

## Hőre lágyuló műanyagok és szilikongumik fizikai habosítása

A fröccsöntés során habosított hőre lágyuló műanyagtermékeknek nemcsak a kisebb sűrűség az előnyük, hanem a habszerkezet maga, amely a termék mechanikai tulajdonságait is módosítja. Az alábbiakban a PBT, az elasztomerek és a szilikongumi fröccshabosításának néhány új eredményét ismertetjük.

*Tárgyszavak: fizikai habosítás; poli(butilén-tereftalát) – PBT; elasztomer; szilikongumi; fröccsöntés; fejlesztés.*

### Elasztomerek fizikai habosítása a fröccsöntés során

A habosított elasztomer formadarabok előállítására fröccsöntéssel a habosított termékek előnyeit (alacsony sűrűség, jó szigetelőképeség, nagy összenyomhatóság) ötvözi az automatizált gyártással, aminek eredményeképpen költséghatékonyan állíthatók elő különböző komplex formájú alkatrészek. A *fizikai hajtóanyagok (gázok)* alkalmazása általában jelentős gazdaságossági és ökológiai előnyt is jelent a kémiai habosítással szemben. Míg a hőre lágyuló műanyagok habosításánál a fizikai habosítók alkalmazása már széleskörűen elterjedt, az elasztomerek feldolgozásában egyelőre nagyobb részt képvisel a *kémiai habosítás*, és ipari méretekben azt is csak az extruderes technológiánál alkalmazzák. Ez az eljárás viszonylag egyszerű, de viszonylag drága vegyszereket igényel, amelyek terhelik a környezetet, és fennáll annak is a veszélye, hogy a habosítószer benne marad a késztermékben.

Az elasztomerek fizikai habosítását eddig kevésbé vizsgálták, bár ez az eljárás nagyon sok előnyt ígér: alacsonyabb költségeket, kisebb környezeti ártalmat és nagyobb habosítási fokot. Előny az is, hogy a fizikai habosítót elég a feldolgozásnál adagolni, ami lehetővé teszi a habosítás igények szerinti pontos beállítását. A német **IKV**-nál (Institut für Kunststoffverarbeitung, Műanyag-feldolgozó Intézet) *állami támogatással kísérleti berendezést fejlesztettek ki az elasztomerek fröccsöntéssel történő habosítására.*

A kísérleti berendezés alapja egy *VCE 300/160 b compact* típusú fröccsgép (gyártó: **LWB Steinl**, Landshut, Németország), ehhez a svájci **Sulzer** cég által kifejlesztett gázkeverő egységet kapcsoltak, amellyel a hajtóanyagot az ömledékbe vezették és homogenizálták. A kritikus hőmérséklet feletti állapotban lévő hajtóanyagot a német **Maximator** cég *DS 500/1* típusú berendezése szolgáltatta.

A kísérlet során egy 150 mm átmérőjű tömítőgyűrűt állítottak elő, tekintettel, hogy ez fontos alkalmazás lehetne. Mivel a habképződés függ az anyagspecifikus tulajdonsá-

goktól, különböző Shore keménységű elasztomerekkel végezték el a kísérleteket. *Hajtóanyagként nitrogént vagy szén-dioxidot használtak.* A habosítás optimalizálása céljából vizsgálták a feldolgozás paramétereit, az adagolási térfogat, az anyaghőmérséklet, a fröccsöntési sebesség hatását a habosításra és a késztermék tulajdonságaira.

Megállapították, hogy azonos adagmennyiségek mellett a fröccsöntés sebessége jelentősen befolyásolja a hab szerkezetét. Kis sebességeknél inhomogén hab képződik: a keresztmetszet közepében egyenletes a buborékok eloszlása, de a habszerkezetű mag és a külső nem habosított héj közötti átmeneti tartományban nagyobb buborékok képződnek. Ezt a jelenséget a szerszámkitöltés során adódó kisebb nyomáseséssel magyarázzák.

A keresztmetszet felületének nagysága – az anyaghőmérséklettől függően – változik, az azonos adagolási térfogat ellenére. Növekvő anyaghőmérséklet nagyobb méretpontosságot eredményez, a kisebb sebességeknél a formadarab a formából való elvétel után mintegy felfúvódik, a tömítőgyűrű eltér a kívánt geometriától.

