

A habfröccsöntésről

A habfröccsöntéssel készített formadarabok tömör fedőrétege alatt mikropórusos szerkezet található. Ez a szerkezet megőrzi a formadarabok szilárdságát, de könnyebbé, gazdaságosabbá teszi őket. Ilyen ún. integrál- vagy szerkezeti habok készíthetők kémiai vagy fizikai habosítással. Az utóbbiak közül legnépszerűbb az ún. MuCell eljárás, amelyhez a gépgyártók már jól kiérlelt gyártóberendezéseket kínálnak.

Tárgyszavak: műanyag-feldolgozás; habfröccsöntés; habosítási technológiák; MuCell eljárás.

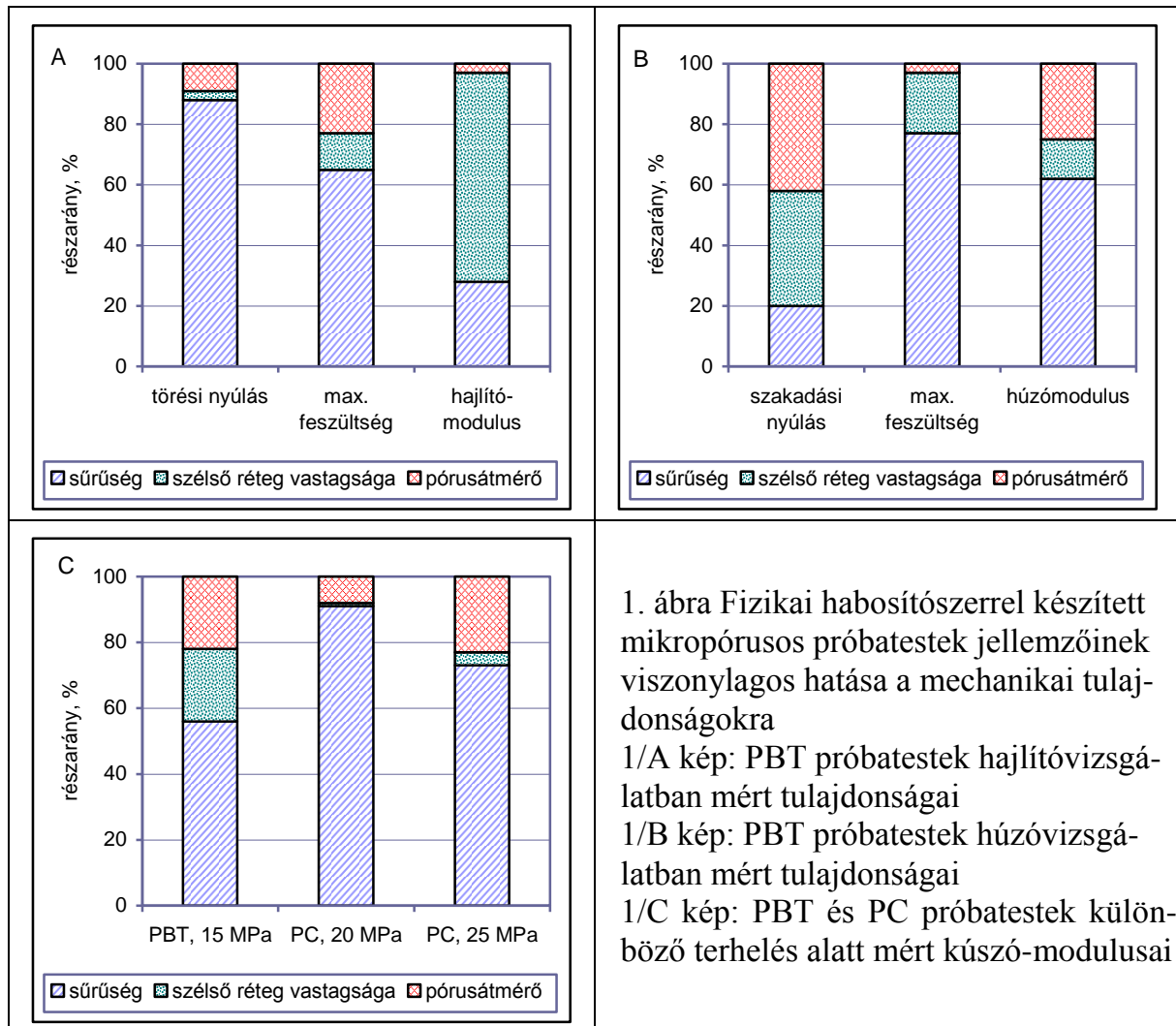
Habfröccsöntésnek nevezik a hőre lágyuló műanyagok fröccsöntésének olyan eljárásait, amelyekben a formadarab mikropórusos szerkezete a szerszámfészekben alakul ki. Ilyen formadarabokat az gépkocsikban, a háztartási gépekben, a szórakoztató elektronika eszközeiben, a csomagolóeszközökben is alkalmaznak. Az ömledék habosításához fizikai vagy kémiai habosítószerkezetet használnak. Kezdetben elsősorban a beszívódások megakadályozására használták a habfröccsöntést, de előnyei közé tartozik a formadarabok tömegének gyártási paramétereiktől függően 8–15%-os tömegcsökkenése (anyagmegtakarítás), a ciklusidő megrövidülése, a kisebb szerszámzáró erő (olcsóbb fröccsgép). Hátránya a kevésbé szép felület, de ezt a szerszám varioterm fűtésével el lehet kerülni.

