

## Mikro- és nanofröccsöntés

A mikroméretű tárgyak előállítását lehetővé tevő fröccsöntési technológiákat intenzíven fejlesztik. Egy másik alkalmazás, amikor makroszkopikus méretű termékek felületén kell mikroszkopikusan texturált felületeket kialakítani. Az eljárásokat elsősorban az elektronika és az elektromechanikai rendszereket alkalmazó berendezések igénylik.

*Tárgyszavak: mikrofröccsöntés; nanofröccsöntés; többkomponensű fröccsöntés; mikrostrukturált felületek; melegprézelés; poli(éter-ke-ton)-PEEK; optika; orvostech-nika; elektronika.*

## Kétkomponensű mikrofröccsöntés

A miniatürizálás nagyon fontos nem csak az elektronikában, hanem számos egyéb elektromechanikai rendszereket igénylő területen is, pl. a szenzorika, a végrehajtó szervek (aktuátorok), integrált mikrolaboratóriumok (lab-on-the-chip), mikrofluidika, mikrokapcsolók, nyomtatótechnika és az optika területén. Ezek legtöbbször szükség van műanyagok alkalmazására. A termékek maguk is lehetnek mikroszkopikusak, de az is előfordul, hogy nagyobb alkatrészek mikroszkopikus szerkezeti részleteket (pl. mikroszkopikusan texturált felületeket) tartalmaznak. Ezekhez gyakran kevesebb műanyag kell, mint amennyit egyetlen granulátum tartalmaz, és a mikrorészletek 0,1 mm-s vagy finomabb pontosságot feltételeznek. A lipcsei Műanyagközpont (**KuZ**) 2000 óta erőfeszítéseket tett annak érdekében, hogy kellő mennyiségű tudást halmozzon fel a műanyagok mikrofeldolgozása és megmunkálása területén.

A miniatürizálás fontos tendencia a hibrid rendszerekben is, ezért egyre nyilvánvalóbbak a többkomponensű mikrofröccsöntés előnyei, pl. elmaradhatnak a szerelési lépések. Eddig ilyen alkalmazásokra igen kevés példa volt, mert még egykomponensű mikrofröccsgépből sem sok szerepel a piacon, nemhogy többkomponensűből. Az eddig piacon levő mikrofröccsgépek rendszerint csigadugattyús megoldással dolgoztak, 12–15 mm-s csigaátmérővel, minimálisan 1–2 cm<sup>3</sup>-s fröccstérfogattal. Ez alá az érték alá csak bizonyos kompromisszumokkal és hosszas folyamatoptimalizálással lehetett jutni. Mivel ez a térfogat túl nagy a mikrotermékekhez, a beömlőcsőnk túl nagy lesz a termékhez képest, és ez műszaki nehézségeket okoz. Ha csak néhány mm<sup>3</sup>-s darabokat szeretnének előállítani, akkor olyan technológiát kell választani, amely ilyen térfogatok (akár részleges), kontrollált kitöltésére képes. Erre a teljesítményre 0,1 mm-s előtöltési felbontás és 3 mm-s csigaátmérő mellett lehet számítani. Ennyire kis csigadugattyút nem célszerű használni, ezért általában előplasztifikáló csigát kombinálnak egy fröccsdugattyúval. Ez a megoldás azonban azzal jár, hogy az anyag nagy része hosszú ideig van kitéve a termikus hatásoknak.

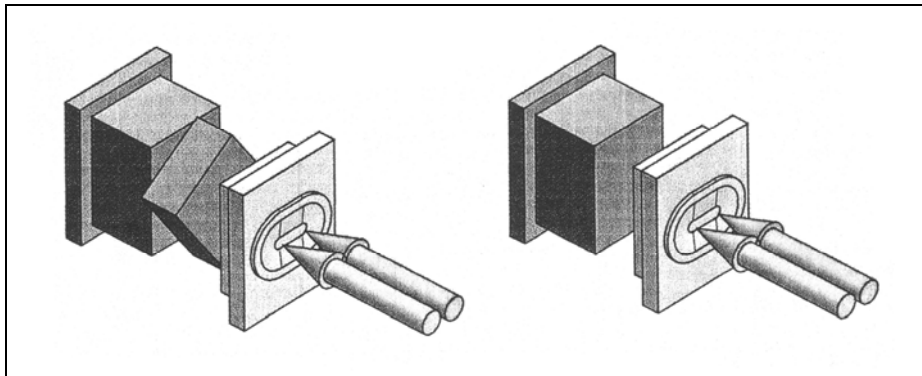
A **formicaPlast**, a **Klöckner Desma** és a lipcsei **KuZ** közös vállalata más megoldás kidolgozásával próbálja megoldani a fröccstömegre optimalizált, csigamentes mikrofröccsöntési technológiát. A plasztifikáláshoz egy 6 mm-s, a befröccsöntéshez egy 3 mm-s dugattyút használnak. Ezzel a megoldással az alakadó felületek és a szerszámbetétek is kisebbek lesznek, a meghajtások is kisebbekké, dinamikusabbakká és pontosabbakká válnak. *A szervoelektromos meghajtás 3000 bar nyomást és 1000 mm/s befröccsöntési sebességet tesz lehetővé.* Az építőelemeket merev, sík alaplapra, modulárisan szerelik fel, ami kompakt és jól kezelhető elrendezést jelent. Az a tény, hogy csak kis mennyiségű műanyagot kell megömleszteni, lehetővé teszi hőérzékeny műanyagok feldolgozását is. A dugattyús plasztikáló egységben nincsenek holtterek, és anyagváltáskor könnyű a berendezés tisztítása.