A hajtóanyag hatását 35 Shore A keménységű EPDM-mel vizsgálták az ún. lélegző szerszámmal. Ezt az eljárást negatív préselesnek is nevezik. A fröccsöntés első fázisában a gázt is tartalmazó ömledékkel töltik meg a szerszámot, ekkor megkeményedik a külső réteg. Ezután nyitják meg a szerszámot, ami további habosítást, sűrűségcsökkenést eredményez. Végeredményben így *integrálhabot kapnak, amelynél egy cellás szerkezetű magot zárt külső héj vesz körül.*

A habosításra használt gázok közül az elasztomerekben jobban abszorbeálódó *szén-dioxid bizonyult előnyösebbnek,* ugyanis jelenlétében kisebb gáznyomásokkal lehet dolgozni, a keletkező habszerkezet sokkal homogénebb és a hibahelyek száma is kicsi. Hátránya viszont, hogy a nagyobb hajtóanyag-felvétel miatt a formából való elvétel után a gyűrű nem mérhető.

A kifejlesztett berendezéssel a fröccsöntés során fizikai habosítással (gázbevezetéssel) megfelelő szerkezetű és tulajdonságú tömítőgyűrűket állítottak elő. A merülőéles szerszám (Tauchkantenwerkzeug) megfelelő kialakításával tovább javítható a habszerkezet homogenitása a teljes folyási hossz mentén. (A szerszám részleteit nem ismertetik a szerzők – a szerkesztő megjegyzése). *A kísérletekben a nitrogénnel 35%, a szén-dioxiddal 55% sűrűségcsökkentést értek el.*

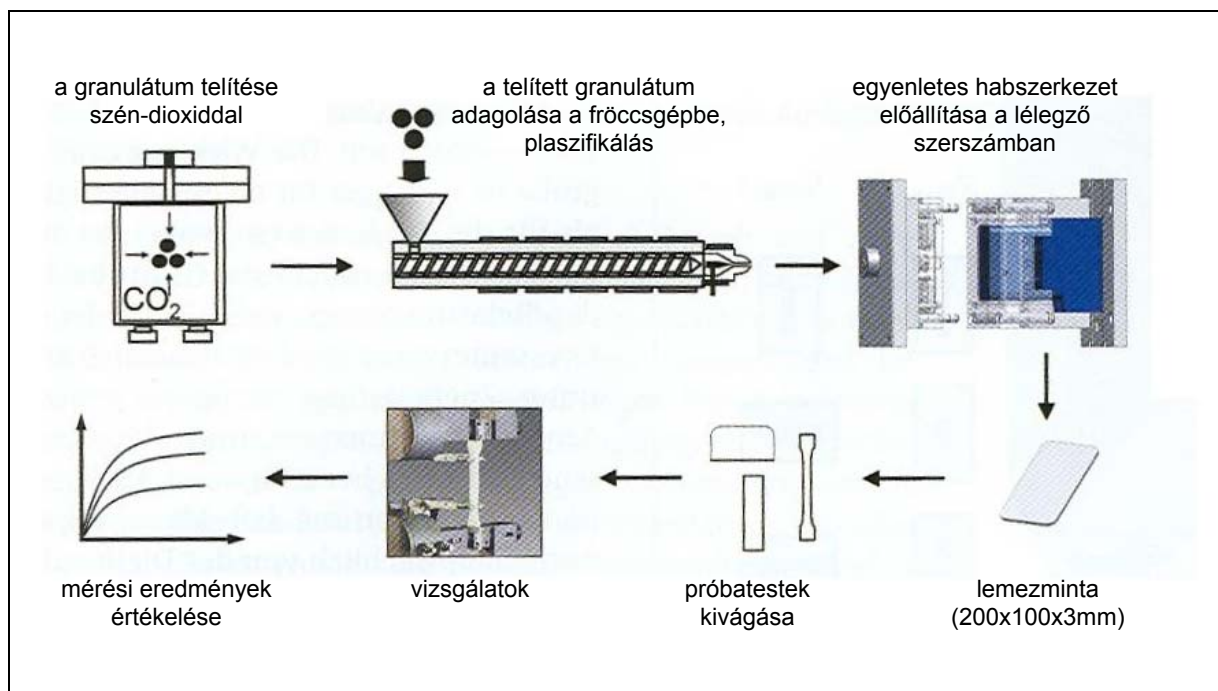
A fejlesztők a késztermék habszerkezetét még homogénebbé kívánják tenni és a kívánt sűrűségcsökkenés reprodukálhatósága tekintetében is van még tennivaló. Azt tervezik, hogy az eddig nyomással szabályozott gázadagoló egységet egy térfogati elven működő adagolóberendezésre cserélik.