A mikropórusos formadarabok tömegegységükre vetített mechanikai tulajdonságai, akusztikai és hőszigetelési tulajdonságai jobbak a tömör formadarabokénál. Fizikai habosítással készített próbatesteken vizsgálták, hogy milyen hatást gyakorol a különböző műanyagok habszerkezete a szokásosan mért mechanikai tulajdonságokra. Az *1. ábra* az mutatja, hogy milyen mértékben járul hozzá a próbatest átlagos sűrűsége, a szélső réteg vastagsága, ill. a pórusok átmérője a hajlító- és húzóvizsgálatban meghatározott tulajdonságokhoz, ill. hogyan járulnak ezek hozzá a műanyagok kúszómodulusához. Az *1/A ábrán* a poli(butil-tereftalát) (PBT) hajlító-, az *1/B ábrán* húzóvizsgálatának eredményei, az *1/C ábrán* a PBT 15 MPa terhelés, a polikarbonát (PC) 20, ill. 25 MPa terhelés alatt mért kúszómodulusa látható.

A többféle habfröccsöntési technológia közös jellemzője, hogy a polimer plasztifikálása, a habosítószer bekeverése az ömledékbe és a homogén keverék szerszámba fröccsöntése élesen elválik a felhabosodástól, amely csak a szerszámüregben indulhat meg.

A kémiai habosítószerkezet mesterkeverék formájában keverik hozzá a műanyag-granulátumhoz és azzal együtt jut be a plasztikálóegységbe, ahol megolvadás után en-

doterm vagy exoterm módon bomlik, gáz alakú bomlástermékei (N_2 , CO_2) mellett azonban nem kívánt melléktermékek is képződhetnek belőlük. Gyakori kémiai habosítószer-páros a Na-hidrogén-karbonát és citromsav keveréke, amelyből CO_2 és vízgőz szabadul fel. Ilyen az azodikarbonát, amelynek bomlástermékei között 32% gáz (N_2 , CO , CO_2 és NH_3 elegye) mellett 68% szilárd maradék van. Ezek korlátozhatják a kémiai habosítószer alkalmazhatóságát, mert pl. kiváltják a polimer leépülését vagy korrodálják a szerszámot.