A többkomponensű fröccsöntésre többféle megoldást is kidolgoztak, ezek némelyike az egykomponensű eljárások kombinációja, de vannak integrált többkomponensű fröccsgépek is. Ezek közé tartoznak különféle párhuzamos, függőleges és vízszintes, záróoldalon elhelyezett fröccsegységek – tulajdonképpen a nyitóoldalt leszámítva a szerszám bármelyik oldalán elhelyezhetők. Az előfröccsöntés után a szerszámüreg alakját és méretét meg kell változtatni, ami történhet betétek mozgatásával, vagy úgy, hogy az előfröccsöntvényt áthelyezik egy másik szerszámüregbe. A mozgatás történhet forgatással, vízszintes vagy függőleges tengelyek mentén, de lehet szerszámnyitás utáni áthelyezés is egy másik szerszámüregbe.

Elvben ugyanezeket a megoldásokat alkalmazza a mikrofröccsöntés is. A formicaPlast arra törekedett, hogy olyan univerzális koncepciót dolgozzon ki, amelyet minél többféle termékre alkalmazni lehet. Megpróbálták kiegyensúlyozottan megválasztani a beömlőcsonk és a termék tömegét, és ehhez rövid (4–12 mm-s) beömléseket kellett használni. Ez korlátozza a befröccsöntő egységek elhelyezését is: pl. a merőleges elhelyezés nem kedvező, míg a mozgatható betétek rövid beömlőcsonkot is lehetővé tesznek. Újszerű megoldást jelent viszont az elforduló lemez (Wendeplatte) alkalmazása, de ez megnehezíti a záróoldali vagy a merőleges fröccsegység alkalmazását. *A legjobb megoldást a két, párhuzamosan elhelyezett fröccsegység jelenti akár elforgatással, akár más szerszámüregbe való áthelyezéssel kombinálva (1. ábra).* A fröccsegységeket olyan közel helyezik el egymáshoz, hogy a szerszámok kombinálhatók egymással. A szerszám nyitása után kiemelik a betétet, majd 180°-os elforgatással fröccshelyzetbe hozzák. Ez a megoldás lehetővé teszi a mögőfröccsöntést, az előfröccsöntvény és a késztermék egyidejű készítését (tehát a rövid ciklusidőt), valamint a két szerszámüreg jó termikus szétválasztását. Ha az előfröccsöntvényt át kell helyezni egy másik szerszámüregbe, nagyon finom kidobókat kell alkalmazni, hogy elkerüljék a felület benyomódását. Az ultrahanggal vezérelt kidobókkal akár 0°-os le-törési szög mellett is biztonságosan kivehetők az öntvények.

Ezzel a berendezéssel sikeresen gyártottak mikrolencsákat, szenzorházakat (fém-betéttel és anélkül), fogaskerekeket. *A hagyományos hőre lágyuló műanyagok mellett képesek folyékony szilikonkaucsuk (LSR) és fém, valamint kerámiaporok fröccsöntésére is.* Mivel kis mennyiségű anyag feldolgozása is lehetséges, a berendezés az anyagfejlesztők számára is érdekes lehet, ahol kis mennyiségű kísérleti anyagokat kell ösz-

szehasonlítani és értékelni. Kifejlesztettek olyan próbatestgyártó szerszámokat is, amelyekkel már 3–5 darab granulátumból is lehet próbatestet gyártani.



1. ábra Kétkomponensű mikrofröccsöntés a rögzített felfogólemezen elhelyezett két párhuzamos fröccségységgel – forgással (bal oldalt) és másik szerszámüregbe történő áthelyezéssel (jobb oldalt)

## PEEK mikrofröccsöntése

A PEEK meglehetősen drága műanyag, ezért csak ott alkalmazzák, ahol tulajdonságai nélkülözhetetlenek. Nem ritkák a grammos vagy az alatti tömegű termékek. Az ilyen termékeket gyakran 150–200 kN záróerejű fröccsgépekkel állítják elő, ezért a kis szerszámüregekhez képest a szerszámot nagyra kell méretezni, és hidegcsatornákkal kell dolgozni. A túlméretezett berendezések szükségtelenül nagy hőterhelést jelentenek az anyagnak, aránytalanul nagy az energiafelhasználás mind a melegítésnél, mind a hűtésnél.