## **Hőre lágyuló műanyagok fizikai habosítása**

A műanyag-feldolgozás speciális eljárása, amikor az anyagot a fröccsöntés közben habosítják. A német **IKV**-nál több éve kutatják a hőre lágyuló műanyagok habosítását a fröccsöntés során. Nem egyszerűen a kompakt anyaghoz képest elérhető sűrűségcsökkenés az érdekes, hanem, hogy a kialakuló habszerkezet miként befolyásolja a mechanikai tulajdonságokat. Mivel ennél az eljárásnál integrálhab, azaz mag-héj szerkezet jön létre, *a mechanikai tulajdonságok anizotrópiát mutatnak.* További célkitűzés,

hogy a kapott eredmények alapján általános következtetéseket lehessen levonni a szerkezet-tulajdonságok összefüggés előrejelzésére.

Az összefüggések feltárása céljából az IKV-ban kísértsorozatot végeztek, amelyben PBT alapanyagból fizikai habosítással összesen 90-féle habszerkezetet állítottak elő. A kísérlet folyamatábrája az 1. ábrán látható: a szén-dioxid habosítószer még a fröccsöntést megelőzően bekeverik (a granulátumot szén-dioxiddal telítik). A habszerkezetet a „lélegző” szerszámban hozzák létre, amely lehetővé teszi nagyon eltérő habszerkezetek előállítását. Az ábrából az is kitűnik, hogy a habosítással először egy 3 mm vastag lapot gyártanak, amelyből kifaragják a megfelelő próbatestet. Az integrál habszerkezet miatt ugyanis közvetlenül fröccsöntéssel nem lehet megfelelő próbatesteket előállítani, mint ahogyan a kompakt anyagoknál lehetséges.



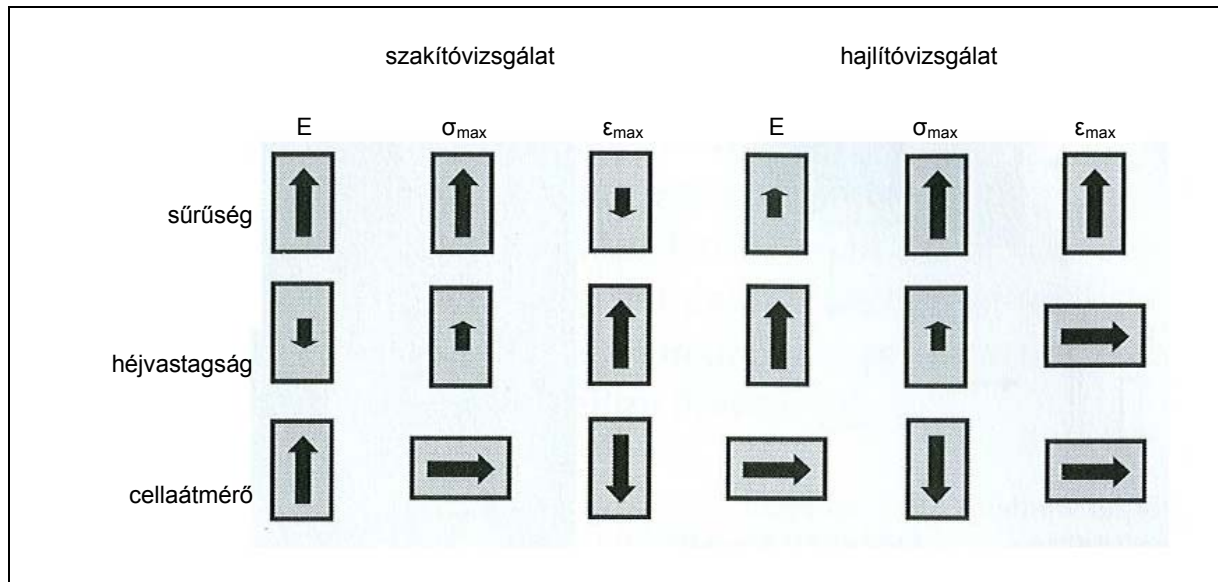
1. ábra Próbatestek előállítása és vizsgálata fizikai habosítással

Három morfológiai paramétert, a sűrűséget, a héj vastagságát és a cellaátmérőt változtatták a lélegző szerszám paramétereinek beállításával. A mechanikai tulajdonságok mérésével (szakítás, hajlítás) párhuzamosan mintát vettek a próbatestből, és speciális eljárással mikroszkóppal analizálták a habszerkezetet. A sűrűségcsökkenés 10–30%, a héj vastagsága 0,3–1,2 mm, a cellanagyság 20–160 mm között változott.

