

## Műanyag könnyűszerkezetek gyártása habosítással

A műanyag termékek belsejének habosításával ezeket könnyíteni lehet és anyagot is meg lehet takarítani. Leggyakrabban fröccsöntéskor alkalmaznak ilyen célból habosító adalékot, de extrudált vagy rotációs öntéssel előállított termékek egyes részeinek – többnyire a belső részeknek – is lehet pórusos, habosított szerkezete. A „core back” és a legújabb „pull and foam” eljárással egészen raffinált felépítésű könnyűszerkezetes termékeket lehet egyazon szerszámban fröccsönteni.

*Tárgyszavak: habosítás; fröccsöntés; extrudálás; rotációs öntés; könnyűszerkezet; habosító adalék.*

### Riport egy habosító adalékokat gyártó vállalat vezetőjével

A műanyagiparban az egyik fő törekvés, hogy termékeik egyre könnyebbek, ebből következően egyre olcsóbbak legyenek. Habosító adalékokkal, amelyekkel a termékek belseje pórusossá vagy habszerkezetűvé tehető, jelentős mennyiségű anyagot lehet megtakarítani, csökken a ciklusidő, növekszik a teljesítmény.

Egy habosító adalékokat gyártó cég, az iD Additives (La Grange, Illinois, USA) elnöke a 2018-ban Orlandóban rendezett amerikai műanyag-kiállításon, az NPE-n egy interjú keretében beszélt a *habfröccsöntés előnyeiről és várható jövőjéről*.

Szerinte abból kell kiindulni, hogy ha egy termék gyártásakor áttérnek a habfröccsöntésre, annak tömege 10%-kal, ciklusideje ugyancsak 10%-kal csökken. Tehát ha a termék eredetileg 100 g-ot nyomott, habfröccsöntéssel csak 90 g-ot, és ha korábban 100 s volt a ciklusideje, az 90 s-ra mérséklődött.

A cég 2017-ben a Sumitomo Demag és a Nypro Mold céggel közösen egy kozmetikai palack lengőzsánéros kupakjának gyártását állította át habfröccsöntésre. Az iD Additives habosító adalékával a termék tömege 8%-kal csökkent, ciklusideje 12,3 s helyett 10,5 s lett. Komputertomográffal vizsgálták, hogy a fröccsöntés folyamata alatt mikor indult meg a habosodás. Megállapították, hogy amikor az ömledék nagy nyomás alatt volt, ezt sikerült elkerülni, csak a szerszámfészekben kezdődött meg. A habosodás ugyanis mindig a legkisebb ellenállást „keresi”.

Az iD Additive arra számít, hogy ha a feldolgozóüzemek rádöbbennek arra, mennyi pénzt tudnak általa megtakarítani, egyre több fröccsöntő vagy extrudáló üzemben kezdik majd alkalmazni az exoterm vagy endoterm habosító adalékokat. Egy üvegszálal poliamid ára pl. kb. 3 USD, és ebből mindössze 1%-ot kell a kb. 6 USD/kg árú adalékból hozzákeverni. Ha az üvegszálal polimer tömege az üvegszálal miatt csak 5%-kal csökkenne, azaz az anyagköltség

kg-onként 15 centtel lenne kevesebb, a 6 centes adalékkal 9 centet tudnának kg-onként megtakarítani.

Az iD Additive és Sumitomo Demag ohioi vállalata (Strongville) közösen villamos hajtású fröccsgépen gyártottak egy gépkocsihoz belső ajtókilincset PE-HD-ból. A *6265 iD Foam 70 MFC* típusú habosító adalékkal készített mikropórusú kilincs felülete szebb volt a korábbi kilincsnél, kevésbé vetemedett, emellett rövidebb ciklusidővel lehetett gyártani. Habosítás nélkül a kilincs tömege 180,3 g, ciklusideje 24 s volt. 1% habosító adalékkal tömege 165,8 g-ra csökkent. Az első laboratóriumi kísérletekben 30 mm/s fröccssebességgel dolgoztak; ezt végül 160 mm/s-ra tudták növelni. A habosítás révén 18% energiát is megtakarítottak, mert a darab hőmérsékletét 91,9 °C-ról 86,4 °C-ra mérsékelték.

