

## Új módszerek folyékony szilikonkaucsuk (LSR) feldolgozására

A folyékony szilikonkaucsuk fröccsöntése az anyag magas térhálósodási hőmérséklete miatt a hőre lágyuló műanyagokhoz képest más technikákat igényel. Az expansziós mikrofröccsöntéssel növelhető az LSR termékek gyártásának reprodukálhatósága.

*Tárgyszavak: műanyag-feldolgozás; fröccsöntés; X-melt technológia; folyékony szilikonkaucsuk (LSR); szerszámtemperálás.*

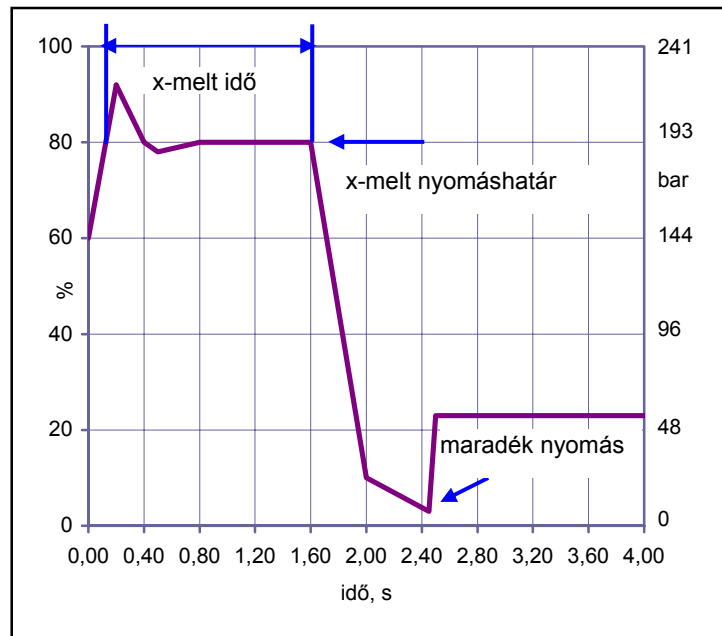
A **Roembke Mfg. & Design, Inc.** (Ossian, Ind. USA) a folyékony szilikongumi (LSR, *liquid silicone rubber*) feldolgozásához használt szerszámok vezető gyártója a közelmúltban ünnepelte 35 éves fennállását. Ebből az alkalomból nyílt napot szervezett, amelyen bemutatta az LSR feldolgozásának legújabb fejlesztési eredményeit. Ezen a nyílt napon lehetőséget kapott az **Engel Machinery North America** (York, Pa, USA) cég arra, hogy bemutassa a hőre lágyuló műanyagokra már korábban kifejlesztett *X-melt* eljárását, amelyet az elmúlt években a térhálósítható LSR fröccsöntésére is adaptált. A Roembke cég természetesen saját eredményeit is ismertette, ezek közül kiemelte azt az eljárást, amellyel PP-re LSR-t lehet ráfröccsönteni, továbbá bemutatta olajjal vagy villamosan fűtött szerszámok mellett a nyomás alatti meleg vízzel fűtött szerszámokat, amelyek az előbbieknél sokkal kevésbé terhelik a környezetet és tisztábban is biztonságosan alkalmazhatók.

### LSR fröccsöntése X-melt eljárással

Az új technológiát korábban az **Engel** cég fejlesztette ki hőre lágyuló műanyagokból vékony falú darabok extrém gyors fröccsöntésére. A cég az *X-melt* eljárást azóta LSR fröccsöntésére is tudja alkalmazni. *Ez a technológia lehetővé teszi, hogy a fröccsöntés sebessége nagyobb legyen, mint amilyenre a fröccsöntő gép mechanikailag képes.*

Ez a képtelennek tűnő teljesítmény mégis lehetséges, mert az *X-melt* technológia kihasználja a hőre lágyuló műanyagok ömledékének összenyomhatóságát, és ezzel a tulajdonsággal az LSR is rendelkezik. Az eljárás lényege, hogy a polimerömledéket a fröccsöntés előtt az ömledécsatornában (amely a hőre lágyuló anyagoknál meleg, LSD feldolgozásakor hideg) erős nyomás alá helyezik. Mivel ilyenkor a szerszámfelszék beömlőnyílása le van zárva, az ömledék a csatornában összenyomódik, ennek következtében nagy energia halmozódik fel benne. A nyomást meghatározott ideig

tartják fenn, hogy a nyomás az ömledékben stabilizálódjék. Ezután kinyitják a fészek-üregbe vezető szelepet, ettől az összenyomott ömledék rugóként tágul ki, és óriási sebességgel lövell be a fészekbe. Amint a fészek megtelik, az ömledékre ható nyomás hirtelen lezuhan, és amikor a külső és a belső nyomás kiegyenlítődik, a fűvóka ismét lezár.