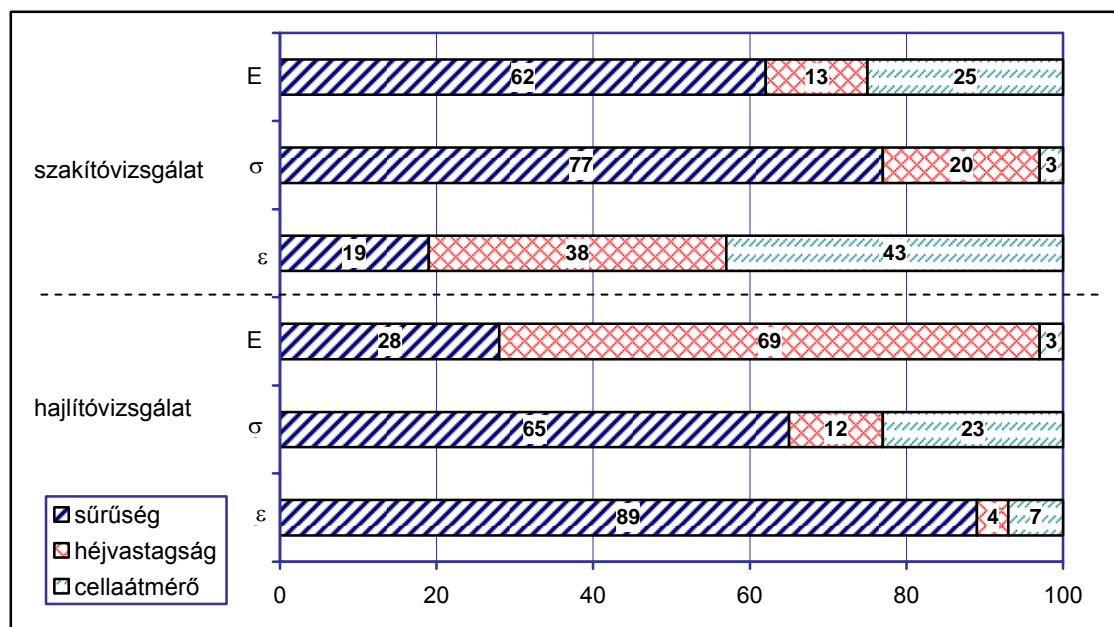
Az eredmények értékeléséhez a lineáris regressziós számításokat hívták segítségül. Mind a húzó-, mind a hajlítóvizsgálatnál meghatározták a lineáris regressziós koefficienseket valamennyi mért mechanikai jellemzőre: az E-modulusra (E), a maximális feszültségre ( $\sigma$ ) és a szakadási nyúlásra ( $\epsilon$ ). Ezeknek a koefficienseknek a segítségével meg lehet becsülni, hogy az egyes szerkezeti jellemzők változtatásának mekkora súlya van az adott mechanikai tulajdonság kialakításában. Pl. a cellanagyság hogyan

befolyásolja a szilárdságot vagy pl. a sűrűség csökkenését hogyan lehet a cellaméret és a héjvastagság változtatásával kompenzálni, hogy a merevség ne csökkenjen.

A nagyszámú eredmény alapján a habszerkezet jellemzői és a mechanikai tulajdonságok között minőségi, illetve mennyiségi összefüggést a 2. és a 3. ábrán feltüntetett adatok mutatják be. Az előbbin a hatásokat kvalitatíve ábrázolták, míg az utóbbin a hatások súlyát %-ban fejezték ki, feltételezve, hogy a három szerkezeti jellemző hatása összesen 100%-ot tesz ki.



