

Folyékony szilikonkaucsuk (LSR) fröccsöntése: mega- és mikroméretű, habosított, valamint többkomponensű termékek gyártása

A folyékony szilikonkaucsuk (liquid silicon rubber – LSR) viszonylag kis mennyiségben használt műszaki műanyag. Az alapanyagok választéka bővül, a feldolgozástechnikát fejlesztik, ezért a fő alkalmazók – az autóipar, a gyógyászat és az elektronika – egyre gyakrabban előnyben részesíti az LSR-termékeket a korábban használt alapanyagokkal (EPDM, TPE, szilikongumi) szemben.

Tárgyszavak: szilikonkaucsuk; fröccsöntés; soft touch; habosítás; autóipar; gyógyászat; elektronika; innováció; intrúzió.

Az LSR feldolgozási területei egyre szélesebb lehetőséget kínálnak a felhasználók részére: habosított rendszerek, egy terméken belül többkomponensű fröccsöntéssel előállított, eltérő színű, ill. keménységű részek kialakítása, termoplasztikus és szilikongumi anyagok kombinálása stb. Mindezeket az új LSR alapanyagok, feldolgozógépek és szerszámozási elvek teszik lehetővé.

Az LSR termékek tömege ma már a tízezred gramm és a 35 kilogramm szélső értékek között helyezkedik el. Az alkalmazás főképpen három területre irányul: autóipar (35%), gyógyászat (25%) és elektronika (20%). A felvevőpiac egyre gyakrabban előnyben részesíti az LSR termékeket a korábban használt alapanyagokkal szemben, így pl. a szilikongumik, EPDM, TPE, PVC és néhol porcelán vagy kerámia helyettesítése is sikeresen megoldható LSR-rel. A siker titka: *az LSR kiváló hő- és vegyszerállósága*. Ezért pl. a bábák cumisüvegeinek cumija és egyéb, bábák által szájba vehető darabok, gyógyászati berendezésekben tömítések és szelepek, orvosi implantátumok és gumikesztyűk gyártása ma már széles körben megoldott LSR-ből. Alkalmazása egyre gyakoribb az elektronikai berendezésekben; konnektorok, O-gyűrűk, tömítések, membránok és üzemanyag-szállító rendszerek alkatrészei is készülnek belőle. Ugyanígy a fokozott termikus hatásnak kitett konyhai cikkek „soft touch” (puha fogású) részeinél az LSR helyettesíti a korábban alkalmazott TPE-t. *Az USA-ban az összes szilikongumi termék 10–15%-a LSR-ből készül, és a világátlagot tekintve 25% ez az arány.* Az USA piacának becsült nagysága évi 8–9000 tonna LSR, mintegy 85 millió USD értékben.

Többkomponensű LSR termékek gyártása

Számos új technológiai megoldás segítségével új utak nyíltak a többkomponensű vagy 2K darabok gyártására, ezáltal lehetségessé vált többféle alapanyag, többféle keménység vagy szín egy terméken belüli alkalmazása.

Korábban az volt a jellemző, hogy a többkomponensű (hőre lágyuló+LSR) darabok gyártását két különálló fröccsgépen végezték, és az elsőként fröccsöntött darabot áthelyezve egy következő szerszámba erre fröccsöntötték az LSR réteget, kihasználva az első fröccsdarab maradék hőmennyiségét az LSR vulkanizálásához. Már 1988-ban megépítette a japán **Nissei** azt a fröccsgépet, amely képes volt a termoplasztikus darabot és a ráfröccsöntött LSR réteget egy bonyolult szerszám segítségével egy gépen létrehozni. A szerszámnak volt egy hideg és egy meleg oldala, egymástól termikusan jól elszigetelve. A hideg oldal volt a hőre lágyuló anyag befogadója, a meleg oldal pedig a *termoreaktív LSR vulkanizálását* végezte. A fenti technológiát továbbfejlesztve egyre újabb megoldásokkal jelentkeznek a gép- és szerszámgyártó cégek. Például 2006-ban az **Arburg** cég mutatta be *Allrounder 470U* típusú hidraulikus rendszerű fröccsgépét, amelyen 30% üvegszállal töltött PBT-ből gyárt 6 tüérintkezős – két ráfröccsöntött LSR elemet is tartalmazó – konnektort. Az LSR hidegbeömlője 20 °C-os, a szerszámüreg pedig 200 °C-os, a PBT forró csatornája 250 °C-os, a szerszám pedig 100 °C-os. A fenti darab ciklusideje 30 s. A PBT vertikális elrendezésű fröccs egységen, míg az LSR horizontális egységen kerül feldolgozásra. A szerszám 4+4 belyeges, gyártója a LSR specialista **Rico Elastomere GmbH** (Ausztria).

