

Vékony falú alkatrészek fröccsöntése folyadékkristályos polimerekből (LCP)

Az LCP polimerek különlegessége a nagy hőállósággal párosuló nagy folyóképesség, amely a hőálló műanyagok területén ritka kombináció. Ezzel az anyaggal akár 0,2 mm falvastagságú konnektorok is gyárthatók kiváló minőségben. Az LCP sokoldalúsága miatt az alkalmazási lehetőségek tovább bővülnek a telekommunikáció, az elektronikai tokozás és a háztartási eszközök irányába.

Tárgyszavak: folyadékkristályos polimer; folyóképesség; fröccsöntés; hőállóság; piaci adatok; villamosipar; telekommunikáció.

Folyóképesség és termékminőség

A műszaki műanyagok fröccsöntésekor a műanyag folyóképességének döntő hatása van arra, hogy az ömledék milyen jól tölti ki a szerszámot és mekkora fröccsöntési nyomással és ciklusidővel dolgozhatnak. Ha kicsi a falvastagság (0,5 mm-nél vékonyabb) és nagyok a felületek, különösen ügyelni kell arra, hogy a műanyag mindvégig folyóképes maradjon. Csak ebben az esetben lesz ugyanis a termék mérettartó, vete-medésmentes és megfelelő felületi minőségű.

A folyóképesség összehasonlítható jellemzése érdekében leginkább két módszert használnak: a folyásiszám- vagy *ömledékindex-mérést* (MFI) ISO 1133 vagy DIN 53735 szerint és az ún. *spirálesztet*. Az MFI mérésnél adott hőmérsékleten a műanyagömledéket megadott terheléssel keresztülpréselik egy 2 mm átmérőjű nyíláson és mérik a kifolyt ömledék tömegét. A szabvány pontosan meghatározza a mérőberendezés felépítését, a melegített nyomóhenger, a dugattyú és a nyílás méreteit, valamint a mérés egyéb feltételeit. Az ömledék-hőmérsékletet úgy állítják be, hogy az, az adott műanyagra nézve a leggyakrabban használt feldolgozási hőmérséklet közelében legyen. A terhelés könnyen folyó műanyagoknál 2,16 kg, nehezen folyó műanyagoknál pedig 21,6 kg. A nyílásból kifolyó ömledékzsínort megadott időnként elvágják, majd megméri a lehűlt műanyag tömegét. Ezek középértékéből határozzák meg a 10 perc alatt kifolyó anyag mennyiségét. Az MFI értéket g/10 min egységben adják meg.

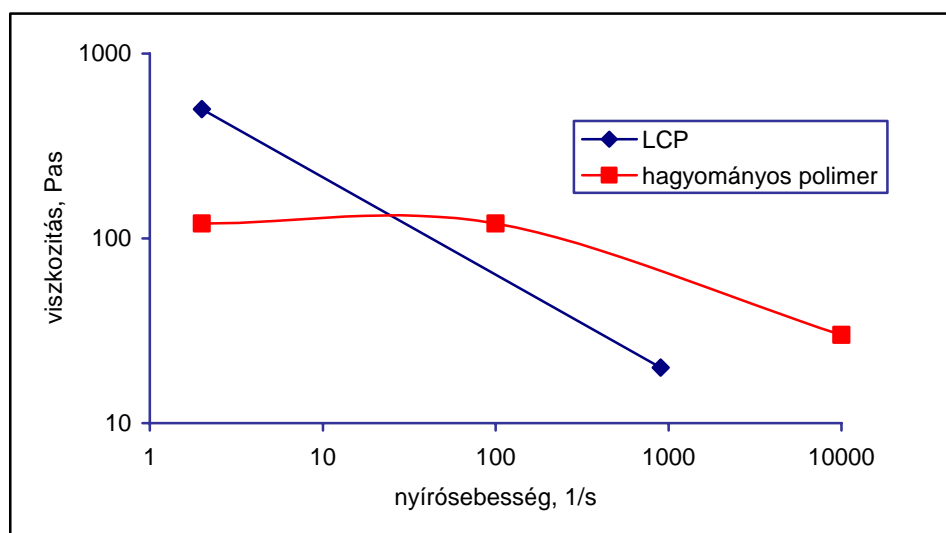
Az MFI mérésére majdnem teljesen automatizált berendezések állnak rendelkezésre, hiszen ez a mérés a leggyakrabban elvégzett minőségellenőrzési vizsgálatok közé tartozik. Ha az úgynevezett térfogati folyásindexet mérik, vagyis az extrudált ömledékzsínor hosszát (ez az ún. MVI érték), még egyszerűbb lesz az eljárás, és minőségbiztosítási célra, összehasonlító adatként sokszor ez is elég, hiszen állandó átmérő