1. ábra LSR fröccsöntés lefutása X-melt technológiával

A legtöbb folyadék nem összenyomható, de az LSR 5–7%-ig komprimálható, mértéke a típustól és a gyártótól függ. Az X-melt folyamat alatti nyomásváltozásokat az 1. ábra mutatja. A nyomásértékek a bal oldali y-tengelyen százalékosan, a jobb oldali y-tengelyen abszolút értékben olvashatók le. Látható, hogy a szelep kinyitása után rövid idővel a nyomás csökkenni kezd, majd beáll egy egyensúlyi értékre, ebben az esetben 193 bar-ra (2800 psi-re). 1,6 s után a szelep lezár, az ömledék nyomása meredeken 0-közeli értékre zuhan le, a görbe legalacsonyabb értéke az ún. maradék nyomást jelzi. A görbe bal felső részén látható függőleges vonalakon belüli idő alatt a fészekbe vezető szelep nyitva, azokon kívül zárva van. Az egyensúlyi nyomás értéke növelhető vagy csökkenthető a csatornában lévő ömledék nyomásának emelésével vagy mérséklésével, ill. az ömledékadag párnahosszával (azaz az összenyomódás mértékével). Az ömledéknek utat engedő szelep nyitott időtartama is szabályozható. Az eljárás legnagyobb előnye, hogy a fészekbe befröccsentett polimer tömege és a befröccsöntési sebesség független az előretolt csiga pontos helyzetétől. Az X-melt technológia pontosan rögzített befröccsöntési nyomása és a fészek állandó nyílása együttesen szavatolja a ciklusonként tökéletesen azonos áramlási sebességet.

Ha egy 12 mm átmérőjű csigát tartalmazó extruderrel olyan darabot akarnak fröccsönteni, amelyhez 0,010 g ömledéket kell a fészekbe juttatni, a csigának ehhez ciklusonként 0,078 mm-t kell előremozdulni. Ennek a mozgásnak a folytonos reprodukálása igen kemény feladat. Ha a csiga helyzete mindössze 0,013 mm-rel tolódik el, a befröccsentett ömledék tömege 15%-kal tér el az előirttól. Mivel a befröccsentett anyag tömege az *X-melt* eljárásban független a csiga helyzetétől, a pontos ömledékadagolás könnyen megvalósítható, amit nem befolyásol a fröccsöntő gép hengerében a plasztikálás és az ömledékszállítás alatt bekövetkező nyomás-ingadozás sem. Ezt szavatolja az is, hogy a nyomás alatt tartott csatornában mindig több ömledék van, mint amennyi egy „lövethöz” szükséges. Előnyös ez olyan esetben is, amikor több komponens keverékét dolgozzák fel, és egy-egy komponens mennyisége beadagolás-kor akár meg is haladhatja egy fröccsadag mennyiségét. *Az X-melt eljárás ezért különösen alkalmas mikrofröccsöntésre.*

#### *Az X-melt és a hagyományos fröccsöntés összehasonlítása*

Az Engel cégnél kísérleteket végeztek a *X-melt* és a hagyományos fröccsöntés összehasonlítására. Ehhez a cég *evictory 80/30 US hibrid* típusú fröccsöntő gépét választották ki, amelynek vízhűtésű plasztikáló hengerében 18 mm átmérőjű csiga van, fröccsegysége szervo-elektromos hajtású, a szerszámzárást és a kidobókat szervovezérelt hidraulikus rendszer üzemelteti. Az *X-melt* technológia alkalmazásához mindössze egy villamos szervohajtású fröccsegységet (amely megakadályozza a csiga előrehaladását olyankor, amikor a fészekbe vezető szelep nyitva van) és egy *X-melt* szoftvercsomagot kellett a gépbe beépíteni. A gépre egy a Roembke cégnél készített hidegcsatornás, négyfészkés szerszámot szereltek fel, amelyben nyitható-zárható szelepek voltak a fészek beömlésénél. A szerszámban egy orvosi membránszelepet fröccsöntöttek, amelynek tömege 0,1280 g, a négy fészekhez szükséges fröccsadag 0,5119 g volt. Az *X-melt* eljárással sokkal kisebb darabokat is lehet gyártani, ebben az esetben azonban az volt a cél, hogy a gyártási eredményeket összehasonlíthassák a hagyományos technológiával kapott gyártási eredményekkel.

A kísérletben 100–100 ciklusban állítottak elő orvosi szelepeket. A gyártmányok közül taláalomra választottak ki 20–20 darabot és mérték ezek tömegét. A hagyományos technológiával fröccsöntött darabok tömegének eltérése 0,0013 g-on belül szórt, az eltérés az átlagtól 0,126% volt, ami ennél a technológiánál kiemelkedően jó érték. Az *X-melt* eljárással készített szelepek tömege viszont 0,0004 g eltérésen belül szórt, ami az átlagérték mindössze 0,039%-a.