A habfröccsöntéssel előállított formadarabok felülete néha nem elég esztétikus. Az iD Additive ezért adalékainak széles választékát kínálja a feldolgozóknak, ezek között vannak finom pórusokat, extra finom pórusokat és mikropórusokat képező típusok. Az *5811* számú adalékot pl. nagy felületű termékek, pl. rakodólapok és konténerek gyártásához ajánlja.

*A habfröccsöntés újabb, gyorsabb fröccsgépeket igényel.* A nagyobb sebesség jobban eloszlatja a buborékokat a darab belsejében, kisebb a veszélye annak, hogy a darabon eltérő színű csíkok képződnek. Az legkisebb sebesség 125-130 mm/s körül van. De jól kiválasztott habosító adalékkal régi (1960–70 körüli), lassúbb gépeken sem lehetetlen a habfröccsöntés, de a termék gyakran elszíneződik, vagy a hab kitör a termék felületére. *Lassú géppel nehéz szép felületet elérni, és a tömegcsökkenés sem lesz 2–3%-nál nagyobb.* Legcélszerűbb a befröccsöntést 550 mm/s sebességgel kezdeni és 250–380 mm/s körül befejezni.

Ugyancsak kritikus paraméter a hőmérséklet. Előfordul, hogy a termék teljes lehűtése akár több óráig is eltart. Annak a termék a hőmérsékletét, amelyben a terméket tárolják, fokozatosan kell csökkenteni, pl. 10 °C-kal óránként vagy kétóránként.

A habfröccsöntés kis nyomású eljárás, a ciklusidő alapvetően attól függ, hogy hogyan változtatja meg a polimer viszkozitását a habosodás. Ha ilyenkor a viszkozitás csökken, a habosítás nem igényel hőközlést, ilyenkor energiát is meg lehet takarítani.

## **Habosítani nemcsak fröccsöntött, hanem az extrudált, sőt rotációs öntéssel gyártott termékeket is lehet**

A 2018-as NPE-n a Bergen Internationale (Hasbrouck Heights, New Jersey, USA) is megjelent. Ez a cég az 1999-ben alapított Boehringer Ingelheim cég utóda, és kémiai habosító adalékokat (chemical foaming agens, CFA) gyárt, amelyeket *Foamazol* márkanévvel forgalmaz. Választékában vannak exoterm és endoterm típusok, de ezekből keverékeket is készít. Nemcsak a fröccsöntőket szolgálja ki, hanem az extrudálók és rotációs öntést alkalmazók számára is vannak speciális adalékai.

A cég úgy látja, hogy sok feldolgozó ismerte már fel a termékek belső habosításának előnyeit, és vannak olyanok, amelyek csak most ébrednek rá erre. Az autógyártás erősen érdeklődik az ilyen termékek iránt, mert jó hatásfokkal lehet velük a gépkocsi tömegét csökkenteni, de a csomagolástechnika és a repülőgépgyártás is széles piaca lehet a habosított termékeknek.

*A Bergen cég szerint a habosítási technika bevezetése nem okoz túl nagy nehézségeket egy feldolgozó számára.* Nem kell új gyártószerszámokat vásárolni, ha a gyártandó termékeket a habosítási technológia kellő ismeretében tervezték meg. A technológia követelményei-

vel természetesen tisztában kell lenni, a gyártási paramétereket szigorúan ellenőrizni kell, különösen fontos a hőmérséklet és a nyomás szabályozása.