A német **Köbelin Formenbau** cég ezért speciális eljárást fejlesztett ki 2,8 g-os PEEK csatlakozók gyártására egy sebészeti eszközhöz. Az *MTT Micro Moulder 12/90* berendezés, amelyhez saját adagolóegységet fejlesztettek, 0,02 g és 12 g közötti termékek gyártására alkalmas, és 90 kN záróerőt alkalmaz. A mindössze 100x100x120 mm méretű szerszám nem tette lehetővé a forrócsatornás beömlés használatát, ezért saját adagolóegységet fejlesztettek ki. Tekintettel arra, hogy a *PEEK feldolgozásakor az ömledékhőmérséklet a 400 °C-ot, a szerszámhőmérséklet a 200 °C-ot is elérheti*, különleges termikus tervezésre volt szükség. A felfogólemez és a szerszám közti felület minimálisra tervezték, a hővesztéget minimalizálták, hogy a fröccsöntés minél hatékonyabb legyen. A felfogólemezt külön is temperálják. Sikeres próbagyártás után az eljárást a Fakuma kiállításon is bemutatták.

## Mikrostrukturált felületek, mikrohegesztés, nanofröccsöntés

Minden új technológia fejlesztésénél fel kell tenni a kérdést: valóban kap a vevő hozzáadott értéket a technológia bevezetésével? Mert csak akkor lesz hajlandó megfizetni a többletköltségeket, és akkor számíthatnak a fejlesztők arra, hogy a felhasználás

széles körű lesz. Napjainkban a felületek mikro- és nanométeres megmunkálására irányuló fejlesztésekkel kapcsolatban is ez a kérdés merül fel

A felületek megmunkálását sikeresen alkalmazható az ún. *melegprézelés*, különösen a nagy hossz/átmérő arányú felületi struktúrák kialakításához. Ilyen szerkezetekre lehet szükség a szenzorikában vagy a mikrofluidikában. A mikrofluidika a folyadékok mikroliteres mennyiségben végzett szállításának, keverésének, elosztásának tudománya, ahol a csatornaátmérők tipikusan a 20–50 µm tartományban vannak. Mikrostrukturált felületeket elő lehet állítani fröccsöntéssel vagy fröccsprézeléssel is. A hatékonyság növelhető, ha ultrahangot is alkalmaznak. A mikrostrukturált felületek jelentik az ún. „szuperhidrofób” (nevegségtaszító és lepergető) vagy a holografikus felületek „lelkét” is. Az utóbbiakat egyre gyakrabban alkalmazzák a hamisítványok elleni védelemben, mert nehezen másolhatók és hamisíthatók. A holografikus felületek mérete azonban már inkább a nanométeres tartományba tartoznak, hiszen a látható fény hullámhossztartománya 400–700 nm. A modern holografikus felületek számos látható és rejtett azonosítót tartalmaznak, és hamisításuk igen fejlett technológiát feltételez. A műszaki mellett jogi védelemben is részesülnek (védjegy), tehát a hamisítás jogi következményekkel is jár. A holografikus díszítést marketingeszközként is szívesen bevetik a drágább termékek megkülönböztetésére. A mikro- vagy nanostrukturált felületeket úgy állítják elő, hogy egy fotolitográfiásan megmunkált félvezető felület mintázatát átviszik egy nikkeltábla felületére, amelyet a fröccsszerszámba építenek be. Tekintettel arra, hogy a galvanikus megmunkálás szó szerint atomrétegenként működik, ezt a finomságot a szerszámfelületen semmilyen más, hagyományos megmunkálási eszközzel nem lehet elérni. Ezt a technológiát félüzemi szinten is kipróbálták, de a széles körű ipari felhasználás egyelőre várat magára.

A lézeres hegesztés is jól alkalmazható a mikromegmunkálásban, mert nagy pontossággal, jól adagolható hegesztési energiát biztosít. A lipcsei KuZ-nál kifejlesztettek egy olyan lézeres mikrohegesztő berendezést, amelyben a diódalézer energiáját egy tükkörrendszer segítségével vezetik végig nagy sebességgel a hegesztendő vonal mentén.

A mikromegmunkálás lényeges része a méretek ellenőrzése, amelyet többek között konfokális mikroszkópokkal lehet elvégezni, mikrométeres pontossággal. Ha ennél is nagyobb felbontásra van szükség, az atomerő-mikroszkópot (AFM) kell bevetni. Mikromechanikai eszközökkel mechanikai (húzó, hajlító, csavaró) vizsgálatok is elvégezhetők.

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

Dormann, B.; Jüttner, G.: Hochpräzise Miniaturen. = Kunststoffe, 99. k. 2. sz. 2009. p. 34–37.  
Bloss, P.: Mikrotechnik erobert immer mehr Anwendungsbereiche. = K-Berater, 52. k. 1–2. sz. 2007. p. 39–41.

Köbelin develops micro PEEK. = European Plastics News, 36. k. 2. sz. 2009. p. 20.

Ein System für geringe Schussgewichte. = Kunststoffe, 99. k. 2. sz. 2009. p. 98.

Pouget, P. M.: Nano-Spritzguss: Businesschance für Pioniere. = K-Berater, 53. k. 7–8. sz. 2008. p. 33–34.