Kulcsfontosságú az LSR/termoplaszt 2K-s termékek gyártásánál a *két anyag közötti tapadás*. Eleinte szimplán alámetszéses részeket alakítottak ki a hőre lágyuló darabok felületén, így a ráfröccsöntött LSR mechanikailag kötődött az ebből készült darabhoz. Később ultrahangos, plazma vagy kémiai felületkezelés biztosította a jó tapadást a két anyag között. Manapság elterjedt a speciálisan a célnak megfelelően modifikált szilikonanyagok alkalmazása, így *kémiai kötés jöhet létre a két különböző típusú anyag között*. Kifejlesztettek fém felületekre való LSR ráfröccsöntési technológiát is, itt pl. anodizált alumínium vagy homokfúvással előkészített egyéb fémfelület biztosítja a megfelelő tapadást.

Multikolor rendszerű géppel és szerszámmal elérhető, hogy egyetlen fröccs egységgel három különféle szín állítható elő egy terméken belül. A **Toshiba Machine Co.** (Japán) *EC-NII* teljesen elektromos fröccsgépén egyetlen fröccshenger adagolja a színtelen LSR anyagot a szerszámig, és egy szelepes beömlőrendszer adagolja a színezőanyagot az LSR-hez, mielőtt az bejut a szerszámba.

Az **Engel** is bemutatta, hogy van gépe két különböző keménységű LSR anyag 2K fröccsöntésére. Itt egy gépjármű üzemanyagrendszerének alkatrészeit gyártották, a fröccsdarab magja egy olcsóbb LSR-ből készült, így a külső, drágább LSR rétegből csak kevesebbet kellett használni. Egy másik érdekes termék a vízcsapok PA66-ból gyártott szűrője, amelyet a hozzá jól tapadó LSR típusal fröccsöntenek körül (*1. ábra*).

