

# MŰANYAGOK FELDOLGOZÁSA, ADDITÍV TECHNOLÓGIÁK

## Folyékony szilikongyanta mikrofröccsöntése (1. rész)

Gépkocsikban, orvosi eszközökben, mobiltelefonokban, órákban és más testen hordozható eszközökben egyre gyakrabban alkalmaznak szinte észrevehetetlenül apró – mg tömegű – elemeket, amelyeket folyékony szilikongyantából (LSR, liquid silicone resin) fröccsöntéssel sokfészkés szerszámokban állítanak elő. Gyártásuk rendkívül precíz gyártóberendezéseket és nagy tapasztalatot igényel, mert a hőre lágyuló polimerekkel ellentétben, amelyek ömledéke hűtés hatására szilárdul meg, az LSR-nek a fröccsöntés folyamata alatt a hozzá kevert térhálósítóval kémiai reakció lefutásával kell vulkanizálnia. Az ausztriai Engel és a németországi KraussMaffei cég az utóbbi években ennek a technológiának specialistái lettek. Publikáciánk 1. részében az Engel, lapunk következő számában megjelenő 2. részben a KrausMaffei fejlesztéseiről számolunk be.

*Tárgyszavak: fröccsöntés; folyékony szilikongyanta; mikrofröccsöntés; miniatürizálás, automatizálás; orvostechnika.*

A miniatürizálás az elmúlt évek egyik fontos fejlesztési irányzata volt, és az egyre kisebb termékek fokozatosan egyre bonyolultabbak, kompaktabbak lettek. Egyik fő alkalmazási területük az orvostechnika, ahol a minimál sebészetben a műtéteket a lehető legkisebb vágásokkal igyekeznek elvégezni; de a kémiai elemzésben is szerepet kapnak, ahol korábban elképzelhetetlen kis mennyiséget is megbízhatóan lehet analizálni. A pirinyó elemek ott vannak a korszerű gépkocsikban, karórákban, az okostelefonokban és más elektronikus fogyasztási cikkekben is.

Mikroelemeket eddig is gyártottak ilyen eszközökhöz hőre lágyuló műanyagokból, pl márkás órákhoz fogaskereket, vagy könnyű és divatos fülbevalókat. Szilikongyantából eddig is készültek mini szigetelések. A villamos hajtású közlekedési eszközök és a vezető nélküli gépkocsik elterjedése a mikrofröccsöntéssel gyártott elemek iránti igényeket sokszorosára fogja növelni.

A folyékony szilikongyantából gyártott termékek anyagát (térahálósítás után) szilikon-guminak vagy szilikon-elasztomernek is szokás nevezni. Ez az anyag lágyító nélkül is rugalmas; emellett biokompatibilis és antibakteriális, hőálló és sterilizálható. Feldolgozása azonban erősen eltér a hőre lágyuló műanyagok feldolgozásától, bevezetéséhez feltétlenül gyakorlott szakember segítségét kell kérni.

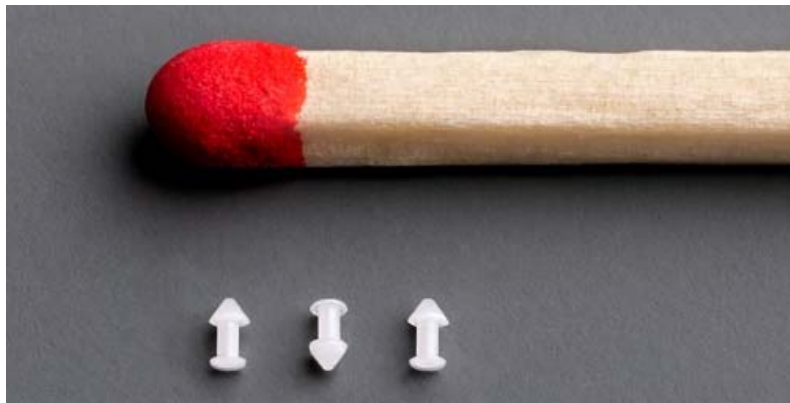
### Az Engel cég fejlesztései

*Miért olyan nagy kihívás az LSR mikrofröccsöntése?*

Mikrofröccsöntésről akkor beszélnek, ha a termékek tömege jóval kisebb 1 g-nál. Az ilyen technológiát alkalmazó feldolgozók némelyike már 1 mg-nál könnyebb terméket is

gyártott, pedig az LSR sűrűsége a legtöbb hőre lágyuló műanyagénál nagyobb (a poliolefineké  $1 \text{ g/cm}^3$  alatt van, az LSR-eké  $1,10 \dots 1,50 \text{ g/cm}^3$ ). A szilikongyantából fröccsöntött termékek ezért nehezebbek a hasonló formájú hőre lágyuló készített termékeknél, de az LSR elemek általában sokkal kisebb méretűek. A feldolgozás nehézségei éppen ezek rendkívül kis méreteiből és rendkívül kis tömegéből adódnak.

