

## Mikrofröccsöntés: feldolgozóberendezések és szerszámok

A néhány gramm tömegű termékek fröccsöntése más gépeket és szerszámokat igényel, mint a szokásos makroméretű tárgyak gyártása. A mikroalkatrészeket általában nagy sorozatban gyártják és a méretpontosságra vonatkozóan nagyon szigorúak a követelmények. Két cikkben (az egyik az interneten olvasható) foglaljuk össze a mikrofröccsöntés legfontosabb gyakorlati tudnivalóit.

*Tárgyszavak: mikrofröccsöntés; többfészkés fröccsszerszám; fröccsgép; fröccsparaméterek; műszaki műanyagok; fröccsgépgyártók.*

### A mikrofröccsöntés feltételei

Vannak az iparnak olyan területei az orvostechikában, az elektronikában, a szenzorikában vagy a mikromechanikában, ahol igen nagy mennyiségben (100 millió vagy annál is nagyobb számban) van szükség precíz mikroalkatrészek előállítására. *Néhány milligrammos fröccsdarabokat* akkor lehet nagy sorozatban készíteni, ha rövid tartózkodási idővel és kis nyírási igénybevétellel tudják feldolgozni az anyagokat. Ami a fröccsoldali követelményeket illeti, a feltételek világosak: az előkészített ömledéknek termikusan és mechanikailag homogénnek kell lennie, a hengerhőmérsékletet pontosan kell tudni szabályozni és a plasztikálást reprodukálhatóan kell elvégezni. Kívánatos, hogy a feldolgozáshoz ne csak speciális mikroméretű granulátumokat lehessen használni, hanem a piacon elérhető műszaki műanyagok széles körét. Kis tömegű termékek esetében azonban nehéz elérni a rövid tartózkodási időt, és a kis térfogat miatt nagyon kicsi a csiga elmozdulása is.

### Többfészkés mikrofröccsöntés

Nagy sorozatoknál természetesen előtérbe kerülnek a *többfészkés szerszámok*. Ha a termék tömege mindössze néhány milligramm, igen nagy igények lépnek fel a forrócsatornás rendszerrel szemben. A szerszámtérfogat alig több, mint az ömledékcsatorna térfogatának ezredrésze, különösen, ha 16-, 24-, 32- (vagy még több) fészkés szerszámról van szó. A fő problémát a tartózkodási idő jelenti, hogy mennyi időt tölt el az ömledék a fröccsgép plasztikáló részében és az elosztócsatornában, mire a szerszámüregbe kerül – ugyanis minél több az elosztócsatorna, annál hosszabb ez az idő, ami a műanyag degradációjához vezethet. A sok üreg alkalmazása azonban szükségszerű, mert enélkül nem érhető el a megkívánt nagy darabszám.

