

Habosított termékek gyártása extrúzióval

A habosított termékeket eddig döntően kémiai habosítással állították elő, holott gázokkal is lehet habosítani, mindenfajta adalék nélkül. Ehhez át kell alakítani az extrudert, amihez egyes gépgyártók kész megoldásokat kínálnak. Másik újdonság a nanoméretű gócképzők adagolása, amellyel a habszerkezet még pontosabb beállítását kívánják elérni.

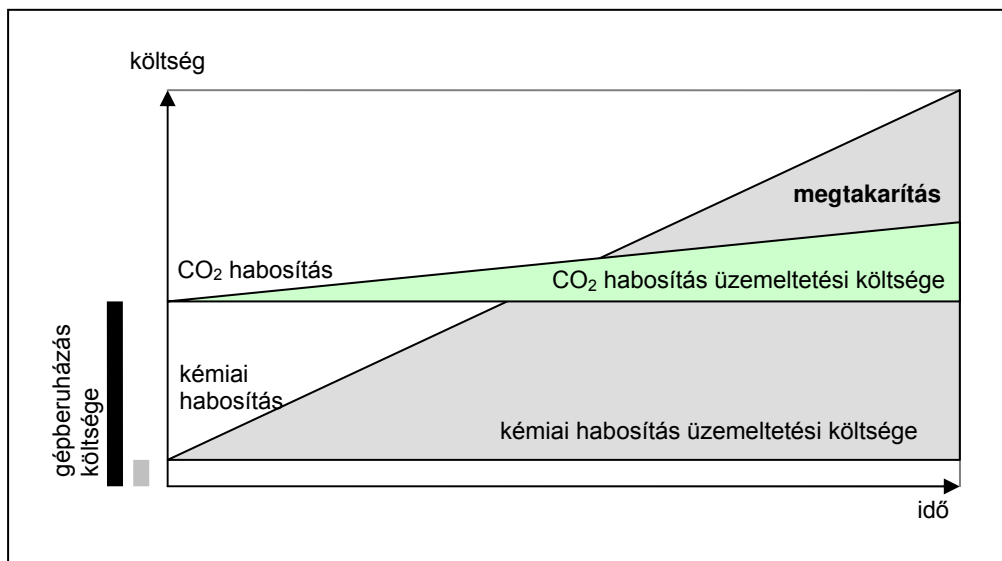
Tárgyszavak: műanyag-feldolgozás; extrúzió; habosítás; inert gázok; nanoméretű gócképző adalék; habszerkezet; hőszigetelés.

Extruderek módosítása habosított termékek gyártására

Az extrudált félkész termékeket – csöveket, lemezeket, fóliákat – gyakran állítják elő habosított formában. A habosítás az alkalmazás szerint különböző célt szolgál, és ennek megfelelően különböző szempontokat kell érvényesíteni a gyártás során. A hagyományos alkalmazás a hőszigetelés. A csövek, síkfelületek szigetelésére ún. *könnyű habokat* használnak. Ezekről megkülönböztetik az ún. *nehéz habokat*, amelyek sűrűsége jóval nagyobb a könnyű habokénál. A belőlük gyártott formadarabok alig különböznek a habosítás nélkül készített formadaraboktól, de tömegük 10–15%-kal kisebb. Ezeknél a fő cél a termék tömegének és anyagköltségének csökkentése. Ilyenkor a hab gyakran egy többrétegű szerkezet egyik, sok esetben nem látható rétegét képezi, és a habosított féltermék tulajdonságai általában csak kevéssel térhetnek el a nem-habosított termékétől, pl. élelmiszercsomagoló eszközöknél, ragasztószalagoknál, kábel- és csőburkolatoknál, építőipari elemeknél. A viszonylag nagy sűrűségű „nehéz” habok lényegében a nem habosított termékek konkurensei.

A *könnyű habokat* döntően speciális, fizikai habosításra is alkalmas extrudereken (Schaumextruder) gyártják. Ezek a berendezések képesek a hajtóanyag előkészítésére, injektálására és homogén elosztatására, valamint az ömledék expanziójának szabályozására. Ezek az extruderek a plusz műveletek miatt lényegesen hosszabbak a hagyományosaknál. A habosításra használt fizikai hajtóanyagot nagy nyomás alatt injektálják, az ömledéket speciális keverő- és nyíróelemekkel homogenizálják, az expanzió a szerszámból kilépésnél megy végbe. Fizikai hajtóanyagként alifás szénhidrogének – bután és pentán – valamint inert gázok – CO₂ és nitrogén – jönnek szóba. Utóbbiak egyre elterjedtebbek, mert nehezkesebb felhasználásuk mellett egy sor előnyt jelentenek. Az atmoszférikus gázok korlátlanul hozzáférhetőek és olcsók. A CO₂ kivonása a légtérből ráadásul hozzájárul a felmelegedés elleni harchoz is.