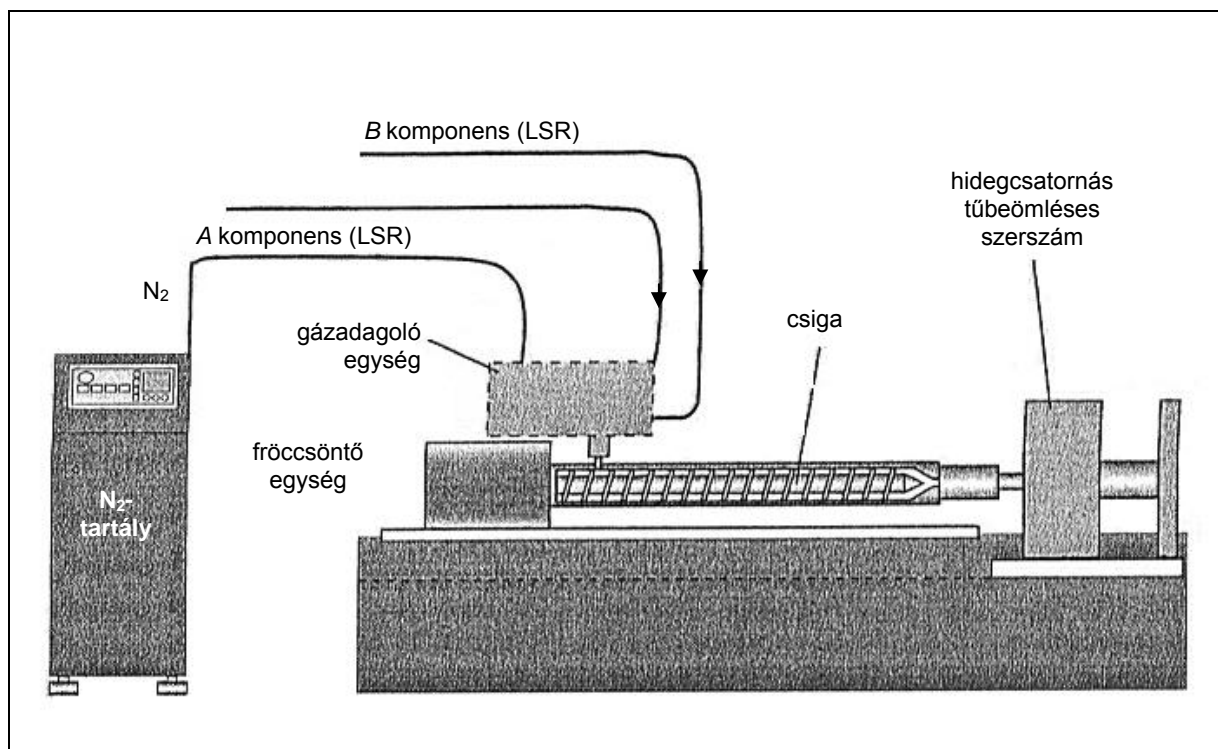
Habosított LSR termékek

A szén-dioxiddal vagy nitrogénnal végzett fizikai habosítás mutatkozott a legígéretesebbnek az LSR habosítására. A **Sulzer Chemtech** (USA) *Optifoam* eljárásával 30–60% tömegcsökkentés érhető el a habosítással, így a drága alapanyagból jelentős

megetakarítás az eredmény. Ugyanakkor 50%-kal csökkenthető a termék keménysége, ezzel jelentősen javítható az adott termék „fogása”. A habosítatlan LSR sűrűsége $1,1 \text{ g/cm}^3$, a habosítotté $0,45 \text{ g/cm}^3$ -ig csökkenthető. Az alkalmazott gáznyomás 100–200 bar, az LSR mindkét komponensébe belevezetik a gázt szuperkritikus állapotban. A komponenseket sztatikus keverőben elegyítik, ez 2–3-szor hatékonyabb, mint pl. egy fröccshengerben végzett keverés kémiai habosítószerrel, és a nyíró-igénybevétel is kisebb. A fröccshenger zárófűvökával van ellátva, így megakadályozható a rendellenes habosodás.



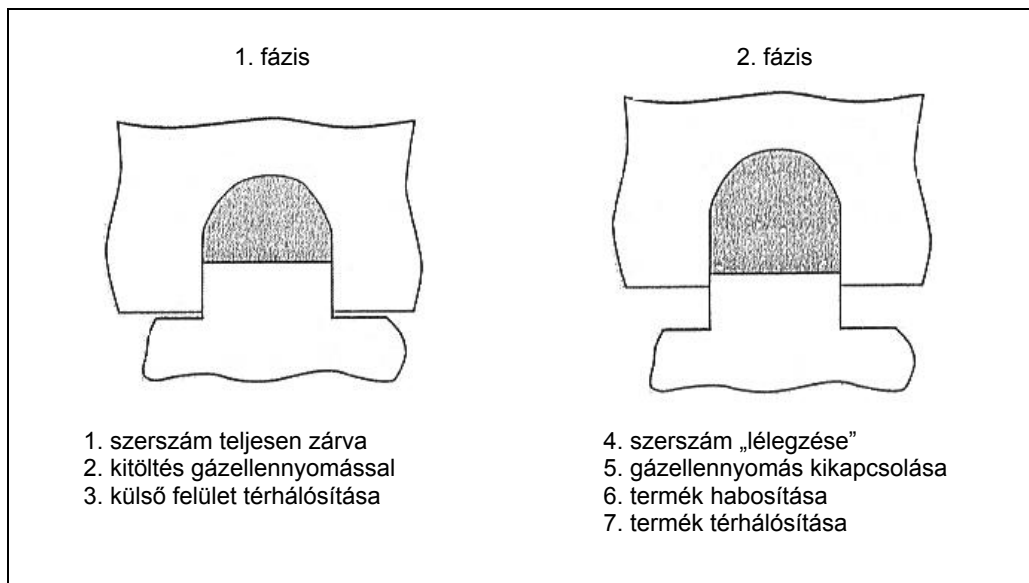
1. ábra 2K fröccsöntéssel készített szűrő vízcsapokhoz: szűrőbetét PA66-ból, ráfröccsöntött tömítőréssz LSR-ből.
Fröccsgép: horizontális elrendezésű Engel