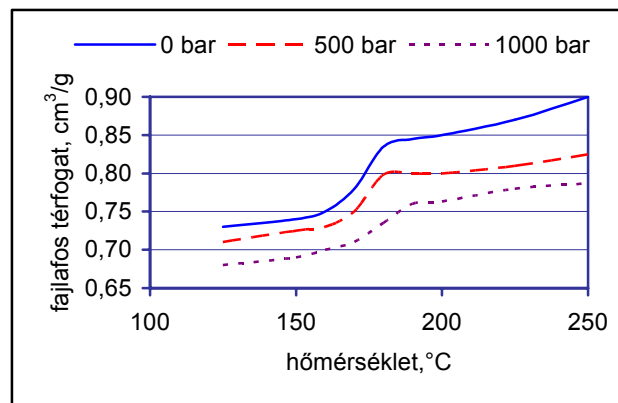
## *Döntés a fészekszámról*

A fröccsöntő számára úgy merül fel a kérdés, hogy pl. egy évi 150 millió darabos gyártásnál egy 32-fészkes szerszámot és egy gépet válasszon, vagy inkább nyolc 4-fészkes szerszámmal dolgozzon nyolc gépen. 6 s-os ciklusidővel és 90%-os kihasználtsággal számolva mindkét esetben kijön a megkívánt darabszám. A két megoldás mégis egészen más filozófiát feltételez. Más a tőkeszükséglet, az amortizáció, a folyamatirányítás és a berendezések elhelyezése. A döntésnél az egyik legfontosabb tényező a forrócsatornás rendszer kialakíthatósága a sokfészkes szerszám esetében. A problémát célszerű a mérettartomány függvényében elemezni: a 0–10 mg, a 10–100 mg és a 100–1000 mg osztályra, mert ezek különböző kívánalmakat támasztanak a folyamatvezérléssel és a forrócsatornával szemben. A megvalósíthatósági tanulmány része a terméktervezés és a termék funkciójának megválasztása, a fröccsanyag feldolgozási jellemzőinek analízise, a szerszámkoncepció és a feldolgozási módszer, a termékeltávolítás és a minőség-ellenőrzés kialakítása. Az áramlási analízisben természetesen figyelembe kell venni a forrócsatornás rendszert is. Végül az elméleti modelleket össze kell hasonlítani a gyakorlati eredményekkel.

## **A csigaátmérő megválasztása**

Tekintettel arra, hogy a mikrotermékek vetített felülete kicsi, a szerszámfelnyitó erők elhanyagolhatók. *Lényegesebb a csigaátmérő megválasztása, amely nem lehet 12 mm-nél kisebb*, mert különben nem alakul ki a fröccsöntéshez szükséges 1500–2000 bar befröccsentési nyomás. Nagyobb nyomásoknál inkább a 14–15 mm-s csigaátmérő ajánlható. Ennek hátránya viszont az, hogy a befröccsentési profilnak kisebb lesz a felbontása a csigaelőtolás függvényében. A mikroalkatrészek befröccsentési ideje 1000 mm/s befröccsentési sebesség mellett nagyjából néhány tized másodperc. A vetített szerszámfelület rendszerint néhány négyzetmilliméter, és 100 mm<sup>2</sup>-t és 1000 bar ömledéknyomást feltételezve is csak 10 kN szerszámzáró erő szükséges. Ez azt jelenti, hogy 32 bélyeges szerszám esetében üregenként 10 mm<sup>2</sup>-vel számolva 32 kN szerszámzáró erőre van szükség. Figyelembe kell ugyanakkor venni, hogy a kis beömlések, a mikroüreg finom részletei és az igen finom filmzsanérok nagy fröccsnyomást igényelnek. Egy 12 mm-s átmérőjű csiga esetében, 10 mm-s csigautat feltételezve a befröccsentett térfogat tömege kb. 1000 mg. Felmerül a kérdés, hogy a néhány milligrammos termékeknél a nagyfelbontású vezérlőelektronika alkalmas-e a reprodukálható terméktömegek betartására. A gyakorlatban bebizonyosodott, hogy a felbontás elegendő erre a célra, és a legújabb, teljesen villamos fröccsgépek vezérlési pontossága kielégítő. Az ömledék adagolásánál azonban problémát jelent, hogy az ömledék sűrűsége (vagy úgynevezett fajlagos térfogata, ami a sűrűség reciproka) függ a befröccsöntési nyomástól és az ömledék-hőmérséklettől – ez a viszkoelasztikus jelleg velejárója (1. ábra). A műanyagtól és a feldolgozási hőmérséklettől, ill. nyomástól függően a beadagolt mennyiség 5–15%-kal ingadozhat. A csiga előre mozgásakor az ömledékrugalmasság veszi fel az energia nagy részét, és befröccsöntéskor ez hajtja

előre az ömledéket a szerszámüregekbe. A csigacsúcs és a szerszámnyílás közti ömledék energiatárolóként működik, a befröccsentéskor fellépő nyomásimpulzus csak erősen csillapítva jelenik meg a szerszámüregekben. Az utónyomási idő eltelte után az ömledéket a csigacsúcsnál és az ömledékcsatornában dekomprimálják. Ez a kompressziós-dekompressziós ciklus minden fröccsciklusban ismétlődik. A nyomásnövekedés mértéke függ attól is, hogy milyen arányban van egymáshoz képest az elosztócsatorna és a fészkek térfogata. Minél nagyobb az elosztócsatorna és a beömlőfurat, annál erősebben változik a térfogat az ömledékkompresszió során. Minél nagyobb az elosztó és minél több fészek van, annál nehezebb pontosan ellenőrizni a mikrotermék tömegét. A tapasztalatok szerint azonban az ömledékkompresszió állandó és reprodukálható érték, tehát a gyártás során figyelembe vehető.