A nehéz habtermékeket mostanáig döntően kémiai habosítással állították elő. Ugyanis viszonylag egyszerű a kémiai hajtóanyagot tartalmazó adalékot tartalmazó mesterkeveréket előállítani és azt adagolni az alappolimerhez. A kémiai habosítás az extruderben játszódik le hő hatására. Az eljárás hátránya az adalék magas ára, a kisebb mértékű habosítás és az ömledékben maradó melléktermékek. Újabban a nehéz habokhoz is használják a fizikai habosítást. Hajtóanyagként az inert gázokat alkalmazzák viszonylag kisebb koncentrációban. Ehhez nincs szükség feltétlenül speciális extruderre, elegendő a meglévő extrudert utólag egy habosító egységgel felszerelni. Az 1. ábra mutatja ennek a beruházásnak a megtérülését, az alacsonyabb hajtóanyagköltségből adódó előnyt a fizikai habosítás javára.



1. ábra A fizikai és a kémiai habosítás költségszerkezetének összehasonlítása

A habosított termékek iránti igények folyamatosan növekednek, így egyre aktuálisabb az extruderek utólagos átalakítása habosított termékek gyártására. Számos ipari tapasztalat bizonyítja, hogy *csaknem minden hagyományos extruder alkalmassá tehető a fizikai habosításra*. A berendezés módosításánál, optimalizálásánál figyelemmel kell lenni az átalakítandó extruder jellemzőire és az elvárt habtulajdonságokra, amely tulajdonságok általában nem függetlenek egymástól. *A sűrűség csökkenése ugyanis a mechanikai tulajdonságok romlásával jár, míg a felületi minőség a habosítás mértékétől függ.* Az alkalmazáshoz igazodó tulajdonságprofil a technika és a technológia helyes megválasztásával érhető el. Ennek jó példái a habosított közbülső réteget tartalmazó koextrudált fóliák vagy lemezek, amelyek egyesítik az alacsony sűrűséget a megfelelő felületi minőséggel.

Az extruderek habosításra történő átalakítására szakosodott svájci Promix Solutions kétféle elv szerint statikus vagy dinamikus megoldásokat kínál. A kétféle megoldás közötti döntés alapja az átalakítandó berendezés kiindulási állapota, vagyis a rendelkezésre álló tér, a nyomásviszonyok, az extruderhajtás teljesítménye és az

ömledékhűtés lehetősége. Az 1. táblázat mutatja azt, hogy ezek az adottságok elsősorban mely terméktulajdonságokat befolyásolják.

A statikus megoldásban a folyékony hajtóanyagot injektáló berendezést közvetlenül az extruderszerszám elé építik be egy statikus keverőcsigával együtt. Ennél a megoldásnál fontos a rendelkezésre álló hely, valamint az, hogy van-e elegendő nyomástartalék a pótlólagos keverési folyamathoz. A hajtóanyagot nagy nyomáson működő adagolóberendezéssel juttatják be, amelyet az ömledék áramlása szabályoz. Mivel a nehéz haboknál sokszor nagyon kis mennyiségű hajtóanyagot kell használni, fontos, hogy az adagolás pontossága elérje legalább az 1g/min értéket.

1. táblázat

A technológiai jellemzők hatása a terméktulajdonságokra

Technológiai jellemző	Terméktulajdonság
Extruder típusa	Alapanyag
Rendezésre álló tér	Habsűrűség
Nyomásviszonyok	Cellaszerkezet
Ömledékhűtés	Felületi minőség
Hajtási teljesítmény	Mechanikai tulajdonságok
Szerszám kialakítása	Rétegek száma

A Promix Solutions laboratóriumában kimutatták, hogy a keverőcsiga jellegétől és konfigurációjától függ a feloldható hajtóanyag mennyisége, vagyis a habosítás eredménye. A keverőcsiga kialakításával jelentős mértékben lehet növelni a feloldódó CO₂ mennyiségét. Változtatták a konfigurációt és a technológiai paramétereket: a nyomást, hőmérsékletet, nyírási sebességet és a tartózkodási időt a bevihető és feloldható CO₂ mennyiségének maximalizálása érdekében. Ez a mennyiség akár háromszorosra lehet annak, amelyet egy hagyományos csigakonfigurációval elérnek.