#### *Az X-melt eljárás kapacitása, korlátai és előnyei*

Az összehasonlító kísérletekben bebizonyosodott, hogy 0,5 g-os fröccsadaggal a *X-melt* eljárás jól működik. Kipróbálták az eljárást 0,015 g-os fröccsadaggal is, és itt hasonló szórásokat mértek, mint a nagyobb mennyiséggel.

Érdeemes azonban számba venni az eljárás elméleti és gyakorlati korlátait. A kísérletekben alkalmazott fröccsgép maximális injektáló kapacitása 28,68 g, 276 bar nyomás alatt ez 6%-ot nyomódna össze, ami megfelel 1,721 g LSR-nek normál nyomáson. Ha ennyi LSR behatol a szerszámüregbe, a nyomás 0 bar-ra esik le, több anyagot nem lehet bevinni. Annak érdekében azonban, hogy valamennyi maradó nyomás megőriződjék az anyagban, a maximális töltési kapacitást csak 85%-ig célszerű kihasználni. Ezért a vizsgált fröccsgép elméletileg legnagyobb fröccsadagja 1,463 g. A gyakorlati határérték – az a fröccsadag, amelyhez még megéri a *X-melt* eljárást alkalmazni – azonban ennél kevesebb.

Mivel a fröccsadag nagysága nem befolyásolja a csiga helyzetének reprodukcióját, hagyományos eljárást alkalmazva különböző fröccsadagok mellett a termék tömegének szórása hasonló, nagyobb fröccsadag esetén ez százalékosan kisebb, kisebb fröccsadagok esetén nagyobb lesz. 0,5119 g-os fröccsadaggal dolgozva a szórás 0,126%, kétszer akkora (1,03 g) fröccsadaggal már csak 0,063%. Ezért itt már kérdéses, hogy érdemes-e a költségesebb *X-melt* eljárást választani. A vizsgált fröccsöntő gépen az *X-melt* eljárás felső gyakorlati határa, ahol alkalmazása gazdaságos lehet, kb. 1,1 g.

*Az X-melt eljárás nem elhanyagolható előnye, hogy meglévő hagyományos fröccsgépen is alkalmazható a beépített szoftver segítségével. A szoftver ki/be kapcsolható, kikapcsolva a gép hagyományos eljárással, bekapcsolva X-melt technológiával üzemeltethető. A kifejezetten mikrofröccsöntésre tervezett gépekben ezzel szemben nagyon kis átmérőjű csigas vagy dugattyús fröccsegységek vannak, és az ilyen gépek semmi másra nem használhatók, mint erre a célra.*

*Az LSR mikrofröccsöntése X-melt eljárással még új eljárás, az Engel cégtől eddig négy gyártó vásárolt erre alkalmas berendezést. A hőre lágyuló műanyagok feldolgozására használt X-melt technológia már kiforrottabb, elterjedtebb eljárás: több mint harminc fröccsöntő gépet szereltek fel X-melt egységekkel.*

## **A Roembke cég újdonságai**

A Roembke MfG & Design Inc. maga is tevékenyen részt vesz az LSR technológia fejlesztésében. Feldolgozóüzemében LSR fröccsöntésére alkalmas öt nagyméretű (30-200 tonnás) Engel, Arburg vagy Milacron cégnél gyártott fröccsöntő gép van, amelyen partnerei kipróbálhatják az általa gyártott szerszámokat.

A Roembke a nyílt napon azt mutatta be, hogyan oldotta meg egyik partnerével az LSR ráfröccsöntését PP felületére, ill. hogyan oldotta meg a tisztatérben használt LSR-gyártó szerszámok abszolút szennyezésmentességét.

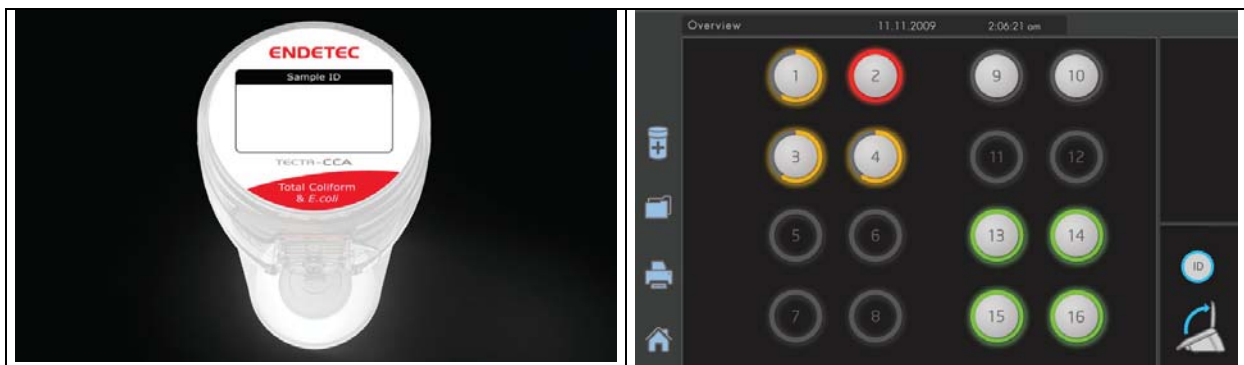
### *Kétkomponensű fröccsöntés PP-vel és LSR-rel*