Az 1. ábra az Engel Ausztria GmbH-nál (Schwertberg) LSR-ből gyártott fülészeti diagnosztikai eszköz méreteit érzékeli. A fröccsöntés után kiemelt 32 nyilacska az elosztó csatornarendszerben visszamaradó és eltávolítandó anyaggal együtt mindössze  $0,125 \text{ g}$ . Ugyanennyi a tömege egy kockacukor 125 darab cukorkristályának. Egy kockacukor kb.  $20\,000\text{--}30\,000$  ilyen kristályt tartalmaz.



1. ábra A kép alján látható fehér nyilacska egy fülészeti diagnosztikai eszköz elemei. Ezek hossza  $1,7 \text{ mm}$ , átmérőjük  $0,9 \text{ mm}$ , tömegük  $0,5 \text{ mg}$ . Egy 32 fészkes számban fröccsöntötték őket. Felül egy gyufaszál érzékelteti kicsinyiségüket

Mikrofröccsöntéssel ilyen tökéletes formájú kicsi elemeket kell újra és újra mind a 32 fészekben előállítani. A mikrofröccsöntő egység, a beömlőcsatorna-rendszer és a hőmérséklet-szabályozás minősége, precizitása és reprodukálhatósága ezért rendkívül fontos.

Maga a beömlőcsatorna-rendszer is rendkívüli műszaki hozzáértést igényel. Térfogatának egyensúlyban kell lennie a fröccsöntött darabok térfogatával. Számos határfeltételt kell mérlegelni, egymással összevetni, hogy a gyártási folyamatot minden ponton optimalizálni tudják. Legfontosabb ebben magának a gyártási folyamatnak a menedzselése, de figyelembe kell venni a hulladékképződést, az energiafelhasználást, az anyagáramokat és a ciklusidőt is. Mindezek nagy kihívást jelentenek mind a feldolgozó berendezés gyártója, mind pedig a mikrofröccsöntést végző cég számára.

### *A precizitás és a repetálhatóság elengedhetetlen*

A mikrofröccsöntés laboratóriumi szinten már jól működött, de az üzemi körülmények közötti tömeggyártáshoz szükséges feldolgozó eszközök megteremtése újabb kihívásokkal járt. A legnagyobb nehézséget a termékek rendkívül kis méretei okozzák. Azok a műveletek, amelyek a nagyobb termékek gyártásakor biztonságosan alkalmazhatók, a mikrofröccsöntéskor gyakran nagy selejtaránnyal járnak. Néhány ezred milliméteres méreteltolódás vagy néhány tized milligramm tömegeltérés az apró terméken súlyos minőségromlást jelent, aminek következtében későbbi alkalmazásakor megbízhatatlanná válhat.

A gyártórendszer maximális precizitása, az egyes gyártóelemek tökéletes együttműködése alapvető követelmény. *Az Engel cég a mikrofröccsöntéshez villamos hajtású vezetőosz-*

*lop nélküli e-motion TL típusú gépeit ajánlja, amelyek alkalmasak lehetnek fejlesztésre, laboratóriumi munkára, prototípus készítésére vagy kisebb sorozatok gyártására, de nagy darabszámú üzemi munkára is beváltak (2. ábra). Ezeket a precíziós gépeket új, rugalmas mikrofröccsöntő egységgel egészítették ki, amelyeket kifejezetten az LSR mikrofröccsöntésére fejlesztettek ki. A szerszám pozicionálásának és szerszámba befröccsentett anyag mennyiségének precizitása és repetálhatósága alapvető feltétele a sikeres mikrofröccsöntésnek.*



2. ábra Az Engel cég vezetőslop nélküli e-motion TL típusú fröccsgépe, amelyet kifejezetten a mikrofröccsöntéshez fejlesztett ki. Ez a gép hőre lágyuló műanyagok és LSR mikrofröccsöntésére egyaránt alkalmas. A gépet ugyanis kiegészítették egy LSR feldolgozására alkalmas egységgel, amely a cég az ACH Solution céggel közösen fejlesztett ki, és a fröccsöntő egység csigája helyett ugyanennek a cégnek a szivattyújával juttatja be az LSR-t a szerszámba