1. ábra Fizikai habosítószerrel készített mikropórusos próbatestek jellemzőinek viszonylagos hatása a mechanikai tulajdonságokra

1/A kép: PBT próbatestek hajlítóvizsgálatban mért tulajdonságai

1/B kép: PBT próbatestek húzóvizsgálatban mért tulajdonságai

1/C kép: PBT és PC próbatestek különböző terhelés alatt mért kúszó-modulusai

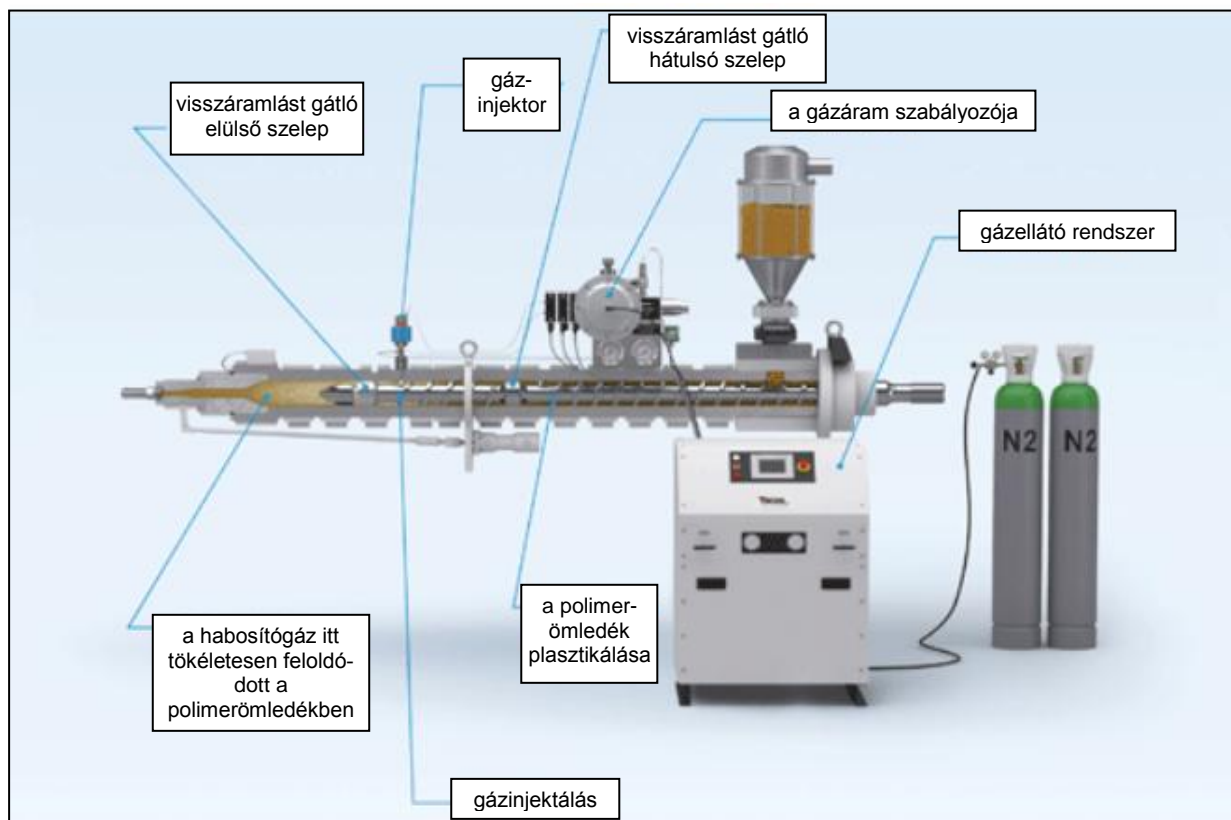
A fizikai habosítószerként alkalmazott inert gázoknak nincsenek ilyen hátrányos tulajdonságai. Ezeket szuperkritikus fluid állapotban a már megömlesztett polimerbe injektálják. (A gázok egy kritikus nyomás és kritikus hőmérséklet felett kerülnek ún. szuperkritikus állapotba. A nitrogén 34 bar nyomás és 147 °C, a szén-dioxid 71 bar nyomás és 31 °C felett kerül ilyen állapotba. A „fluidok” egyszerre hordozzák a gázok és a folyadékok bizonyos tulajdonságait. Nagy a sűrűségük és jól oldódnak a polimerekben, ami a folyadékokra, kicsi a viszkozitásuk és nagy a diffúziós állandójuk, ami a

gázokra jellemző. Ennek köszönhetően ezek a gázok jól oldódnak és könnyen homogenizálódnak a műanyagömlédekben.)