1. ábra A hőre lágyuló műanyag ömledék sűrűségének változása a befröccsentési nyomás és a hőmérséklet függvényében. Következmény: az adagolt mennyiség a nyomás és a hőmérséklet ingadozása miatt 5–15%-kal változik

## A tartózkodási idő pontos betartása

A mikrotermékek gyártásakor kritikus a tartózkodási idő, amelyet célszerű minél rövidebbre választani. Ezt azonban nehéz elérni, ha sok az elosztócsatorna és a szerszámüreg. A kritikus tartózkodási idő nem határozható meg teljes egyértelműséggel, és függ az aktuális ömledék-hőmérséklettől is. Ismert, hogy minden hőre lágyuló műanyagoknak véges „feldolgozási ablaka” van, amelynek felső határán lényegesen rövidebb lehet a kritikus tartózkodási idő, mint az alsó határ közelében. Egy 32-fészkes szerszám esetében az ömledéknek 5 elosztási szinten kell végigmennie, ahol egyre szűkebb csatornáknak halad az anyag a fészkek felé. A végén 3–4 mm átmérőjű csatornák vannak, de *az elosztórendszer térfogata így is nagy a végtermék térfogatához képest*. 100 mg-os mikrotermékeknel a tartózkodási idő kb. 1 perc, ami távol van a kritikustól, 10 mg-os termék és 32 szerszámfészkeknél azonban a tartózkodási idő már 10 perc, ami sok műanyagnál már kritikus lehet. Ha ehhez még esetleg egy átmeneti állásidő is hozzáadódik, az ömledék könnyen elbomolhat. Éppen ezért a paramétereket *részletes áramlási szimuláció felhasználásával* gondosan elő kell készíteni. Az áram-

lástechnikai számításokkal meghatározott néhány másodperces ciklusidőnél természetesen a valós ciklus valamivel hosszabb a szerszámon belüli minőségellenőrzési és termékkivételi műveletek miatt – és ezt is figyelembe kell venni a tervezésnél.

## **Pontos hőmérséklet-szabályozás**

A forrócsatornás elosztó és a kis fúvókák hőmérsékletének pontos vezérlése ugyancsak központi jelentőségű a mikrofröccsöntésben. Csak adaptív vezérlők és automatikus hőmérséklet-csökkentő mechanizmusok alkalmazhatók, különösen akkor, ha a ciklusokat hosszabb időre megszakítják. A homogén ömledék-hőmérséklet elérésének feltétele az elosztócsatorna konstans, izoterm melegítése. Mivel kis anyagtranszportról van szó, elenyésző a nyírásból származó melegedés. Az ömledék impulzusszerűen mozog a csatornában. Ha a szerszámkamrák előtt a kis fúvókákat fűtik, finoman szabályozható a belépő ömledék viszkozitása. Mind félig kristályos, mind amorf polimerek esetében megvalósítható 10 mg-nál kisebb termékek fröccsöntése is közvetlen forrócsatorna-csatlakozással. A mikrofröccsöntés hidegcsatornás részletek nélkül is megoldható még az olyan nagyobb viszkozitású anyagoknál is, mint a polikarbonát vagy a poliszulfon.