A fröccsöntés folyamata alatti mozgások tökéletes ismétlődése rendkívül fontos a hibátlan termék előállításához. Minősége azonban nemcsak a fröccsöntő egységtől, hanem a szerszám pozicionálásától és oldalmozgásától is függ. Akár hőre lágyuló polimerből, akár LSR-ből kell mikrofröccsöntéssel terméket gyártani, ehhez teljesen elektromos, szervohajtású fröccsgépet célszerű választani.

A speciálisan felépített, vezetőslop nélküli gépet úgy tervezték, hogy a viszonylag nagy felületű szerszámok külön beavatkozás nélkül tökéletesen párhuzamosak legyenek és egyenletesen oszoljon meg bennük a záróerő. Azt is figyelembe vették, hogy az ilyen apró termékeket tisztatérben kell gyártani. A fröccsöntő gép tömör felépítése és a nagy záródó szerszámfelületek csökkentik itt a helyigényt. A hidraulikamentes gépek tisztasága, a tokba zárt elemek és a lineáris vezérlés is hozzájárul ahhoz, hogy a feldolgozó kielégítse a GMS (Good Manufacturing Practice, Jó Gyártási Gyakorlat) követelményeit.

### *Próbálkozások az automatizálásra*

Az üzemi gyártás érdekében gondolkodni kellett arról, hogy hogyan lehet automatizálni a fröccsöntést, az apró darabok kezelését és minőségellenőrzését. Ki kellett találni egy olyan fogót, amellyel kiemelhetők a nagyon érzékeny termékek a szerszámból, mert az elképzelhetetlen volt, hogy azokat egyszerűen kilőjék őket egy kidobóval. A sztatikus feltöltődés miatt ezek a formált darabok erősen hozzátapadnak a szerszám sima felületéhez, és még kézzel is nehéz azokat onnan leválasztani. Ezért a mikrofröccsöntött termékeket gyakran vákuummal választják le és levegővel fújják be egy kisméretű gyűjtőtartályba. A szokásos fröccsöntött termékeket egy gyűjtőtartályban könnyű megszámlálni, tömegüket lemérni, méreteiket ellenőrizni. Mindez lehetetlen az pirinyó mikrofröccsöntött termékeknél. Ezért a fészekből kiemelt

darabot közvetlenül a fészekből kiemelés után, vagy a fészek és a gyűjtőtartály közötti úton, amikor a megfogó eszköz egy pillanatra megáll a kamera előtt, optikailag ellenőrzik. Az Engel cég automatizálásban és minőségbiztosításban járatos partnerei ezt megoldották, és a rendszert átadták az Engel mikrofröccsöntő gépeinek kiegészítésére.

### *Mi a különbség az LSR és a hőre lágyuló műanyagok mikrofröccsöntése között?*

A legnagyobb különbség a két alapanyag között az LSR térhálósítása előtti szakasz előtti hőmérséklet-szabályozás. Az LSR kétkomponensű anyag, a szilikongyantába a fröccsgép hengerének elején lévő keverőmodulban szobahőmérsékleten keverik be a térhálósodást kiváltó reakciópartnert. A keveréket a hengerben a lehető legrövidebb úton és a leggyorsabban továbbítják a szerszám felé, ahol a keverék egy fűvókán keresztül jut be a szerszám elosztócsatornáiba, innen pedig a beömlő nyíláson keresztül a szerszámfészekbe. A térhálósodásnak a fészek belsejében kell végbemennie 170 és 190 °C között, hogy a gyanta-keverékből rugalmas formadarabot kapjanak. A szerszámnak és a hőmérséklet-szabályozó rendszernek el kell viselnie ezt a magas hőmérsékletet. A hengert és a szerszámot egymás között hőszigetelni kell, nehogy az előrehaladó keverékben idő előtt elinduljon a vulkanizálás. Az LSR termékek még forróak, amikor kiveszik őket a szerszámból, amit figyelembe kell venni, amikor megtervezik és kialakítják a fröccsöntés utáni kezelőrendszert.