Fizikai habosítószerrel finomabb pórusú (cellaátmérő $<100\ \mu\text{m}$) és homogénebb pórusszerkezetű habot lehet előállítani, mint kémiai habosítással. A cellasűrűség általában $10^9\text{--}10^{12}/\text{cm}^3$ között van, a hab sűrűsége $0,1\text{--}0,5\ \text{g}/\text{cm}^3$. A hab kívánt tulajdonságai is könnyebben állíthatók be fizikai habosítással.

A MuCell eljárás

A fizikai habosítást megvalósító eljárások közül eddig a *MuCell* eljárás a legsikeresebb, amelyet a Massachusettsi Technológiai Intézet (Massachusetts Institute of Technology, Boston, USA) fejlesztett ki és a Trexel GmbH (Whiel, Németország) forgalmaz. Elvét a 2. ábra mutatja.



2. ábra Egy *MuCell* fröccsöntő berendezés felépítési elve.

A habosítást végző inert szuperkritikus állapotú gázt a csiga elülső harmadában adagolják be a plasztikálóegységbe

Az eljárás lényege, hogy szuperkritikus állapotú inert gázt adagolnak a már megömlesztett és plasztikált polimerbe, és az ömladék/gáz elegyét fröccsentik be a szerzámba. Az ömladékben oldódott gáz a plasztikálóegységben nagy nyomás alatt van,

amely csak akkor csökken, amikor a polimert befröccsentik a szerszámfészekbe. A még teljesen ki nem töltött szerszámüregben kisebb a nyomás, mint a még folyékony halmazállapotú gáz parciális nyomása, ezért a habosítószer gáz halmazállapotúvá válik, üregeket képez, és az üregeken belül nyomást épít fel. A *MuCell* eljárásban nem kell utánnomást alkalmazni. Emiatt csökken a ciklusidő és kisebb szerszámzáró erővel lehet a folyamatot végrehajtani.

A gázbuborékok (pórusok) növekedésével duzzadó ömledék tökéletesen kitölti a fészek terét, hűtéskor sem keletkeznek beszívódások, és mivel a nyomás a szerszám-ban teljesen egyenletes, nem vetemedik meg az anyag.

Az Engel cég MuCell elven alapuló fröccsöntő berendezése

Az Engel Austria GmbH (Schwertberg, Ausztria) a *MuCell* technológiát fröccs-gépeibe integrálta és „Engel habfröccsöntés” (Engel foam melt) néven fizikai habosításra alkalmas gyártóberendezést tud megrendelőinek szállítani. Ennek az az előnye, hogy a habosítás folyamatának vezérlését beépítették a fröccsgép vezérlésébe, ezért a gép képernyőjén a géppel együtt irányítható és ellenőrizhető.

Az inert gáz (N₂ vagy CO₂) szuperkritikus állapotát 440 bar nyomás alatt állítják elő, a gáz tömegáramát két nyomásszabályozóval (1. és 2. nyomásszabályozó) állítják be. Velük állítják be a műanyagömledékbe beinjektálandó gázadagot. A gáz beállított tömegárama a teljes ciklus alatt változatlan.