2. ábra A habszerkezet kvalitatív hatása a termék mechanikai tulajdonságaira



3. ábra A habszerkezet kvantitatív hatása a mechanikai tulajdonságokra

Az ábrákból jól látható, hogy a szerkezeti jellemzők relatív súlya más a húzó- és más a hajlítóvizsgálatnál. A sűrűség változtatása pl. jelentős hatással van a húzómodulusra, míg a hajlításnál a héjvastagsággal lehet hatékonyabban optimalizálni ezt a tulajdonságot. A cellanagyság fontosabb a hajlítószilárdságnál, mint a húzószilárdságnál, míg a sűrűség változása egyformán hat mindkét jellemzőre. Érdekes módon a szakadási nyúlást legnagyobb mértékben a cella nagysága befolyásolja, míg a maximális feszültségnél mért nyúlás értéke leginkább a sűrűségtől függ. Húzó igénybevételnél a sűrűség növekedése pozitívan hat a modulusra és a szilárdságra és negatívan a szakadási nyúlásra. A héj vastagságának csekély hatása van a húzómodulusra és a húzószilárdságra, de a szakadási nyúlást jelentős mértékben befolyásolja. A cellaméret növelésével lehet a szakadási nyúlást növelni, mivel a cellák a repedések növekedését akadályozzák. Ezt a jelenséget habosított polikarbonátnál is megfigyelték.

Hasonlóan értékelték a hajlítási vizsgálatokat is. Itt a héj vastagságának növelésével lehet a hajlítómodulust növelni, a sűrűség változása nélkül. A termék merevségét gyakorlatilag nem lehet a cellamérettel szabályozni. A maximális hajlítószilárdságot finom habszerkezettel érték el.

Ezek az eredmények némiképp cáfolják az eddig általánosan elfogadott vélekedést, amely szerint a mechanikai tulajdonságok javítása szempontjából *a cellák mérete a legfontosabb*. Az IKV vizsgálatai egyértelműen rámutatnak, hogy *az egyéb szerkezeti paraméterek gyakran nagyobb hatást gyakorolnak a tulajdonságokra*. Az is kiderült, hogy a habszerkezet célzott beállításával nagyobb anyagmegtakarítás érhető el, anélkül, hogy az alkalmazás szempontjából legfontosabb mechanikai tulajdonság romlana.

## **Egy gyakorlati példa: szilikongumi habosítása fröccsöntéssel**

A svájci **Sulzer Chemtech Ltd.** az *Optifoam* technológiát kiegészítette egy LSR (liquid silicon rubber – folyékony szilikongumi) keverőfejjel. Ezzel *első ízben válik lehetővé a folyékony szilikon habosítása a fröccsöntés során*. Az *Optifoam* modul lehetővé teszi a folyékony szilikon telítését nitrogénnel vagy szén-dioxiddal. A gázzal telített szilikon hagyományosan dolgozzák fel, és a szerszámban még a térhálósodás előtt habosítják. *Az eredmény egy finom cellaszerkezetű habosított szilikongumi-termék*. A **Dow Corning** és az **Arburg** részvételével kifejlesztett technológiával a kompakt anyag sűrűsége 30–40%-kal csökkenthető, még vékony falú alkatrészeknél is. A meglehetősen drága LSR anyagköltségének csökkenése mellett előnyös még, hogy a habosított szilikon fizikai tulajdonságait (pl. felületszerkezet kialakítása, összenyomhatóság) célzottan be tudják állítani, és ezzel új alkalmazási területek nyílnak meg a szilikongumi-termékek számára. Az LSR keverőfejet az *Optifoam* egységgel bármelyik hagyományos LSR feldolgozógépre fel lehet szerelni.

További újdonság az LSR keverőegység továbbfejlesztése, amelyet a *LIM technológiában* (liquid injection moulding – *fröccsöntés folyadékból*) lehet alkalmazni. Újdonság, hogy az A és B komponensen kívül mód van egy harmadik komponens, pl. kis viszkozitású színezék beadagolására is. Az elterjedt keverőrendszerekkel szemben

ez a megoldás nagyon jó homogenitást eredményez. A keverő kis térfogatának köszönhetően a keverőblokk öntisztuló képessége nagyon jó, és így kevés hulladék képződik az induláskor, a tisztításkor és a termékváltáskor.

Összeállította: Máthé Csabáné dr.

Michaeli, W.: Schäumen ohne Chemie ist keine Magie = Plastverarbeiter, 60. k. 1. sz. 2009. p. 24–25.

Michaeli, W.; Obeloer, D.: Schaumdesign = Plastverarbeiter, 60. k. 4. sz. 2009. p. 80–82.

Sulzer-Neuheiten für die LSR-Verarbeitung = K-Berater, 54. k. 3. sz. 2009. p. 19.