A tisztatérben meg kell változtatni a levegőáram irányát, ha a gépen LSR-t dolgoznak fel. A darabok kivételekor a szerszámból felszabaduló gázokat elszívóknak az tisztatér felső részén kell eltávolítaniuk. Ezzel ellentétben a hőre lágyuló műanyagok kivételekor az elszívók inkább a szerszám alá terelik a friss levegőt, amely hozzájárul a termék gyorsabb lehűléséhez.

A szilikongumiból készített mikrotermékeknek kivételkor előnyei is vannak. Ha ilyenkor némileg deformálódnak, minőségük megtartásával visszanyerik eredeti formájukat. Ez szabadabbá teszi tervezésüket, akár kisebb hátrametszést is alkalmazhatnak rajtuk. A rideg és esetenként könnyen sérülő hőre lágyuló műanyag termékek kivételét a szerszámból előre végig kell gondolni.

A kétkomponensű folyékony szilikongyantát mikrofröccsöntés előtt tartalmazó tartályok térfogata nem lehet nagyobb 0,5–0,7 liternél. A gyantát a hengerbe adagoló tömlőnek rövidnek és kis keresztmetszetűnek kell lennie. Ha a rendszerben szivattyút alkalmaznak, az Engel cég ezt olyan partnertől vásárolja meg, amelynek OPU-UA rendszere a mikrofröccsöntő gép szabályozórendszerébe integrálható. (Az OPC-Unified Architecture az OPC Foundation cégnél kifejlesztett kommunikációs protocol, amely az automatizált gépek közötti információcserét teszi lehetővé.) Ha a mikrofröccsöntő gépen hőre lágyuló műanyagot dolgoznak fel, a gépen semmiféle változtatást nem kell végezni, a fröccsöntés a szokott módon végrehajtható. Az LSR és a hőre lágyuló műanyagok mikrofröccsöntése közötti különbségeket a *1. táblázat* foglalja össze.

### *Ugyanaz a gép LSR és hőre lágyuló műanyagok mikrofröccsöntésére*

Az eddigiekből is lehetett sejteni, hogy a kétféle, erősen különböző polimerfajta ugyanazon a gépen is feldolgozható. Az Engel cég ezt valóban megoldotta, és mikrofröccsöntő gépen LSR-ből és hőre lágyuló műanyagból is lehet mikroméretű formadarabokat gyártani.

Ez azért lehetséges, mert a cég valamennyi teljesen villamos hajtású e-motion TL típusú gépei vezérlőoszlop nélküliek, ami alapfeltétele a folyékony szilikongyanta mikrofröccsöntésének. Az apró szilikon formadarabokat egy új LSR mikrofröccsöntő egységgel gyártják, amelyet 30 perc alatt be tudnak építeni a termoplasztikus műanyagokat feldolgozó fröccsgépbe. És egyetlen átkapcsolással elkezdhetik az LSR mikrofröccsöntését a 15 vagy 18 méretű hengerrel. (A számok a henger hosszúságára utalnak.) A gyanta adagolását a gép szabályozórendszerébe integrált OPC UA rendszer vezérli. Ez a lehetőség az egyébként standard fröccsgépet rendkívül rugalmas gyártóeszközzé teszi, amelyen kisméretű vagy mikroméretű formadarabok LSR-ből és hőre lágyuló műanyagból egyformán gyárthatók.

### *Az Engel és az ACH Solution együttműködése*

Az LSR mikrofröccsöntésének további fejlesztésében az ACH Solution GmbH (Hafeld, Ausztria) is részt vett. Az ACH Solution kifejezetten az LSR feldolgozásához készít alkalmas eszközöket, pl. fűtetlen beömlőrendszereket, közöttük a *ServoShot* rendszert, amellyel digitálisan ellenőrizhető a folyékony anyag mozgása. Jelentős tapasztalatai vannak az LSR fröccsöntésének és az utókezelés automatizálásban. Kínálatában vannak a *MiniMix* és *MaxiMix* adagolószivattyúk, de kulcsra kész LSR fröccsöntő egységeket is gyárt. Az ausztriai cég a közelmúltban az USA-ban (Sarasota, Florida) alapított egy új részleget ACH Solution USA Inc. néven.