2. ábra Berendezés habosított LSR fröccsöntéshez

Az aacheni **Műanyag-feldolgozó Intézetben** kidolgoztak egy nitrogénnel működő habosító berendezést LSR fröccsöntéséhez. A berendezés működési elvét az *2. ábra*

szemlélteti. A kísérletek során az egyenletes habszerkezet eléréséhez *gázellennyomást* kellett alkalmazni, azaz a polimer bevezetése előtt adott nyomáson nitrogént adagoltak az üregbe. Ez az ellennyomás megakadályozza, hogy a szerszámban az elasztomer habosodjon a fröccsöntési folyamat befejezése előtt. Még egy módosítást bevezettek a hagyományos habosításhoz képest, az ún. „lélegző” szerszámot, amelynek működését a 3. ábra mutatja. Első lépésben a zárt szerszámba a gázellennyomással bejuttatják a még nem habosított anyagkeveréket, amelynek külső felülete térhálósodik. Ekkor kinyitják kissé a szerszámot, aminek hatására a nyomás csökken, és az anyag habosodni kezd. Mivel a teljes folyási út mentén azonos a nyomásesés, ezért homogén habszerkezet jön létre. Az eljárással kompakt külső felületű és habos maggal rendelkező terméket lehet előállítani.



2. ábra Az LSR habosításnál alkalmazott „lélegző” szerszám működési elve

Az aacheni kutatók a habosítással kombinált LSR fröccsöntést négyféle *Elastosil* szilikonkaucsukkal (gyártó: **Wacker Chemie AG**) és a **GE Bayer Silicones GmbH & Co.KG. LR 2650** LSR típusával vizsgálták. A vizsgálati paraméterek változtatásával kb. 50%-os sűrűségcsökkentést sikerült elérniük, amellett, hogy a minta keresztmetszetében a sűrűség nem volt homogén. A sűrűségeloszlás megállapítására a minta különböző rétegeiből a biopsziához használt hasonló eszközzel minihengereket vágtak ki, amelyek sűrűségét a tömeg és a méretek ismeretében határozták meg. A legkisebb és a legnagyobb érték között 20% eltérést tapasztaltak, a sűrűség a minta belseje felé nőtt. A hővezető képesség a különböző építőelemek tömítőprofiljainál fontos tulajdonság, ezért ezt a tulajdonságot is mérték a sűrűség függvényében. A sűrűség csökkenésével a hővezető képesség lineárisan csökkent. A habosított LSR minták deformálhatósága

elsősorban az adagolt anyagmennyiségtől (és az ezzel szoros összefüggésben álló sűrűségtől) függött.

Mega- és mikroméretű darabok LSR-ből

Már vagy tíz éve jól funkcionálnak az LSR-ből készült szigetelőelemek, amelyeket a nagyfeszültségű elektromos vezetékek alkatrészeiként használnak. Úgy tűnik, hogy ezek kiváltják a korábban EPDM, porcelán-, ill. kerámiabázisú elemeket. Itt 2,5–3 m hosszú darabokról van szó, ezek tömege akár 45 kg is lehet. A korábban kerámiából készülő darabok túlságosan nehezek voltak, ezek gyártása, szállítása, beszerelése sokkal komplikáltabb volt, mint az LSR daraboké.