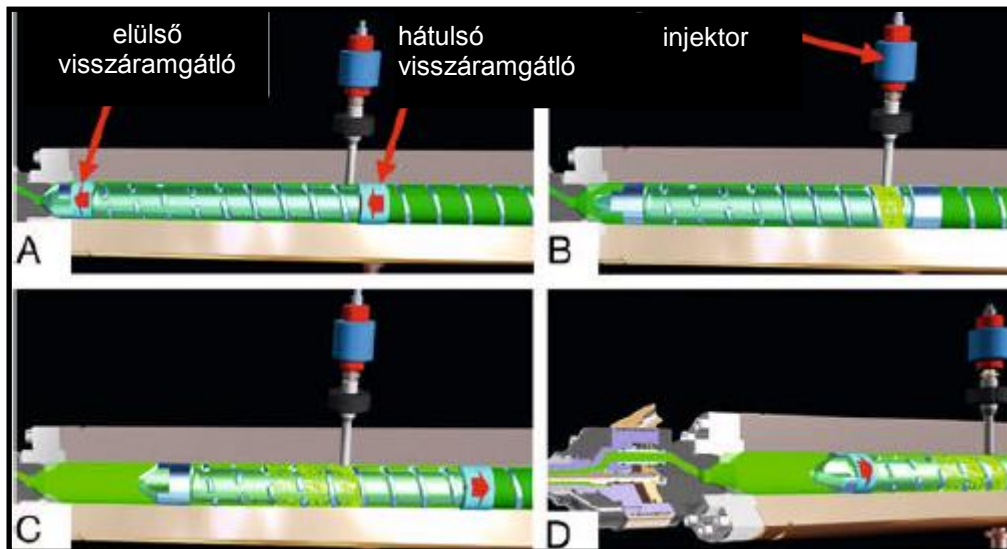
A gázt az injektorral juttatják be az ömledékbe. Az injektálás időtartamán kívül az injektor zárt állapotban van. A gázkörben ilyenkor egy nyitott fojtószelepen keresztül a gáz visszaáramlik a gáztartályba. Az injektoron található 3. nyomásszabályozó gondoskodik arról, hogy ebben a fázisban az üzemi nyomás fennmaradjon.

A ciklus megfelelő szakaszában kinyílik a gázinjektor és benyomja a megfelelő mennyiségű szuperkritikus állapotú gázt az ömledékbe. A fojtószelep ilyenkor zárva van. Az injektor megnyitásakor az üzemi nyomás csökken, a kiegyenlítést az injektorral a henger átellenes oldalán beépített 1. nyomásinjektor végzi el.

A *MuCell* eljárásban speciális plasztikálóegységet alkalmaznak. A 24-25 L/D arányú csiga kb. első harmadát (plasztikáló tartomány: behúzó, kompressziós és továbbító zóna) visszaáramlást gátló elem zárja le, amely megakadályozza, hogy a gáz-tartalmú ömledék bejusson a csiga korábbi szakaszaiba és a habosodás már a hengerben beinduljon. Hasonló záróelem van a csiga csúcsa mögött is. A két záróelem közötti csigaszakasz keverőelemeket tartalmaz, amelyek a gáz és az ömledék homogenizálását segítik.

Az injektor a hátsó záróelem után csatlakozik be a hengerbe. A szuperkritikus gáz beadagolása után a nyírás és keverés, továbbá a diffúzió hatására finoman eloszlik az ömledékben. A csigacsúcs előtt egyfázisú homogén gáz/polimer keverék áll rendelkezésre a befröccsentéshez. Ennek az állapotnak a fenntartásához a teljes ciklus alatt fenn kell tartani az ömledék nyomását. Egy szabadalommal védett megoldás ezt nyitott védőrács mellett is szavatolja. Aktív nyomásszabályozás nélkül nyomáscsökkenés következhetne be és a keverék habosodása beindulna a hengerben.

A gáz bevitelének egymást követő lépései a 3. ábrán láthatók.



3. ábra A *MuCell* eljárás folyamatának lépései.

A kép: a gáz adagolásának kezdete. B. kép: a gáz bekeverésének kezdete.

C. kép: a gáz adagolásának vége. D kép: a befröccsentés kezdete

A befröccsentés befejeződése után a csiga előretolt állásban van. Ilyenkor a visszarámlásgátlók zárt állapotban vannak. A hátsó gátlóelem előtt beindul a gáz adagolása. A csiga hátrafelé haladva az ömledéket előre szállítja, ennek hatására megnyílnak a visszaramgatók (3/A kép).