## **Közvetlen, egyenként végzett befröccsentés kompakt kisméretű fúvókákkal**

A többfészkes mikrofröccsöntésnél is léteznek különböző szerszám- és gyártási elvek. Vannak például kör alakban elhelyezett fészkek több kimenetű fúvókákkal, de időnként oldalirányú csúszkára van szükség a termék eltávolításához. Ilyekor jöhetnek segítségül a kompakt, kisméretű fúvókák, amelyek közvetlen, egyenkénti befröccsentést tesznek lehetővé. Egy 70 mg-os orvostechnikai alkatrészt például polikarbonátból készítenek 2x16 fészkekben (kétsoros elrendezésben), amelyben oldalirányú csúszkát is használnak, és az ömledéknyomás 2200 bar. 0,6 mm-s pontbeömlést alkalmaznak a szerszám homlokoldalán 0,6 mm-s süllyesztéssel. A csatornák teljes térfogata eléri a 70 000 mm<sup>3</sup>-t, és 200 bar nyomás mellett az ömledék rugalmas térfogatváltozása 7000 mm<sup>3</sup> nagyságrendű, ami kb. 100 termék térfogatának (vagyis kb. három ciklusban előállított összes termék térfogatának) felel meg. Ez nagyon soknak tűnik, de szerencsére az ömledék viszkoelasztikus jellemzői igen jól reprodukálhatók – feltéve, hogy a fröccsciklus paraméterei pontosan ismétlődnek. A csigaelőmozdulás kb. 75%-a fordítódik az ömledék összenyomására, és csak 25% az a térfogat, amely az üreget tölti ki. A komprimált ömledék rugalmas energiatárolóként működik még a szerszám kitöltése után is egészen addig, amíg az ömledék vissza nem húzódik a dekompresszió során. Ilyenkor az ömledék visszahúzódik a csiga előtti térbe.

Egy másik esetben 128 fészkes tübeömléses, forrócsatornás szerszámot dolgoztak ki 700 mg tömegű sztirol-butadién (SB) kopolimer termékek előállítására. Az elosztócsatornákat is beszámítva a teljes löket tömege 700 000 mg, az ömledék-kompresszió kb. 70 000 mg, durván 100 terméknek felel meg. Nyolc másodperces ciklusnál a tartózkodási idő a nem kritikus zónákban kb. 1 perc.

A forrócsatornás technológia még 10 mg alatti terméktömegnél is gazdaságosan lehetővé teszi a közvetlen befröccsentést. Egy többcsúcsú túbéömléssel egyszerre 6 üregbe lehet bejuttatni az ömledéket, így pl. egy X-elosztóval kombinálva 24 fészkes szerszám készíthető. A kompakt elrendezés csökkenti a tartózkodási időt, ami különösen a keskeny feldolgozási ablakkal rendelkező, érzékeny műszaki műanyagoknál (pl. POM, PC, PSU) fontos. *A mikrotermékek gyártásához különleges túszelepek szükségesek*, mert a hagyományos eszközök nem felelnek meg a minőségi követelményeknek. A pontosan működő finom túszelepek alkalmazásával elkerülhető a drága hidegcsatornás elosztók alkalmazása. A túszelepek milliszekundumos pontossággal zárnak, amire szükség is van ahhoz, hogy mindegyik mikroüreg egyenletesen és azonos nyomáson töltődjön fel.

Egy mikrofogaskerék 24-fészkes szerszámánál (átmérő 3 mm, terméktömeg 7 mg) a teljes ömledéktérfogat  $14\,000\text{ mm}^3$ , ami 2000-szeresen haladja meg egy termék térfogatát. 5 s-os ciklusidőt feltételezve 83 ciklusra van szükség, hogy az anyag eljusson a szerszámüregbe. Ez elég veszélyesnek hangzik, hiszen ez kb. 7 perces tartózkodási időnek felel meg, amihez még hozzá kell adni a plasztikálás idejét is. Sok műanyag számára azonban ez nem jelent problémát. Hozzá kell tenni, hogy itt nem számoltak hideg elosztócsatornával, ami ugyan csökkenti az anyag hőterhelését, de rontja a gyártás gazdaságosságát. *A hidegcsatorna alkalmazása szükségtelenül megnöveli a ciklusidőt, és megnehezíti a termék kivételét is a szerszámból, valamint utómegmunkálást kíván: a terméket és a csonkot el kell választani. Néha mégis ehhez a megoldáshoz kell folyamodni, amikor a közvetlen forrócsatornás befröccsöntés nem oldható meg.*