### Változatok a fröccsöntésre

*Hagyományos fröccsöntéskor* a megömlesztett műanyagot egy bonyolult felépítésű szerszám alakadó üregébe (fészekbe) fröccsentik be, ahol az lehűtve megszilárdul. Ha a granulátumhoz habosító adalékot kevernek, a befroccsöntött műanyag első része a fészek temperált (hűvös) belső felületén megdermed és szilárd kérget képez, ez alkotja majd a termék külső felületét; a műanyagáram további részében viszont megindul az adalék bomlása, a habcellák kialakulása és növekedése. A termék kivétele után a szilárd felület alatt pórusos vagy habos szerkezet van. A *Foamazol* habosító anyagot a cég mesterkeverék formájában forgalmazza, a műanyaghoz úgy adagolják, mint bármely más adalékot. A habosított belső szerkezet legalább 10%-kal, de néha 20–25%-kal csökkentheti a tömör termék tömegét, ezért kevesebb műanyagot kell a fészekbe fröccsenteni. További előnyei, hogy csökkenti az ömledék viszkozitását, kisebb szerszámzáró erőt és fröccsnyomást kell alkalmazni, növeli a befroccsöntés sebességét, akár 30%-kal csökkenti a ciklusidőt és a termék felületén nincsenek összecsapási varratok. A cég ilyen fröccsöntéshez a *Foamazol 62* típusú adalékát ajánlja, amellyel A-osztályú felületminőséget lehet elérni. Az *1. ábra* ezzel a technológiával és adalékkal gyártott kupakokat mutat be.



1. ábra Habfröccsöntéssel gyártott kupakok



2. ábra Szerkezeti habbal fröccsöntött termékek

A *szerkezeti habok fröccsöntését* alacsony nyomáson előállítható nagy darabok gyártásához alkalmazzák. Itt a habosításhoz szükséges gázt direkt injektálással vagy habosító adalékkal viszik be a műanyagömledékbe, amely abban oldott állapotban marad, amíg az ömledék nyomás alatt van. A fészekbe fröccsentve a nyomás csökken, a felszabaduló gáz buborékokat képezve elvégzi a habosítást. Ehhez az eljárásához a Bergen cég egy fizikai habosítót, a *Foamazol 61* típusú adalékot ajánlja – elsősorban PE-HD vagy PP-hez – amely nitro-

géngázt ad le; göcképzés után megfelelő méretű, alakú és eloszlású buborékokat vagy cellákat képez a polimerben. Ilyen technológiával gyártott termékek láthatók a 2. ábrán.

*Gázellennyomással és kofröccsöntéssel vagy szendvics-fröccsöntéssel* olyan termékeket gyártanak, amelyhez kétféle műanyagot alkalmaznak. Ebben az eljárásban a befröccsentés előtt a szerszámüregeket nyomás alatti inert gáz tölti ki, amely az elsőként befröccsentett műanyagot a fészek oldalaira kényszeríti, ahol az ott lehül és megkeményedik. Ezt a gáz ezután kieresztik, és ezután fröccsentik be a második anyagot, amely az ellennyomás nélkül fel tud habosodni. A ilyen módon gyártott termékek felülete tökéletesen sima. Ha a habosított mag anyaga ABS, PC vagy PPO, a *Foamazol 95 XO-230* vagy *XO-330* típusú adalékot ajánlják.

#### *Változatok az extrudálásra*

*Profilok vagy csövek szokásos módon végzett extrudálásakor* a habosító adalékot ugyanúgy adagolják a polimerhez, mint bármelyik más mesterkeverék formájában használt segédanyagot. A fröccsöntéshez ajánlott *Foamazol* habosítószerke leg többje extrudáláshoz is alkalmas; a cég termékismertetőiben külön kiemeli, ha az adalék erre a célra nem alkalmas. Az adalékok bomlásakor CO<sub>2</sub> vagy N<sub>2</sub> gáz szabadul fel és finom, egyenletes cellákat képez az extruderből kiáramló és felhabosodó polimerben. A termék eredeti sűrűsége ettől akár 50%-kal is csökkenhet, és az extrudálás sebessége 25–30%-kal növekedhet. Extrudálásakor azonban előfordulhat, hogy a cellák a felületen is megjelennek. *Csőgyártáskor ezért koextrudálással többnyire ABA szerkezetű csöveket gyártanak, amelynek belső és külső felületét tömör, belső rétegét habosított műanyagból készítik.*