esetén a két adat között a műanyag sűrűsége egyértelmű kapcsolatot biztosít. Ha bejövő anyagot ellenőriznek, vagy ha a feldolgozási hiba okát keresik, sokszor ennyi is elég. Az MFI értékének növekedése pl. termikus degradációt jelez az anyagban, tehát lehet, hogy a feldolgozási hőmérséklet túl magas volt. A mért MFI érték csak az azonos típusú műanyagok durva besorolásához elegendő, hiszen az MFI mérés során fellépő nyírási sebességek nagyságrendekkel kisebbek, mint pl. a fröccsöntés során.

Az ún. spirálfolyási teszt körülményei már sokkal közelebb állnak a valós feldolgozási körülményekhez. Itt olyan fröccsszerszámot használnak, amelynek spirális folyási útja van. Az anyagot a valós feldolgozásnak megfelelő körülmények között (megfelelő ömledék- és szerszámhőmérsékleten, nyomáson stb.) fröccsöntik a szerzámba, megméri a spirál hosszát, és kiszámítják a hossz/csatornaátmérő arányt. A viszkozitás ennél részletesebb jellemzésére (a hőmérséklet és a nyírósebesség függvényében) reométereket használnak.

Műszaki műanyagok folyási viselkedése

A nagyon kis (pl. 0,1 mm) falvastagságú termékek előállításához gyakran a folyadék-kristályos polimerek (liquid crystal polymer – LCP) jelentik a megoldást, mert velük nem csak hogy alacsony viszkozitás érhető el, hanem a rendszernek ún. *szerkezeti viszkozitása* van, ami azt jelenti, hogy a növekvő nyomással a viszkozitás csökken (1. ábra). Vagyis minél szűkebb nyílásba próbálják meg bepréselni, annál jobban folyik. Ez a tulajdonság nagyon jól használható pl. a számítástechnikában használt miniatűr érintkezők és dugaszolóaljzatok fröccsöntésénél. 22 mm hosszú folyásút és 0,2 mm falvastagság esetében a hossz/falvastagság arány 110, ennek ellenére a kitöltés jó és a termék sorjamentes, nem vetemedik, hosszú távon sem deformálódik és megfelelő merevségű.



1. ábra Egy hagyományos polimer és az LCP viszkozitásának függése a nyírósebességtől

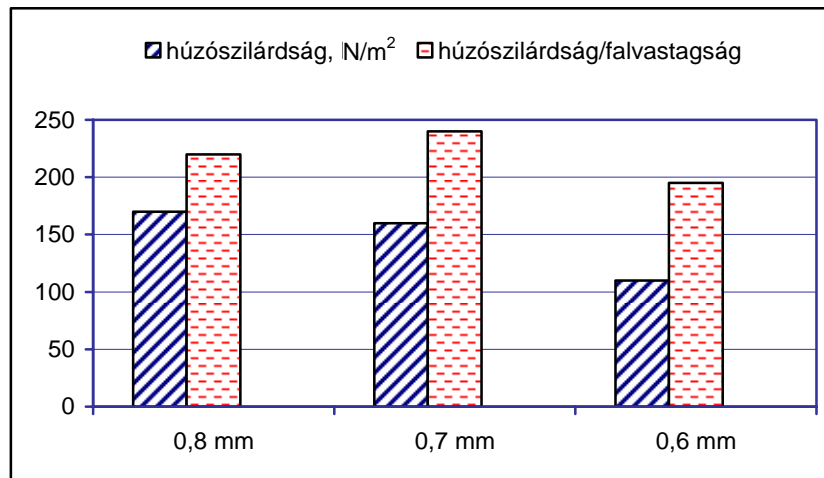
A vékony nyomtatott áramköri lemezeknek is jó méretstabilitással kell rendelkezniük, és vetemedés, valamint hólyagosodás nélkül ki kell bírniuk a 260 °C-os forrasztási hőmérsékletet, amit az ún. *reflow eljárásban* alkalmaznak ólommentes hegesztőanyagok használatakor. A vékony falú termékek nem szükségképpen kicsik: éppen a nagyobb daraboknál van különösen szükség arra, hogy tömegük ne legyen túl nagy (pl. gépkocsik fényszóró-alkatrészeinél). Az ilyen termékeknel különösen nagy szükség van a jó folyóképességre annak érdekében, hogy elég rövid legyen a ciklusidő. A fényszórók elemeit éppen ezért pl. erre a célra fejlesztett *Zytel 103 HSL* típusú poliamidból gyártják, amelynek megvan a megfelelő szilárdsága, ütésállósága és hőállósága – hiszen a lokális hőmérsékletek ebben az alkalmazásban a 150 °C-ot is elérhetik. A *Zytel HTN53G50RHF* még ennél is többet „tud”: annak ellenére nagy (a hasonló típusoknál 20%-kal nagyobb) folyóképességű, hogy 50 % (m/m) üvegszálat tartalmaz.