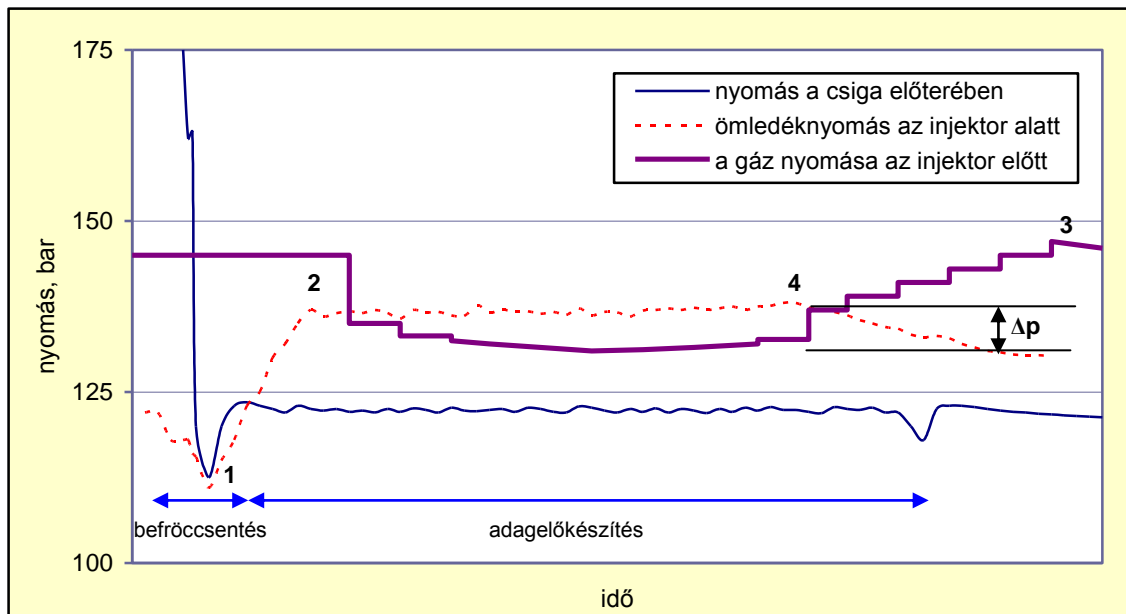
Az injektor alatt kialakul az állandó nyomás, megkezdődik az ömledék és a gáz keveredése. Nyitott injektor mellett a hengerben kiegyenlődik az üzemi nyomás (3/B kép).

A csiga eléri az előre beállított hátsó pozíciót, a plasztikálás befejeződik, megszűnik az ömledék további szállítása. A keverőzóna és a szállítózóna nyomáskülönbsége miatt a hátsó gátlóelem lezár (3/C kép). A nem tökéletes kialakítás, a kopás és a nem ideális folyamatparaméterek miatt a záróelemen áthatolhat valamennyi ömledék, emiatt az injektor alatt csökkenhet a nyomás. Ha ennek mértéke nem halad meg egy megadott határértéket, ez nem befolyásolja a termék minőségét.

Befröccsentéskor a csiga előre mozog. A csiga előtti térben a fröccsnyomás miatt növekszik a nyomáskülönbség; emiatt, továbbá a záróelem köpenye és a henger közötti súrlódás miatt az elülső gátlóelem is lezár (3/D kép). A szerszámfészekben a befröccsentés kezdetén leesik a nyomás, beindul a habosodás, amelynek végén jellegzetes integrálhab alakul ki, amelyre jellemző a tömör szélső réteg és a habszerkezetű mag.

Az Engel fröccsgép a gyártás teljes folyamata alatt felrajzolja a *MuCell* eljárás paramétereinek változását. Közülük a legfontosabb a gázellátó rendszer üzemi nyomása és az injektor alatti ömledéknyomás. Ezek az adatok jellemzik a gáz és az ömledék

keveredésének minőségét és reprodukálhatóságát, továbbá az elülső és hátsó visszaramlásgátló záróképességét. Egy jellegzetes folyamatára a 4. ábrán látható.