LSR-t korábban kofröccsöntéssel a hőre lágyuló műanyagok közül csak hőálló műszaki műanyagokra [poliamid, poli(butilén-tereftalát)] tudtak ráfröccsönteni, mert csupán ezek voltak képesek elviselni a folyékony szilikon térhálósításához szükséges

150–200 °C-os hőmérsékletet. Az időközben kifejlesztett, alacsony hőmérsékleten UV-fénnyel térhálósítható LSR típusok lehetővé tették, hogy ezeket polipropilénnel is társítsák.

Ezt a feladatot a Roembke a kanadai **Endetec** céggel (Kingston, Ont.) közösen oldotta meg. Az Endetec cég vízminőségi vizsgálatok eszközeinek gyártására szakosodott. A cég *Tecla* márkanévű automatikus mikrobiológiai elemzőberendezésébe akart *E. coli* baktériumok kimutatására alkalmas műanyag edényeket gyártani. A berendezésben egyszerre 16 párhuzamos elemzés végezhető; a baktériumok növekedését UV fény alatt látható fluoreszcens indikátor jelzi (2. ábra).

A kicsiny pohár alakú, zsanérral kapcsolódó fedelet tartalmazó PP edény belsejében lévő hengerben szaporodnak a baktériumok, ha jelen vannak a vízmintában. A hengert a pohár fenekének közepén optikailag átlátszó dugóval zárják le, inkubálás után itt detektálják a fluoreszkáló mintákat. A fedélhez rögzített, baktériumok növekedéséhez szükséges vízben oldódó közeget (tápanyagcsomagot) hattengelyű robot helyezi be az edénybe (3. ábra).



2. ábra A mikrobiológiai vizsgálatokhoz használt edény és az inkubálás után észlelt pozitív (fluoreszkáló) minták



3. ábra A mintatartó edény alulról és felülről. Fenekén látszik az LSR dugó, fedelén a tápanyagcsomag

Néhány más próbálkozás után a pohár anyagként a **Chevron Phillips Chemical Co.** (The Woodlands, Tex. USA) *Marlex HLN-120-01* típusú PP-je, a dugó anyagként a **Dow Corning Corp.** (Midland, Mich. USA) *MS-1003* típusú LSR-ét választották. A gócképzőt tartalmazó, antisztatikus PP terhelés alatti behajlási hőmérséklete 118 °C, az LSR térhálósodási hőmérséklete 170 °C.

A mintatartó edényt két szerszámban készítetik, a PP alapformát robot helyezte át a másik szerszámba, ahol ráfröccsöntötték az LSR dugót. A gyártást kétütemű 160 tonnás Engel *victory combi press* típusú gépen végzik, amelyet a már említett hattengelyű robot szolgál ki.

### *Szerszámfűtés olaj helyett túlnyomás meleg vízzel*

A fröccsgépeken hagyományosan olajjal vagy elektromos patronokkal fűtik a szerszámokat, amennyiben 100 °C-nál magasabb szerszámhőmérsékletre van szükség. Az olaj azonban szennyezheti a környezetet, ami súlyos gondot okozhat, ha steril körülmények között vagy tisztatérben kell dolgozni. Az elektromos fűtés lokális túlmelegedést, egyenetlen hőmérsékletet okozhat. A Roembke cég ezért túlnyomásos vízzel végzett kísérleteket, amellyel akár 225 °C-t is el lehet érni. A kísérleteket a **Single Temperature Controls** (Charlotte, N.C. USA) egyik berendezésével végezték, amellyel 200 °C-ig tudtak felmenni. Ez elegendő az LSR feldolgozásához. Egyelőre az adat- és tapasztalatgyűjtésnél tartanak.

Összeállította: Csutorka László és Pál Károlyné

Broadbent, St.: Expansion molding: new method for LSR micro-molding = [www.ptonline.com](http://www.ptonline.com), 2013. január

Naitove, M.H.: Moldmaker explores new LSR molding technologies = [www.ptonline.com](http://www.ptonline.com), 2013. február