*Extrudálni az ömledékbe nyomás alatti direkt gázbevezetéssel is lehet.* Ehhez nitrogént, szén-dioxidot, pentánt, butánt vagy más gázt is használhatnak. Kémiai habosító adalékot ilyenkor a göcképzés érdekében adnak a polimerhez, hogy finomabb és egyenletesebb cellákat kapjanak. Ezekből ugyancsak CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, szénhidrogének vagy más gázok szabadulnak fel. Poliolefinok feldolgozásához göcképzőként a *Foamazol XO-256* vagy *423*, sztirolalapú polimerekhez a *Foamazol 73S* jelű gyártmányt ajánlják.

Ma nagyon népszerűek a farostot tartalmazó műanyagok. Vannak feldolgozók, amelyek termékeikben – elsősorban profiljaikban – fát, polimert és habosító adalékot is alkalmaznak. A 3. ábrán a habosított PVC profilt habosított falisztes műanyagkompaund tölti ki. Ennek gyártásakor figyelembe kell venni a faliszt nedvszívó képességét. A Bergen cég ilyen profilok gyártásához speciális endo/exo adalékkeveréket fejlesztett ki. A habképződéshez szükséges nagy nyomást és térfogatot az exoterm adalék, a profil deformációjának megakadályozását az endoterm adalék szavatolja.

*Habréteget szigetelőként gyakran alkalmaznak különböző vezetékekben és kábelekekben, pl. koaxiális kábelekekben.* Ezekben fontos szempont az egyenletes cellaszerkezet. A Bergen cég *Foamazol XO-163* és *XO-107* adalékait fluorpolimer és poliolefin huzalok és kábelek gyártásához ajánlja, amelyek mind a szigetelőréteg, mind pedig a köpeny habosítására alkalmasak.



3. ábra Falisztes polimerhabbal kitöltött habosított PVC profil



4. ábra Rotációs öntéssel készített csónak belső habszerkezettel

#### *Rotációs öntés habosítással kombinálva*

A rotációs öntés általában négy lépésből áll: a szerszám megtöltése polimerporral vagy finom szemcsés granulátummal, a szerszám melegítése, a szerszám lehűtése, a kész darab kivétele. A szerszám a melegítés alatt két tengely irányában forog, vagy egy tengely körül forog és egyúttal előre-hátra himbálódik. A betöltött műanyagpor emiatt kaotikusan mozog a szerszámon belül, amíg el nem kezd olvadni, és rátapadni a szerszám belső felületére. Az előre meghatározott idő után a szerszám a hűtőállomásra kerül és teljes lehűlésig ott marad, majd felnyitják és kiemelik az elkészült terméket. A gyártás lehet egylépcsős, de az ún. *drop box* technológiát alkalmazva lehet többlépcsős. (A drop box a szerszám belsejébe épített polimeradagoló eszköz.) A Bergen cég mindkét technológiához kínál adalékokat. Drop box technológiával egy csónakgyártó cég a 4. ábrán látható hajót készítette el rotációs öntéssel. A szerszámban az első lépésben elkészítették a hajó külső fedőrétegét, majd az első drop boxon keresztül beadagolták a habosító adalékkal összekevert második polimert, amely ugyancsak feltapadt a szerszám belső falára, eközben felhabosodott. A második drop boxon keresztül betöltött újabb műanyagból a csónak belső fedőrétegét alakították ki.

A Bergen International *XOP-341* jelzésű por alakú habosítószerét mindkét eljáráshoz ajánlja. Ezzel finom cellás szerkezetet, erős felhabosodást lehet elérni, és a termékeknek – egylépcsős eljárás után is – szép sima felülete van.

A *Foamazol 14* márkájú adalék többrétegű termékek középső vagy belső habosított rétegének kialakítására szolgál drop box technológia alkalmazásával. A mikroyöngy alakú adalékkal sima, szép felületet lehet készíteni. Az egyenletes cellaszerkezetnek hangtompító hatása is van.