A statikus megoldással közepes és nagy sűrűségű mikrocellás habokat lehet előállítani. Amennyiben csökkenteni kívánják a habsűrűséget, a rendszerbe ömledékhűtőt kell beépíteni. A Promix Solutions csőkígyós hőcserélőt ajánl erre a célra. A hűtésre szolgáló házelemben az olvadék a temperált, hajlított csőkígyók között áramlik. A csőkígyók a hűtésen kívül keverő funkciót is betöltenek. Egy optimálisan kialakított, hűtővel is felszerelt kiegészítő berendezéssel a kémiai habosítással nyerhető termékeknel lényegesen kisebb sűrűségű termékek is előállíthatók.

A dinamikus megoldásban a statikus keverőcsigát dinamikus komponensekkel kombinálják. Ebben a változatban a habosításhoz szükséges lépéseket, a hajtóanyag beadagolását és feloldását az extruderházban a meglévő csigához közvetlenül kapcsolt keverőcsigában vagy éppen egy meghosszabbított csiga utolsó speciálisan kialakított szakaszában valósítják meg. Vagyis a hajtóanyag és az ömledék egyfázisú oldata lényegében a plasztifikálás utolsó szakaszában, dinamikus keveréssel jön létre. Ezt teszi

teljessé végül a statikus keverés. A dinamikus megoldás előnye, hogy alig van nyomásvesztés. A hűtés történhet szokásos módon köpenyhűtéssel, vagy a statikus megoldásban ismertetett ömledékhűtővel.

A svájci cég már eddig is sok extrudert alakított át a fenti megoldásokkal. Egy ilyen átalakítás eredménye jól számszerűsíthető egy habréteget is tartalmazó, 600–650 kg/m³ sűrűségű PP lemez esetében. A fizikai habosításra váltással 20 t kémiai habosítót tartalmazó mesterkeveréket takarítottak meg, amivel egy évnél lényegesen rövidebb idő alatt megtérült a beruházás. Statikus keverő-hűtő berendezés beállításával ráadásul tovább csökkenthető a lemez sűrűsége, ami szélesíti a termék alkalmazási területét. Egy másik cégnél, amely szennyvízelvezető csöveket gyárt, extruderének átalakításával az eddigi PP cső helyett többrétegű, habosított cső gyártására állt át, és ezzel az anyagköltség 25–30%-át meg tudta takarítani. A viszonylag jelentős beruházási költség ez esetben is rövid időn belül megtérült.

A habsűrűség csökkentése nanoméretű gócképzővel

A műanyagok habosításakor a habszerkezetet gyakran gócképzővel alakítják ki. A gócképző mennyiségének növelésével csökkenthető a hab sűrűsége és egyenletesebb lesz a cellák méreteloszlása. Túl nagy mennyiség adagolásánál azonban nyitott cellák keletkezhetnek, és újra nőhet a hab sűrűsége. Ilyenkor ugyanis a gócképzőnek a polimernél nagyobb hőkapacitása miatt lokális felmelegedések (hot spots) állnak elő, ami a kisebb viszkozitás miatt a cellák felnyílásához és a hab összeomlásához vezet. A leggyakrabban gócképzésre használt talkum és kalcium-karbonát részecske 1–25 µm méretű. Minél kisebb a részecske, annál nagyobb a térfogategységre eső cellák száma, azaz a cellasűrűség. Ennek eredményeképpen pedig javulnak a mechanikai tulajdonságok.

Logikus gondolat, hogy nanoméretű gócképző adagolásával még jobb eredmények érhetők el a habosításkor. Az aacheni Műanyag-feldolgozó Intézetben (Institut für Kunststoffverarbeitung, IKV) *nanoméretű rétegszilikátot, montmorillonitot (MMT)* alkalmaztak gócképzőként CO₂-dal habosított polipropilén előállítására. Az MMT erősen anizotróp, hossza 0,1–1 µm, rétegvastagsága 1 nm körül van. Méretei és nagy L/D aránya következtében nagy fajlagos felületet ad a habosításnál keletkező buborékok számára. A hidrofób polimerrel való jó összeférhetőség érdekében az MMT-t kémiaiilag módosítani kell. A kompaundálás során a polimer behatol a rétegek közé, vagyis interkalált szerkezet alakul ki. A diszpergáláshoz a rétegeket el kell távolítani egymástól (exfoláció), amihez nagy nyíróerőkre van szükség.