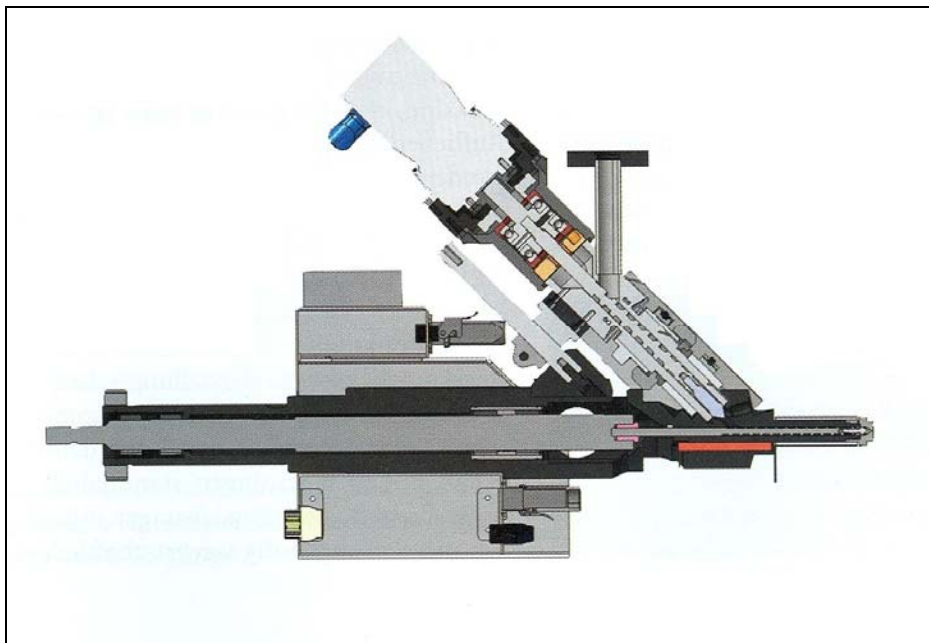
## Mikrofröccsgépgyártók

Több nagy cég is lát fantáziát a mikrofröccsgépek gyártásában, gyakran mégis egymástól teljesen eltérő megoldásokkal próbálják meg potenciális vevőik igényeit kielégíteni. Az **Arburg** például módosított standard gépeket kínál erre a célra, a **Wittmann-Battenfeld** viszont speciális fejlesztéseket indított a problémák megoldására.

2010 márciusában a saját üzemében rendezett nyílt napokon az Arburg egy 8 mm átmérőjű fröccsmodult mutatott be. E modul segítségével a hagyományos berendezéseket mikro- vagy hagyományos fröccsgépként is fel lehet használni. Az Arburg feltétele egy szervoelektromosan meghajtott 8 mm-s csigát tartalmaz egy visszaáramlást gátló szeleppel fröccsöntéshez és egy második, háromzónás előplasztikáló csigát majdnem hagyományos csigaprofillal (2. ábra). Ennek szerepe arra korlátozódik, hogy megömlessze és elszállítsa az anyagot a 8 mm-s csiga végső zónájához, amelynek kizárólag transzportfunkciója van. Ez a módszer lehetővé teszi, hogy hagyományos granulátumokból kiindulva akár extrém kis méretű tárgyakat is fröccsönteni lehessen – nincs szükség a drágán előállítható mikrogranulátumokra, amelyeket a 15 mm-nél kisebb átmérőjű csigák igényelnek. A szervoelektromosan meghajtott plasztikáló csiga 45°-os szöveget zár be a vízszintes befröccsöntő egységgel. A két csiga kombinációja kíméli a feldolgozott anyagot, és a második csiga finom mozgatásával a kis fröccsada-