Folyadékkristályos polimerek (LCP) fröccsöntése

A folyadékkristályos polimerek, amelyek merev, rúd alakú egységekből épülnek fel, hajlamosak arra, hogy a szerszám feltöltése során a folyásirányban orientálódjanak. A kialakuló szerkezet egy kicsit a furnérlemezre emlékeztet, és önerősítést okoz a termékben. A vékony falú termékek ezért különösen merevek lesznek – a fémekhez hasonló mechanikai tulajdonságokat vesznek fel. Ez – a jó folyóképességgel együtt – azt eredményezi, hogy rövid ciklusidővel, gazdaságosan lehet vékony falú termékeket előállítani. *Az így előállított termékek rendkívül széles hőmérséklet-tartományban (-196 °C-tól +240 °C-ig) felhasználhatók.* Az LCP polimerek feldolgozhatók fröccsöntéssel és extrúzióval is, ezen belül a **Ticona** cég *Vectra* márkanévű LCP polimerjei elsősorban fröccsöntéssel. A feldolgozás normál berendezésekkel elvégezhető, és annak ellenére, hogy az alapanyag ára nagyobb sok versenytárs anyagénál, a jó folyóképesség miatt a termék darabára mégis olcsóbb lehet. A kis viszkozitás kisebb fröccsnyomást jelent és olcsóbb feldolgozóberendezéseket. A szerszámok vízzel temperálhatók, ami ismét csökkenti a gyártási költségeket. A kis olvadási és kristályosodási hőköve rövidebb ciklusidőket tesznek lehetővé. Az adagolási idő gyakran elegendő a hűtéshez. Sokszor azonban a szükséges anyagmennyiség csökkentésével is megtakarítást lehet elérni: 0,6–0,8 mm falvastagság mellett elegendően merev, ütésálló és mérettartó termékekhez jutnak (2. ábra).

Az LCP szerkezeti viszkozitása miatt az *anyag „önkenőnek” minősül*: a nagyobb súrlódású helyeken a viszkozitás lecsökken, és az anyag könnyen körülfolymja az akadályokat. Ez azt is jelenti, hogy az anyagnak nincs erős koptató hatása, standard acélból is készülhetnek a szerszámok, és az anyag kíméli a feldolgozó berendezést is. Ennek ellenére a csigameneteken felléphet kopás, ezért célszerű felületileg hőkezelt és nagy felületi keménységű csigákat használni. A hengernek legalább három temperálható zónát kell tartalmaznia, hogy pontosan lehessen szabályozni a hőmérsékletet. Annak ellenére, hogy az anyag hőstabilitása jó, arra kell törekedni, hogy a tartózkodási idő 5 perc alatt maradjon, és a fröccsgép kapacitását hozzá kell illeszteni a fröccsöntött darab tömegéhez. Az az ideális, ha a darab térfogata a maximális térfogatnak 50–70%-a

(a csigaátmérő 2–3-szorosa). Ahhoz, hogy ez a rövid tartózkodási idő tartható legyen, a csigának igen jó homogenizáló képességgel kell rendelkeznie.



2. ábra Vectra E130i natúr anyagból fröccsöntött termék falvastagságának hatása a merevségre

A csigageometria nem túl lényeges, egyre azonban oda kell figyelni: olyan csigát célszerű használni, ahol a behúzó, kompressziós és adagoló szakaszok nagyjából egyenletesen vannak elosztva a csigahossz mentén. Az L/D arányt 16:1 és 24:1 között célszerű választani. A kompressziós arány kisebb berendezéseknél célszerűen 2:1, nagyobb gépeknél 3:1 legyen. A kis viszkozitás miatt ügyelni kell arra, hogy a visszáramlás-gátlók megfelelően működjenek. Ha ezt nem sikerül elérni, a szivárgó visszáramok miatt előfordulhat, hogy a szerszám nem telik meg teljesen.