Az LSR fröccsöntését végző cégek egyre inkább felfedeznek egy ősrégi fröccsöntési módszert, az *intrúziót*. Ezzel lehetségessé válik, hogy viszonylag kis kapacitású fröccsgépeken nagyméretű darabokat gyártsanak. Például a **Limtech Inc.** (USA, Wis.) egy 220 g fröccskapacitású gépen 500 g-os darabokat gyárt ezzel a technikával egy 88 tonnás **BOY** fröccsgépen. Az eljárás teljesen analóg a hőre lágyuló műanyagoknál régóta alkalmazott intrúzióval: a csiga egyhelyben forog „befröccsöntéskor”, mint egy extruderben, így tölti fel a szerszámot anyaggal, ezután pedig egy kisebb anyagfröccsel hozza létre a szükséges nagyobb nyomást a szerszámban.

A mikroméretű fröccsöntött LSR termékek skálája is egyre bővül. Előfordul pl. 128 bélyeges szerszámban gyártott 0,1–0,2 g-os termék is, de az ismert legkisebb tömeg 0,0001 g/db, és mindössze 1,5 mm-es a méret. Az ilyen jellegű termékek felhasználási területei elsősorban a gyógyászat egyes ágazatai, az implantátumok, hallásjavító eszközök gyártása.

Új LSR alapanyagok

Több száz kétkomponensű LSR alapanyag létezik a piacon, a **Wacker**, a **Dow Corning** és más gyártók igen széles palettát kínálnak felhasználóiknak. De van egy új irány is: a **Laur Silicons** elsőként forgalmaz *egykomponensű LSR-t*. Ennél természetesen nincs szükség keverésre, hacsak nem színes terméket akarnak gyártani. Négyféle keménységű LSR-t forgalmaznak, Shore A 31–60 között. Az egykomponensű LSR alapanyag eltarthatósága 3 hónap, amennyiben 32 °C alatt tárolják. Az anyag árfekvése is kedvező, alacsonyabb, mint a kétkomponensű LSR-é.

A **Bluestar Silicons** cég ún. „öntapadós” LSR rendszert gyárt, ez az anyag a hőre lágyuló komponensre ráfröccsöntve megfelelő szilárdsággal tapad ahhoz. Alkalmazása: gyógyászati termékek.

A **Dow Corning** is kidolgozta öntapadós LSR típusait, ezek PA, PBT, esetlegesen PC/ABS anyagokhoz jól tapadnak. Egy szokatlan öntapadó LSR típust is forgalmaznak, ez ráfröccsöntve megfelelően tapad a termoplasztra, viszont recikláláskor könnyen elválasztható attól. A cég bemutatta továbbá új, igen kiváló mechanikai tulajdonságokkal bíró típusait, ezekből pl. cumit, élelmiszertároló edényekhez szelepeket és tömítéseket, mobiltelefon-nyomógombokat, sütőedény-fogantyúkat és szőnyeget

gyártanak. A cég új fluor-szilikon LSR típusok kifejlesztésébe kezd autóiipari felhasználásokat célozva.

Több LSR alapanyaggyártó kezdte el forgalmazni az ún. *önkenő LSR típusait*. Ezeknél az LSR tartalmazza a kenőanyagot, és az alkalmazása során mintegy kiizzadja azt magából a termék.

A **Wacker** cég igen széles öntapadós LSR termékskálát vonultat fel: standard, gyógyászati, önkenős, olajálló típusokat, ezek mind megfelelő szilárdsággal tapadnak a legtöbb termoplaszthoz.

Egy külön terület az emelt tépőszilárdságú LSR típusok kifejlesztése, ugyanígy a rövidebb vulkanizálási időigénnyel rendelkező anyagok kidolgozása. A **Bluestar** cég pl. 175 °C-on 12–13 s-os hőkezelést igénylő LSR anyagot dolgozott ki. A cég egy másik fejlesztés alatt álló típusa egy 5 Shore A keménységű, gélszerű anyag gyógyászati alkalmazásokra.