gok is pontosan előállíthatók. Azzal, hogy a megömlesztett anyag mindig egy irányban mozog, a „*first in – first out*” (az először bejutó anyag jut ki először) rendszer valósul meg, vagyis nem nő meg szükségtelenül a tartózkodási idő és a hőigénybevétel. Az egyenletes ömledékadagolás érdekében az előplasztikáló és a befröccsentési szakasz határán a nyomást mérik és szabályozzák. A szabályozó szoftverbe beadnak egy kívánatos nyomásértéket és megszabják a csiga kerületi sebességét is. Ha nyomásingadozás lép fel, akkor a fordulatszám bizonyos határok közötti szabályozásával ez kompenzálható. Minden fröccsciklusban tehát homogén, frissen előállított ömledékadag áll rendelkezésre. Ezzel a berendezéssel egy standard, 35 tonnás, teljesen villamos, *Arburg Allrounder 270A Alldrive* gépen 1,58 mm-s átmérőjű, 1 mg tömegű fogaskerekeket lehet fröccsönteni 8-fézszes szerszámban. A terméket speciális pneumatikus befogórendszerrel távolítják el a szerszámból. A műszaki igazgató beszámol arról, hogy a mikrofröccsöntésben megszokott dugattyús megoldás helyett minőségi okokból döntöttek a csiga mellett. Az Arburg mérnökei attól tartottak ugyanis, hogy a dugattyús fröccsgépben maradékok lehetnek, amelyek pontszerű hibák (beégéseket) okozhatnak a termékben. A zárt, modulszerű egységek könnyen és gyorsan kicserélhetők, ami sokoldalúvá teszi a felhasznált fröccsöntő berendezést.



2. ábra Minden lökethez új adagolható ömledékmennyiség áll rendelkezésre, a rövid tartózkodási idő megakadályozza az alapanyag termikus károsodását

A Wittman Battenfeld cég 1998-ban dobta piacra első, *Micro System 50* nevű berendezését, most pedig *MicroPower 5* és *15* néven hozott ki újabb típusokat. Annak ellenére, hogy az új berendezéseket a régi felváltására tervezték, az alapvető megoldást, a dugattyús rendszert megtartották. Az új, 15 tonnás berendezés működését ők is

a cégnél tartott nyílt napon demonstrálták. Ennek során kétfészkés szerszámban 3,5 mg tömegű, 28 tűs dugaszolóaljzatot fröccsöntöttek 4,5 s ciklusidővel. A *MicroPower* rendszerben ugyanaz a 14 mm-s plasztikáló csiga és dugattyú található meg, mint a korábbi *MicroSystem 50*-ben. Ez a cég is azt állítja, hogy *képes normál méretű granulátumokat feldolgozni*, és szerintük a beégés problémája sem jelentkezik. Javítottak a nyomásmérésen, és most kétféle méretű (5 és 8 mm átmérőjű, 1 vagy 3 cm<sup>3</sup> térfogatú), kétlépcsős dugattyús fröccsegység érhető el. A korábbi *Unilog B4*-es rendszert *B6*-ra cserélték ki és forgóasztalos megoldást alkalmaznak. *Az árat is sikerül csökkenteni, 90 000 EUR-ról 66 000 EUR-ra.*

A tajvani **Edex Technology** (ugyancsak dugattyús megoldással) 5 és 10 tonnás fröccsgépeket hozott forgalomba, *amelyek olcsóbbak a német vagy a japán versenytársakénál.* Az 5 és 10 tonnás záróerejű gépeket japán szervomotorokkal és német fogaskerék-szivattyúkkal szerelik fel. A cél az volt, hogy az elérhető japán és német berendezéseknél mintegy 30%-kal olcsóbb berendezések kerüljenek piacra. Lehet, hogy a fejlesztés során még nem tudták, hogy a Wittman-Battenfeld új fröccsgépei is kb. ennyivel olcsóbbak a korábbi berendezéseknél.

Összeállította: Dr. Bánhegyi György  
www.polygon-consulting.ini.hu

Schmidt, H.: Entscheidungshilfe aus der Praxis = Kunststoffe, 99. k. 11. sz. 2009. p. 54–58.

Vink, D.: Big names target micro machines = European Plastics News, 37. k. 6. sz. 2010. p. 32.

Klein heisst anspruchsvoll = Kunststoffe, 100. k. 6. sz. 2010. p. 56–57.