Furatok, előszárítás

A folyadékkristályos polimerek feldolgozhatók nyitott és zárószeleppel is. A kisebb (1,5–2,5 mm) átmérőjű furatok megfelelőek. Nyitott szelep esetében természetesen a kisebb átmérő előnyösebb. Külön előnyös, ha rövid beömlést alkalmaznak külön hőmérséklet-szabályozással, mert így az esetleges túlfolyás „befagyasztással” megelőzhető. A forrócsatornás rendszer kialakítása további megtakarításokat tesz lehetővé, hiszen kisebb lesz a hulladék mennyisége. (A beömlőcsenk tömege kisebb termékek-nél összemérhető a darab tömegével). A különböző forrócsatornás megoldások közül előnyösebb a külső fűtésű rendszereket választani, mert ott egyenletesebb a hőmérséklet-eloszlás az egész beömlőcsatorna mentén. A forrócsatornák átmérőjét is célszerű kicsinek választani, és azt is figyelembe kell venni, hogy a bennük való tartózkodási idő hozzáadódik a fröccségységben eltöltött időhöz.

Annak ellenére, hogy maga az LCP nem nagyon vesz fel vizet, a termék minőségét javítja, ha feldolgozás előtt a granulátumot alaposan megszáritják. A szárítószek-

rény harmatpontját -40 °C -ra célszerű megválasztani, amivel a maradék nedvességtartalom 0,02%-ra csökkenthető. *Az anyagnak vannak negatív tulajdonságai:* pl. az összecsapási vonalak mentén a termék (hasonlóan a szálerősített anyagokhoz) gyengébb, mint a homogén felületeken. Az ok hasonló: mindkét típusú anyagban hosszú, merev egységek fordulnak elő, amelyek az összecsapásnál inkább az összecsapási vonallal párhuzamosan rendeződnek el, és ez gyengébb mechanikai tulajdonságot eredményez, mint ami „szá irányban” tapasztalható. A különbség annyi, hogy az LCP-ben a „szá lak” molekuláris méretűek. Ugyanilyen gyengülés tapasztalható a hegesztett kötések-nél. Ezt a hátrányt a tervezéskor figyelembe kell venni, és lehetőleg minimalizálni kell a gyenge helyek számát. Az összecsapási frontok számát csökkenti, hogy a kiváló folyóképesség miatt általában egy beömlő nyílás is elég – a hegesztési helyeket pedig igyekezni kell terhelés szempontjából nem kritikus pozícióba tervezni.

Az LCP polimerek alkalmasak fémek vagy kerámiák kiváltására, de versenyben állnak más nagy hőállóságú műanyagokkal (poliimidekkel, hőálló poliészterekkel). A váltás oka nagyrészt gazdasági: tömegcsökkentés, a darabár csökkentése (az autóiparban), vagy műszaki: sterilizálhatóság, méretpontosság, villamos szigetelés, csökkentett éghetőség (orvosi műszerek, villamos alkalmazások). Az anyagot azért is kedvelik, mert rendkívül jól reprodukálható minőségű termékek gyárthatók belőle (a selejtszázalék ezred százalékokban mérhető).

Főbb termelők és alkalmazások

Az LCP polimerek legfontosabb felhasználását ma is az elektronikai érintkezők, dugaszolóaljzatok (konnektorok) adják, de a gyártók megpróbálják kiterjeszteni az alkalmazást pl. az autóipari világítás, elektronikai tokozás és háztartási eszközök (pl. főzőedény-alkatrészek) területére. *A felhasználás évi 12%-kal nő a világon.* Tekintettel arra, hogy a legtöbb nagy elektronikai gyártó Ázsiába helyezte át termelését, az LCP felhasználás 67%-a is ide koncentrálódik, bár a fejlesztés zöme ma is az Egyesült Államokban, Európában és Japánban folyik. *Jelenleg 12 szállító van, amelyek közül 7 Japánban működik.* Ez alól kivételt képez az európai **Ticona**, amely egymaga 20%-kal részesedik a piacból. Ennek japán vegyesvállalata a **Polyplastics Co.**, valamint az ugyancsak japán **Sumitomo Chemical Co.** 12–12%-ot mondhat magáénak, a **DuPont Engineering Polymers** pedig 9%-ot. 2006-ban a teljes felhasználás kb. 30 ezer tonna volt, amiből kb. 20 ezer tonna jutott Ázsiára, 5,7 ezer tonna Amerikára és 3,9 ezer tonna Európára. Ennek 90%-a erősített, fröccsöntött anyag, a villamos alkatrészek piaca szívta fel a nyersanyag 86%-át. A kínai kereslet miatt a Ticona és a Sumitomo is új gyártóegységeket helyez üzembe Kínában.