Az *XO-491* jelű adalék endoterm habosító anyag, amelyet fehér granulátumként forgalmaznak. Ez PE-LD porral keverve alkalmas kétrétegű termékek rotációs öntésére egyetlen lépésben.

## Testreszabott habfröccsöntés

### A Core-back eljárás

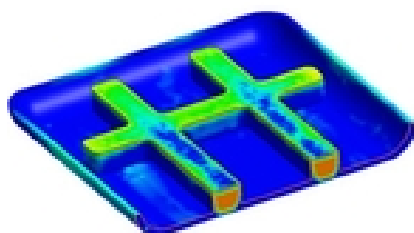
A Kasseli Egyetem Anyagtani Intézetében (IFW, Institut für Werkstofftechnik der Universität Kassel) a habfröccsöntés egy újabb változatát fejlesztették ki, amellyel a fröccs-szerszámon belül tetszőleges helyen lehet habosított elemeket (pl. bordákat) vagy nagy falvastagságkülönbségeket kialakítani, ami által jelentősen szélesednek a tervezők formázási lehetőségei és erősen összetett könnyűszerkezetes elemeket lehet egyetlen lépésben előállítani.

A hagyományos habfröccsöntést alacsony nyomással, utánnyomás nélkül végzik, a fészket pedig csak 80–90%-ban töltik meg; a teljes kitöltés a habképződéskor megy végbe. A fészkekbe befroccsöntett műanyagömladék nyomása csökken, ennek mértéke a folyási út végén a legnagyobb, ezért itt képződnek a legnagyobb cellák. A terméken belül emiatt a habszerkezet sűrűsége, cellamérete helytől függően eltérő lesz.

Az IfW új habfröccsöntő eljárásában ezzel szemben nagy nyomást és utánnyomást alkalmaznak, a fészket 100%-ban feltöltik az ömléddel. Az üres fészkekben az ömladék nyomása kicsit csökken, megindul a cellaképződés, az utánnyomás miatt a cellák azonban nem tudnak nagyra nőni, a habszerkezet finom pórusú és egyenletes lesz, egyes cellák akár ismét feloldódnak a polimerben. A precíziós nyitással ellátott szerszámüreg térfogata ezután megnövekszik (az eljárást ezért „Core back” – magot visszahúzó – technológiának nevezik) és lezajlik a habosodás. Ebben az eljárásban tehát a töltés fázisa és a cellanövekedés elkülönül egymástól, és külön-külön szabályozható. A cellaszerkezet egyenletes, folyási úttól független lesz. Az integrálhab sűrűsége akár 50%-kal kisebb lehet a tömör anyagénál és rendkívül nagy a hajlítómerevsége. A fröccsöntés első szakaszában megdermedő külső tömör rétegből és a belső integrálhabból álló szendvicsszerű szerkezetek nagyon hasznosak lehetnek a könnyűszerkezetes technika számára. A néha a felület közelébe kerülő cellák zárványokat képeznek a megszilárduló polimerben, ezzel rontják a felület minőségét. Ezt *varieterm* szerszámtemperálással sikerült kiküszöbölni.

### A pull and foam eljárás

A precíziós szerszámnyitást a legkönnyebben a szerszám zárósíkjában, egy gyors levegőztetéssel lehet kivitelezni. Ilyenkor azonban korlátozott a formaadás, a habosodás a zárósíkban megy végbe, és a csak síkszerű termékek gyárthatók ilyen módon.



5. ábra *Pull and foam* eljárással készített formadarab habosított bordákkal

A *Core back* eljárás elvét továbbgondolva az IfW-ben olyan szerszámokat terveztek, amelyekben a térfogatnöveledést (precíziós nyitást) a szerszám meghatározott pontjára vagy pontjaira korlátozták. Ezekben a fészkek megtöltése után hidraulikusan mozgatható magot vagy magokat visszahúzva – a többkomponensű fröccsöntéshez hasonlóan – az így megnyíló üregekbe hatol be habosodásra kész ömladék (*pull and foam eljárás*, húzd és habosíts). A feltároló üregekben csökken a nyomás, és ha a polimer a szerszám nem habosításra szánt részein már megdermedt, a behatoló műanyag teljes egészében cellás szerkezetű lesz. Ilyen formadarab látható az 5. ábrán. A darab tulajdonságai a gyártási paramétereken kívül a felépítéstől is függenek, ezért az azonos sűrűségű habokat tartalmazó elemek mechanikai tulajdonságai eltérőek lehetnek. Ezeket a külső réteg vastagsága, a cellák mérete és eloszlása erősen befolyásolja.