4. ábra A *MuCell* eljárás fröccsciklusában fellépő nyomásviszonyok. 1. pont: megindul a fröccsadag előkészítése. 2. pont: Kialakul a konstans ömlédknyomás az injektor alatt. 3. pont: Az injektor kinyílása miatt csökken az üzemi nyomás. 4. pont: Az injektor lezár, a gázszállítás megszűnik. Δp a hátsó visszaramgátló záródása utáni nyomáscsökkenést jelzi, amelynek nincs hatása a termék minőségére

A jegyzőkönyvek görbék helyett az egyes ciklusokat jellemző számadatokat tartalmaznak. Ezekből könnyen kiderülnek az üzemi nyomás vagy az adagolás időtartamának esetleges ingadozásai, amelyek a folyamatban bekövetkező változásokra utalnak. Ilyen lehet az anyag viszkozitásának változása, a szárítás tökéletlensége, a gázellátó rendszer nem tökéletes tömítettsége.

Az ömlékben oldódó gáz csökkenti a polimer viszkozitását, 1,6% gáz pl. egy töltetlen polipropilén 225 °C-os ömlékét 10%-kal, ami által csökkenthető a fröccsnyomás is. Ez a jelenség nagyon hasznos a hosszú folyási utakkal előállított és a nagyon vékony falakat tartalmazó formadarabok gyártásakor. A viszkozitáscsökkenés lehetővé teszi az ömlék-hőmérséklet csökkentését is, ami a ciklusidőt rövidíti meg.

Szokásos fröccsöntéskor a beömlés és a folyási út vége közötti nyomásgradiens és az ebből következő egyenetlen zsugorodás gyakran vetemedést okoz. Töltetlen polipropilénből nagy felületű és kis falvastagságú kompakt laptopházak fröccsöntésekor pl. a beömlőnyílás közelében 280, attól távol 200 bar ömlédknyomást mértek. Ha ilyen házakat *MuCell* eljárással gyártottak, ahol a felhabosodás okozta nyomás miatt utánnnyomásra nem volt szükség, beömlésközelsben 50, attól távol 48 bar volt a maximális nyomás. A *MuCell* eljárásban az erősítőbordák vastagsága is azonos lehet a fal

vastagságával, az egyenletes nyomás miatt beszívódásra a bordák felett nem kell számítani.

Kísérleteket végeztek annak vizsgálatára, hogy hogyan befolyásolja az ömledékbe kevert szuperkritikus gáz mennyisége a fröccsöntött formadarab minőségét. 0,5–2,5% között 0,5%-os lépésekben növelték a beinjektált gáz mennyiségét. A laptopház előállításához szükséges fröccsnyomás 0,5–1,6% között folyamatosan növekedett, e fölött nem változott. Az ömledék feltehetően 1,6% gáznál többet nem tudott feloldani. A fröccsöntött darabok pásztázó elektronmikroszkóp alatt vizsgált metszetei azt mutatták, hogy 1,6%-ig egyre finomabbá vált a cellaszerkezet, ami arra utal, hogy a gáznak göcképző hatása is van. Az ennél több gázzal készített darabokban azonban hibahelyeket figyeltek meg, amelyeket valószínűleg a fel nem oldott gáz okozott. Az optimális gázmennyiség mindig az éppen meglévő feladattól függ, ezért ezt kísérleti úton kell meghatározni. A megfelelő habszerkezet fénymikroszkóp alatt is észlelhető.

Összeállította: Pál Károlyné

Bürkle, E.; Wobbe, H.: Die bessere Alternative zum Kompaktspritzgießen? = Kunststoffe, 104. k. 2. sz. 2014. p. 44–46.

Endlweber, R.; Markut-Kohl, R. stb.: Kleine Zellen, große Wirkung = Kunststoffe, 103. k. 11. sz. 2013. p. 36–40.

Implementing MuCell® for injection molding = <http://03429d3.netsolhost.com/injection-molding-solutions/implementing-MuCell.php>

Kleine Zellen, große Wirkung = <http://www.google.hu/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CCcWFjAA&utl=http%3A%2F%2Fwww.engelglobal.com>