A felhasználás fő hajtóereje az *elektronikai miniatürizálás*: az alkatrészek mind kisebb helyen kell, hogy elférjenek, ami megnövelt hőtermelést és magasabb működési hőmérsékletet is jelent. *Az LCP különlegessége a nagy hőállósággal párosuló nagy folyóképesség, amely a hőálló műanyagok területén ritka kombináció.* Ezzel az anyaggal akár 0,2 mm falvastagságú konnektorok is készíthetők. A zsugorodást és a méret-tartóságot üvegszálak és ásványi töltőanyagok hozzáadásával javítják. A töltő- és erő-

sítóanyag-tartalom 40–50 %(m/m)-ot is elérhet. Az új típusokkal igyekeznek csökkenteni a hegedési varratszilárdsággal kapcsolatos problémákat is.

Az LCP típusok lassan utat találnak más, magas hőmérsékleten működő háztartási eszközökbe is, pl. a hordozható CD lejátszókba. A másik fejlesztési irány a kisebb dielektromos veszteségű termékek kialakítása, amire különösen a nagy frekvencián működő (elsősorban telekommunikációs) berendezések csatlakozóiban van szükség. A növekvő felhasználási területek között említhetők a hőálló sütő/főző eszközök (pl. mikrohullámú sütők, tepsik, serpenyők) alkatrészei és a világítási alkatrészek. A mikrohullámú sütőbe helyezhető műanyagtermékek egyúttal mélyhűthetőek is. A műanyag eszközök felszíne sima, az étel nem tapad hozzá, és könnyen tisztíthatók. A világítás-technikában az LCP előnye a hőállóság mellett a rendkívül csekély gázképződés. Ebben az alkalmazásban (különösen a kompakt tervezésű autóiipari fényforrásoknál) az *LCP sok helyen kezdi helyettesíteni a hagyományosan használt PBT-t és PPA-t*. A meglegházakban alkalmazott nagy sűrűségű kisülésses fényforrásokban az LCP sok esetben olcsóbb, mint a versenytárs kerámia vagy hőre keményedő anyagok.

Fontos új alkalmazási terület az elektronikai tokozás is, az ún. *levegőüreges tokozás* (air cavity packaging), amelyben mikrokapcsolókat (MEMS), integrált áramköröket és más érzékeny elemeket helyeznek el, hogy megvédjék őket a környezeti és mechanikai behatásoktól. Az ilyen „csomagok” mérete 38x38 mm alatti, tartalmaz egy „dobozt”, egy „fedele” és egy csatlakoztató keretet (lead frame). Különleges, szabaddal védett eljárás szigeteli el a falon áthatoló huzalokat a környezettől – a fröccsöntés során kis mennyiségű epoxigyantával szigetelik a tokozott rendszert.

A standard típusok mellett kis mennyiségben szükség van speciális (pl. hő- vagy villamos vezető, galvanizálható stb.) kompaundokra is LCP-ből. Például az **RTP** kínálatában szerepelnek kis súrlódású, kopásálló, EMI árnyékoló stb. LCP típusok. A korábbi **GE Plastics** (most **SABIC Innovative Plastics**) vállalatcsoporthoz tartozó másik nagy kompaundáló, az **LNP** ugyancsak kínál PTFE töltésű, szénszállal erősített, szénnanocsövekkel vezetővé vagy sztatikusan disszipatívva tett elektronikai és egyéb LCP típusokat.

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

Class, H.; Schmidt, H.; Winnemann, D.: Nicht nur für kleine Teile. = *Plastverarbeiter*, 58. k. 4. sz. 2007. p. 72–74.

Hofmann, A.: Mehr ist oft weniger. = *Plastverarbeiter*, 58. k. 9. sz. 2007. p. 126–128.

Grande, J. A.: Smaller, thinner connectors drive LCP growth. = *Plastics Technology*, 53. k. 10. sz. 2007. p. 41, 43–45.