigahenger falához, miáltal csökken az így keletkező hőenergia nagysága is.

Egy általános célú, 20:1 L/D viszonyú csiga kompressziós/olvasztó zónája általában csak 5 menetet tartalmaz. Ez viszont részben kristályos anyagok feldolgozásakor

már problémát jelent, ha a fröccstérfogat nagyobb, mint a maximális érték 40%-a, mivel az anyag nem fog elegendő hőenergiát felvenni. Ilyen esetekben gyakran az ún. barrier-csigák alkalmazását ajánlják, de ezek az anyag beégését, és így a terméken fekete pontok megjelenését okozhatják. *A helyes megoldást az alapanyagának megfelelő csigakiképzés jelenti.* Általános célú csiga alkalmazásakor akkor is problémák merülhetnek fel a részben kristályos polimereknél, ha az adagsúly a maximális érték 20%-ánál kisebb. A tapasztalatok szerint a nagyobb, 24:1 L/D arány alkalmazása általában pozitív hatású.

Összeállította: Dr. Füzes László

Duis P., Bin Y., Haagh G.: Minimale Schmelzmengen im Griff = Kunststoffe, 106. k. 1. sz. 2016. p. 32–35.

Bozzelli J.: Injection molding: Melting amorphous vs. semi-crystalline plastics = www.pt-online.com, jan. 23. 2018.