Az Engel és az ACH Solution együttműködésének a célkitűzése a 0,1 g-nál kisebb tömegű termékek biztonságos gyártása volt. Ebben a gépben nem a csiga, hanem egy búvárdugattyú (planger) fröccsenti be a gyantát a szerszámba, a betáplálásnál pedig a szokásos sztatikus keverő helyett dinamikus keverőt alkalmaztak, amely az LSR gyantából, a térhálósító adalékból és az esetleges pigmentből homogénebb keveréket állít elő. Műszakilag ez a megoldás egy kétlépcsős fröccsöntő eljárásnak tekinthető, amelynek első eleme egy folyadékkeverő, és egy fröccsöntő egységben folytatódik. A dugattyú átmérője 6 mm, maximális fröccstérfogata 2,26 cm<sup>3</sup>. A legkisebb darabok gyártásakor az Engel cég iO tömegellenőrző szoftverjét is alkalmazza.

A gyártórendszer sajátossága a kódolt henger, ami lehetővé teszi, hogy az ACH mikrofröccsöntő egységet szokásos plasztikáló egységgel cseréljék ki, amellyel LSR-t és hőre lágyuló műanyagot is fel tudnak dolgozni. Ha az LSR feldolgozásakor az gépben a csiga végén folyadékot befroccsöntő ACH pumpa van, a henger kódjának szoftverje meggátolja a csiga forgását, amely ezután úgy működik, mint egy dugattyú, azaz beállítja a befroccsöntéshez szükséges nyomást és a befroccsöntéshez szükséges mennyiséget.

Ezt az 2. ábrán látható e-motion 50-30 TJ típusú gépet 2020 végén kezdték forgalmazni. Első termékként az orvosi eszközökben kötőelemekként alkalmazott és az 1. ábrán látható elemeket gyártották vele. Ezek 32 fészkes, fűtetlen ömledékcsatorna-rendszerrel ellátott szerszámban készültek. Az apró darabokat az Engel cég *viper 6* márkájú lineáris robotja veszi ki a szerszámból, és helyezi rá egy szállítószalagra, amely minőségellenőrzésre egy kamerához viszi őket. A 3. ábra a kulcsrakész gyártórendszert mutatja.

### *Mikrofröccsöntés az Engel partnereinél*

Az mikrofröccsöntésben nagy tapasztalatokkal rendelkező ausztriai Sei Woo Hi-Tech Polymer cég kétkomponensű mikrofröccsöntéssel poliamidból és LSR-ből készített mikro-

méretű alkatrészeket egy gépkocsiülések masszázsfunkcióját ellátó eszköz levegőfúvókáihoz (4. ábra). A fröccsöntést az Engel cég *e-victory 140 kombi* márkájú forgólapos szerszámú gépén végezték két 16–16 fészkes szerszámban. Az első szerszámba először a poliamidot fröccsöntötték be, amelyre a második fröccsállásba fordulva ráfröccsöntötték az LSR-t. Ez alatt a második szerszámba a második 16 elemhez szükséges poliamidot fröccsöntötték be. A speciális összetételű PA és LSR között 200 °C-on végzett hőkezelés után megbonthatatlan kémiai kötés alakul ki.



3. ábra Az Engel és az ACH Solution együttműködésével előállított „kulcsrakész” gyártóberendezés, ahol a fröccsgép össze van építve a tisztatéri egységgel



4. ábra Gépkocsiülések masszázsfunkciójának megteremtésére gyártott levegőfúvókák. Méretük 4x3 mm, belső részük poliamidból készült, külső burkolatukat LSR-rel ráfröccsöntéssek készítették.

Az Engel cég egy közelebről meg nem nevezett partnerének olyan mikroméretű LSR elemeket kellett gyártania, amelyeknek a fészkekbe befröccsöntött tömege mindössze 0,484 g, a befröccsöntés ideje pedig 0,018 s volt. Ezt a nagyon kis tömeget és rövid időt ez elvárt precizitással csak az Engel “okosan záródó” (smart shut) siklógyűrűs visszacsapó szelepével tudták megoldani, amellyel a fészkekbe befröccsöntött LSR tömeg legfeljebb +/-0,0005 g, azaz 0,1%-os ingadozást mutatott. Ennek a szelepnek a “titka”, hogy a szelep bezáródását a csiga ellenirányú forgása indítja meg, ezért tökéletesen zárva van, amikor a fröccsöntés megindul.

Összeállította: Pál Károlyné

Praher, L.: Micro-injection molding LSR: Exploring the limits of what's possible = *Plastics Technology*, 2021. aug.; <https://www.ptonline.com/articles/micro-injection-molding-lsr-exploring-the-limits-of-whats-possible>

Austrian LSR tooling & systems supplier now represented in US = *Plastics Technology*, 2019. jan. <https://www.ptonline.com/news/austrian-lsr-tooling-systems-supplier-now-represented-in-us>