A kutatók a hajtóanyag-tartalom, a gócképző mennyisége és a szerszámban bekövetkezett nyomásesés hatását vizsgálták a PP/MMT habosított fólia tulajdonságaira. A kísérletben 60 mm-es csigájú 6E4 típusú Barmag extrudert használtak. Az csiga hossza 40D volt, amelyből 10D a hűtésre szolgált. A hajtóanyag okozta hőtermelés ugyanis csökkenti az ömledék viszkozitását, amit a hűtéssel kompenzálni kell. A kísérletekben a Borealis cég *WB 140HMS* típusú polipropilénjét és a Clariant mesterkeverékét használták. A mesterkeverékben az MMT-t organofil bentonitból nyerték,

amelynek felületét hosszú alkiláncú vegyülettel módosították a PP-vel való összeférhetőség javítása érdekében.

A kutatás első szakaszában előkísérleteket végeztek az optimális diszpergáláshoz szükséges paraméterek meghatározása céljából. Először kompakt fóliát állítottak elő, és mikroszkóppal vizsgálták a részecskék számát és eloszlását. Mivel a legkisebb, nanoméretre szétesett részecskék nem észlelhetők, a látható agglomerátumok számából következtek a diszpergálásra. Az előkísérletek során a gócképző mennyiségét, az extruder fordulatszámát és a csigakonfigurációt változtatták. Ez utóbbinál az eredeti csigaelemeket 1–3 csigás, illetve rombuszfelületű keverővel (Rautenmischer) helyettesítették. Az előkísérletek jellemzői a 2. táblázatban láthatók.

2. táblázat

Kísérleti terv a paraméterek optimalizálására

Változó paraméter	Mértékegység	Értékek a kísérletben
Csigás, ill. rombuszos keverőegységek száma	–/–	0/0-0/1-1/1-1/2-2/2-3/3
Csiga fordulatszáma	Ford/min	8 – 14 – 22
Gócképző mennyisége	%(m/m)	1 – 2 – 3

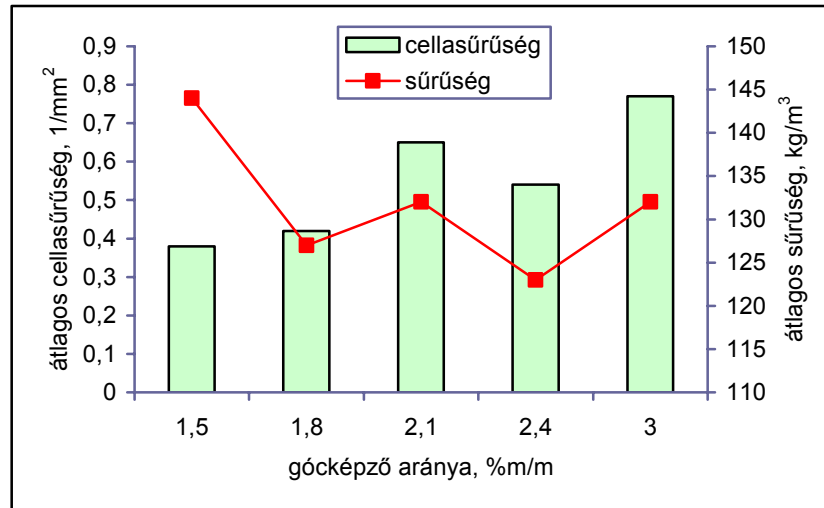
Az előkísérletek eredményei:

- az extruder fordulatszámának 8-ról 14-re emelésével a részecskesűrűség ($1/\text{mm}^2$) jelentősen csökken, mivel a látható nagyobb részecskék nanoméretű, a mérésnél érzékelhetetlen méretűvé esnek szét, vagyis javul a diszpergálás; további növelés hatására, azaz 22/min fordulatszámnál a részecskék felülete is csökken,
- a gócképző mennyisége a fordulatszám növeléséhez hasonlóan javítja a diszpergálást, bár hatása kisebb, mint a fordulatszám-emelésé; a hatás valószínűleg azon alapszik, hogy több részecske esetén ezek egymáson „nyíródnak el”,
- mindkettőnél kisebb a csigakonfiguráció hatása; a keverőelemek beiktatása főleg a kisebb fordulatszámoknál hat a diszpergálásra, mivel ezek már a kisebb fordulatonál is lehetővé teszik a nagyobb agglomerátumok szétesését.