Az IfW-ben ezért egy kísérleti szerszámot terveztek (gyártója a Plastec Kunststofftechnikum Oberberg GmbH, Wiehl), amelybe egy hidraulikus hengert építettek be, amely a szerszám térfogatát zárt állapotban, a gyártási folyamattól függetlenül tudja változtatni, és amelyet egy elektrohidraulika-szabályozóval kívülről lehet vezérelni. Ezzel különböző pozíciókat, mozgásprofilt és sebességet tudnak beállítani a gyártási ciklus bármely időpontjában. Ilyen módon a habosodás és a nyomáscsökkenés mértékét – utóbbi erősen hat a göcképződésre – tetszés szerint lehet szabályozni.

Első kísérleti termékük egy vékony lemez volt, amelyre különböző szélességű bordákat telepítettek. Az alaplap vastagságát variálták, a bordák kialakítását (a kezdeti és végpontot, a térfogatváltozás sebességét a hidraulikahengerral tetszés szerint változtatták. Ez által meghatározták az eljárás geometriai lehetőségeit és korlátait. A beömlés környékén varioterm fűtést alkalmaztak, amelyet a szerszám többi részzeitől hőszigeteltek. A befröccsentés után a kontúrközeli hűtőcsatornák vezették el a hőt. A varioterm fűtés révén sikerült elkerülni a felületi buborékszárványok kialakulását, és a legtöbb műanyagból szép felületű terméket tudtak készíteni. A kísérleti szerszámban sokféle műanyagot (PP, PS, PC, PC+ABS, PA-GF) dolgoztak fel.

A legtöbb kísérletet a Covestro AG (Leverkusen) fekete színű *Bayblend T95 MF* jelzésű PC+ABS-ével végezték, amelyet N<sub>2</sub>-vel Mucell eljárást alkalmazva habosítottak a Arburg GmbH-nál gyártott *Allrounder 470S* típusú fröccsgépen. A legszélesebb borda mérete 10 mm volt, ebben a szerszámüregben a polimer eredeti térfogata 500%-kal nőtt habosítás után. Ilyen vastagságnövekedés hagyományos habfröccsöntéssel aligha volna elérhető. Több polimernél ennél még nagyobb mértékű térfogatnövekedést észleltek, de ennek ára az inhomogén cellaszerkezet volt.

A PC+ABS befröccsentése előtt a varioterm fűtés hőmérsékletét 175 °C-ra növelték, a befröccsentés után visszahűtötték 90 °C-ra. Ezáltal a darabok tökéletesen leképezték a finoman csiszott fészkek felületét, és a darab felületén semmiféle zárványt nem lehetett észlelni.

A kísérletek értékelése során kiderült, hogy a cellák mérete a habosító adalék mennyisége mellett legerősebben a szerszámnyitás (térfogatnövekedés) sebességétől és a felhabosodás mértékétől függ.

Összeállította: Pál Károlyné

Giordano, G.: Foams help plastics lighten up = *Plastics Engineering*, 2019. április p. 40–42, [www.4spe.org](http://www.4spe.org); [www.plasticsengineering.org](http://www.plasticsengineering.org)

Chemical foaming agents benefits for plastics molding and extruding = <https://www.bergeninternational.com/benefits-chemical-foaming-agents-cfas-plastic-polymer-foams.html#structural>

Tromm, M., Heim, H.-P.: *Schaum nach Maß = Kunststoffe*, 2018. 2. sz. p. 56–61.