A **Momentive Performance Materials** cég 2007-ben Düsseldorfban bemutatta új, átlátszó, magas (1,5 körüli) törésmutatójú LSR típusát. Ezt az anyagot bonyolult geometriájú *optikai lencsék gyártására* javasolják üveg helyettesítésére, pl. a LED-ek esetében. A cég UV-sugárzással elősegített térhálósítással is kísérletezik, ez csökkenti a ciklusidőt, mivel a formadarab a szerszámban kapja az UV-kezelést.

A **Shin-Etsu** cég négy új LSR típust dobott piacra, az 5–20 Shore A tartományban. Ezek jobb fogást biztosítanak az emberi kéznek a különböző felhasználási területeken, ugyanakkor megfelelő szilárdsággal bírnak, a légység ellenére. Kidolgoztak még új, magas hőállóságú, de alacsony illóanyag-kibocsátású, önkenő típusokat is autóiipari felhasználásra.



4. ábra A KE2004-20-as típusból fröccsöntött fülldugók jól bírják a szerszámból való kivétel okozta igénybevételt

A Shin-Etsu Silicons of America kínálja a piacon a legmagasabb tépőszilárdságú LSR-t, a KE2004-20-as típust. Ez az anyag lehetővé teszi, hogy speciális termékeknél, ahol pl. 0,25 mm-es falvastagságú részek és alámetszések nehezítik a fröccsöntésnél a szerszámbontást, biztonságosan megoldható legyen a nagyon puha termék (20 Shore A) eltávolítása a szerszámból (4. ábra). Ilyen árucikk pl. egy 16 bélyeges szerszámban

gyártott, úszáshoz és zajártalom ellen használt füldugó, amelyet korábban csak nagy nehézségek árán, sok veszteséggel, hulladékkal lehetett gyártani, mert a fröccsöntött darabokból sokszor beszakadtak kisebb-nagyobb részek a szerszámba, ezért sűrű leállítások voltak a szerszámtisztítások miatt. Ez a típus még két előnyös tulajdonsággal rendelkezik: a gyors vulkanizálás miatt rövid a ciklusidő, és nincs olyan mértékű anyaglerakódás a szerszám felületén, mint a korábbi LSR típusoknál. Így adott esetben a fentiek végeredménye 100%-os termelékenységnövekedést jelent a feldolgozónál. A különböző gyártók 20 Shore A keménységű LSR típusainak tulajdonságait az 1. táblázat mutatja.

1. táblázat

20 Shore A keménységű LSR típusok összehasonlítása

Tulajdonság	„A” beszállító	„B” beszállító	Shin Etsu
	LSR A	LSR B	KE2004-20
Sűrűség, g/cm ³	1,1	1,09	1,09
Viszkozitás, Pa/s	170	250	625
Shore A-keménység	20	20	22
Szakítószilárdság, MPa	8,3	6,1	5,8
Nyúlás, %	810	1000	870
Tépőszilárdság, N/cm	185	103	373
Maradó deformáció, %	14	65	15
Vulkanizálási idő, min	5	10	10
Vulkanizálási hőmérséklet, °C	166	175	120
Utóhőkezelés, h	4	–	1
Utóhőkezelési hőmérséklet, °C	200	–	150

A táblázatban szereplő adatok az ASTM szabványok szerinti vizsgálatok eredményei. A nagyüzemi gyártásban a KE2004-20 típusú LSR anyag kevesebb, mint egyperces ciklusidővel feldolgozható 150 °C körüli hőmérsékleten, és nem igényel utóhőkezelést a termék. A KE2004-20-as típus tépőszilárdsága dupla akkora, mint az összehasonlító típusé.

A **Silcotech** cég érdekes új anyagkombinációkat mutatott be 2007-ben Düsseldorfban. Az egyik ilyen volt a kétszínű és kétféle Shore A keménység kombinációjával egy szerszámban készült cumi, a másik az LSR-ből készült számítógép-billentyűzet, amelyben egyszerre kétféle keménységű, elektromosan vezetőképes és nem vezetőképes anyagot dolgoztak össze.