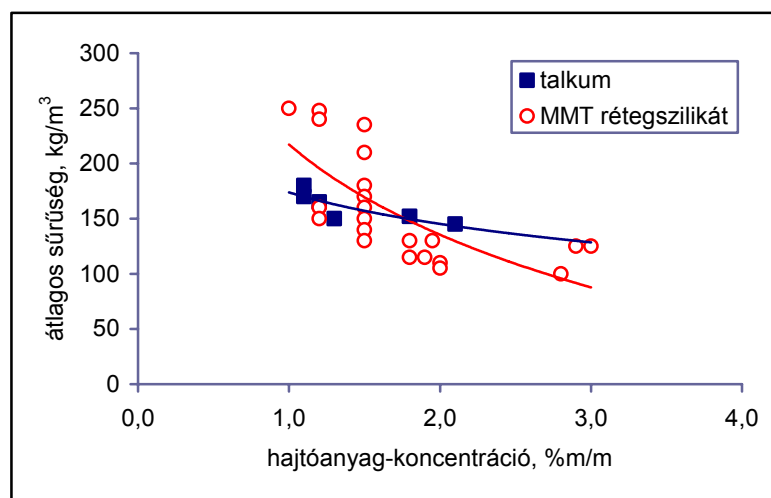
Az előkísérletek után a kiválasztott anyaggal, csigafelépítéssel és fordulatszámmal állítottak elő habosított fóliát. Ennek során a gócképző és a hajtóanyag mennyiségét, valamint a szerszámból kilépésnél előálló nyomásesést változtatták. A habszerkezet kiértékelését mikroszkópos felvételekkel és képfeldolgozó szoftverek segítségével végezték. A 2. ábra a cellaszerkezet változását mutatja a gócképző mennyiségének függvényében 1,5% CO_2 hajtóanyag-tartalom mellett. A cellasűrűség (az 1 mm^2 -re eső cellaszám) először közel lineárisan nő a gócképző arányának növelésével, de nagyobb aránynál már megfigyelhető a hab összeomlása is a habszerkezet rögzítése előtt.

Egy másik kísérletsorozatban a szerszámnyomás habszerkezetre kifejtett hatását vizsgálták. Az eredmények azt mutatták, hogy minél nagyobb a nyomásesés a szer-

számból kilépésnél, annál finomabb lesz a cellaszerkezet. Megfigyelték, hogy a nanoméretű részecskék mellett vannak nagyobb agglomerátumok is. Kisebb nyomás esetén először csak a nagyobb részecskék hatnak gócképzőként, nagyobb nyomásesésnél nagyobb hajtóerő áll elő, és ekkor a kisebb részecskék is elősegítik a habcellák képződését.



2. ábra A habfólia cellaszerkezetének függése a gócképző mennyiségétől



3. ábra A habosított fólia sűrűsége a hajtóanyag-koncentráció függvényében

A hajtóanyag mennyiségének növelésével is csökken a hab sűrűsége. Összehasonlító sűrűségmérések azt mutatták, hogy a *MMT*-vel nukleált habok kevésbé hajlamosak az összeesésre, mint a talkumot tartalmazó habok, ezért a rétegszilikáttal kisebb sűrűségű habok állíthatók elő, mint talkummal, ahogy ezt a 3. ábra mutatja. Ezt azzal magyarázzák, hogy a rétegszilikát a habképződés során a diffúzió akadályaként szere-

pel, azaz megakadályozza, hogy a hajtóanyag még a cellák fixálása előtt eltávozzon a habból. Megállapították azt is, hogy az MMT-t tartalmazó habok valamennyivel merevbbek más göcképzőkkel készíttettekhez képest.

Az elért eredmények alapján a kutatók szükségesnek látják a diszpergálás további javítását, hogy egyenletesen nanoméretű részecskék legyenek az ömledékben. Ez elérhető a nanoméretű részecskék in-situ előállításával reaktív extrúzió útján is. Ilyenkor elmaradhat a nyírással történő diszpergálás, és várhatóan egyenletesebb és teljesebb lesz a nanorészecskék eloszlása.

Összeállította: Máthé Csabáné dr.

Schlummer, C.: Gewinnen mit Schaum = Kunststoffe, 103. k. 9. sz. 2013. p. 176–180.

Hopmann, C., Hildebrand, T., Hendriks, S.: Dichtereduktion durch nanoskalige Nukleierungsmittel = Kunststoffe, 102. k. 9. sz. 2012. p. 66–69.