Fejlesztések az LSR szerszámok területén

Európában három vezető LSR szerszámgyártó működik, mindhárom osztrák, ezek lehetőség szerint a nyitott, nem szelepes beömlőrendszert részesítik előnyben az

LSR szerszámok tervezésénél. Ez a rendszer egyszerűbb, kevesebb a meghibásodási lehetőség, és 50 %-kal olcsóbb a szelepesnél.

A szerszámfejlesztések iránya az egyre nagyobb bélyegszám elérése. Jelenleg a *256 bélyeges (0,1 g/db tömegű termék) szerszám a csúcs*. A szerszámgyártó az osztrák **Elmet** cég, a fröccsgép **KraussMaffei** gyártmány. Az Elmet egyébként saját tervezésű, kulcsrakész, kétkomponensű adagolórendszereket is forgalmaz LSR anyagokhoz.

Nagyobb darabok gyártásához a **D-M-E** cég standardizált hidegsatornás rendszereket fejlesztett ki, amelyekkel 0,5–60 kg tömegű termékek állíthatók elő. A D-M-E cég az LSR szerszámainál alkalmazza a négy évvel ezelőtt a **T Mould** cég által hőre lágyuló műanyagokhoz kifejlesztett ún. *tandem elrendezésű szerszámrendszert*. Ezzel a rendszerrel *40% költségcsökkentés érhető el*, mivel nem kell két fröccsgép költségeivel kalkulálni, a szerszám kétoldali használatával az eredeti ciklusidő majdnem felére csökkenthető.

Fröccsgépek és adagolórendszerek LSR feldolgozáshoz

A legtöbb fröccsgépgyártó cég ajánl egy külön LSR feldolgozására szolgáló ún. csomagot, amely tartalmazza a szükséges csiga, csigaház, fűtő-, hűtő- és adagolórendszer elemeit, ill. ezek gyártóinak névsorát. Az adagolórendszerek legismertebb gyártói a **2KM**, a **Fluid Automation** és a **Graco/Liquid Control**. A 2KM bemutatta 2007-ben Düsseldorfban új, teljesen elektromos meghajtású adagolórendszerét (korábban a hidraulikus megoldások voltak a jellemzőek). A rendszer lehetővé teszi, hogy az A és a B LSR komponensek keverési arányát úgy változtathassa a felhasználó, hogy a termék tulajdonságait saját maga tudja optimalizálni.

Összeállította: Csutorka László

Knights, M.: Injection molding LSR: three M's of innovation: Mega, Micro, and Multi. = *Plastics Technology*, 53. k. 11. sz. 2007. p. 58–61, 63–67, 78.

Naitove, M.: New material cures LSR molding headaches. = *Plastics technology*, 54. k. 3. sz. 2008. www.ptonline.com/articles/200803_real.html

Two-color, dual-hardness LSR molding. = *Plastics Technology*, 53. k. 12. sz. 2007. p. 11.

Haberstroh, E.; Opdenwinkel, K.: Stickstoffgetriebenes Schäumen von LSR im Spritzgießprozess. = *GAK*, 61. k. 3. sz. 2008. p. 155–161.

Egyéb irodalom

Kleinebrahm, M.: Mikrospritzguss erfordert besondere Feingefühl. (A mikrofröccsöntés különleges odafigyelést igényel.) = *K-Berater*, 52. k. 10. sz. 2007. p. 63–68.

A mikrofröccsöntésben a ciklusidő állandósága alapkövetelmény. A teljes folyamatot a feldolgozási hőmérséklet és a tartózkodási idő révén lehet befolyásolni. A kismértékű zavarok sokkal nagyobb változásokat idéznek elő, mint a klasszikus fröccsöntésnél. Emiatt nagyon fontos a fröccsöntés teljes folyamatának stabilitását biztosítani.

www.quattroplast.hu