

Hőre lágyuló műanyagok habosítása extruderben

A hőre lágyuló műanyag hablemezek gyártására legtöbbször korotáló kétcsigás extrudereket alkalmaznak. Az izobután és pentán mellett egyre gyakrabban használnak szuperkritikus szén-dioxidot habosítószerként. A nagy kapacitású polisztirol hablemezt gyártó gépsorok általában egy tandem elrendezésű kétcsigás keverőextruderből és egy egycsigás hűtőextruderből tevődnek össze. A komposztálható politejsav, termoplasztikus keményítő és más speciális kopolimerhabok nehezen dolgozhatók fel, és alkalmazásuk speciális területekre koncentrálódik.

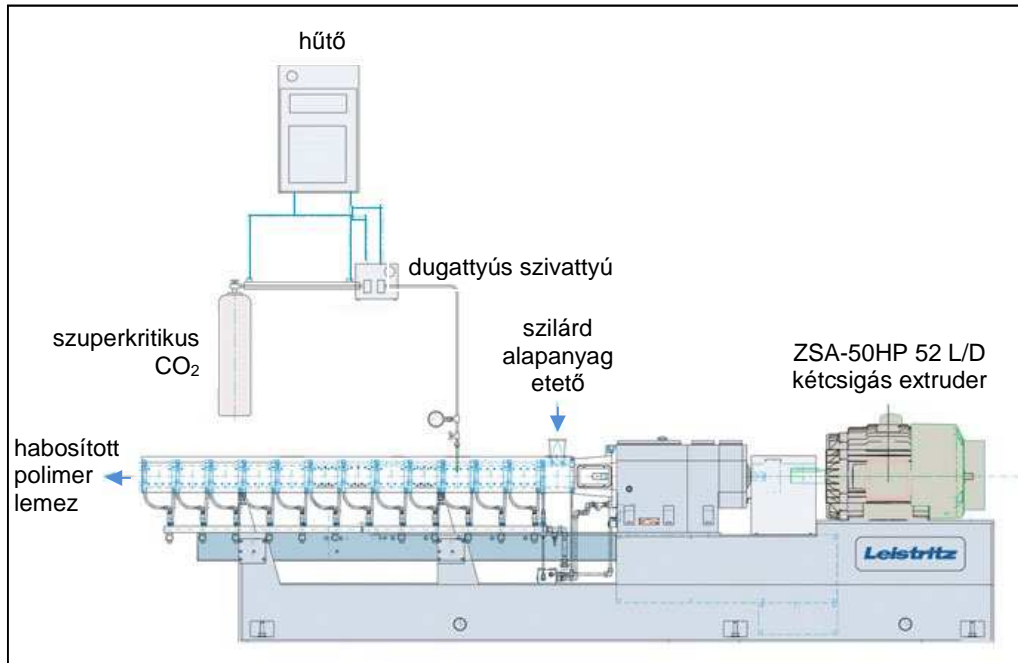
Tárgyszavak: műanyag-feldolgozás; extrúzió; habosítás; PS; PP; PLA; PET; keményítőalapú polimerek; szuperkritikus szén-dioxid.

Kétcsigás extruderek felépítése

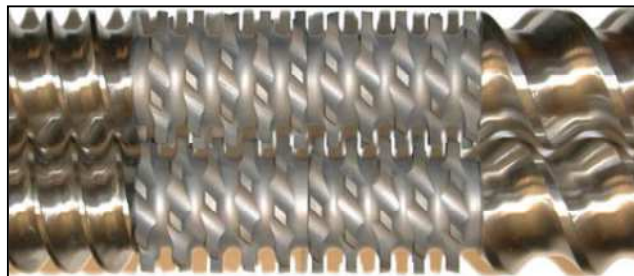
Ahol a több komponensből álló műanyag alapanyag-rendszereket nagy keverő hatásfokkal kell homogenizálni, a kétcsigás extruderek legtöbbször előnyösebbek, mint az egycsigások. Ez az általános alapelv igaz a hőre lágyuló polimerek habosítására is, melynek során különböző fizikai (és néha kémiai) habosítószereket, illetve más adalékanyagokat (pl. színezékek, gócképzők stb.) kell egy vagy több polimerben egyenletesen elosztatni. A kis moltömegű szénhidrogének mellett egyre gyakrabban alkalmazzák a szuperkritikus (tehát folyadék fázisban lévő) szén-dioxidot habosítószerként. Egy erre alkalmas kétcsigás habosító extruder vázlata látható az 1. ábrán.

A modern kétcsigás extruderek csigáit és gyakran a csigaházat is modulárisan építik fel, azaz a csigageometria az elemek cseréjével szinte teljesen szabadon változtatható. A kétcsigás extruderben a jobb keverőhatás érdekében azonos irányba forgó és egymással átlapoló egyes csigaelemeket a két párhuzamos tengelyre húzzák rá, így építik ki az egyes, eltérő funkciójú zónákat (2. ábra). A keverőhatást és az anyagszállítást a csigaelemek geometriája nagymértékben meghatározza. A csigák forgatása nyírást (keverőhatást) és energiabetáplálást (hőhatás) hoz létre. A menetek mélységének és a csiga átmérőjének viszonyát a külső és belső csigaátmérő hányadosával szokás jellemezni. A korábban általánosan elfogadott 1,55 külső/belső átmérőarányt a korszerű berendezéseknél 1,66 értékre növelték (3. ábra). A nagyobb menetmélység nagyobb szabad térfogatot eredményez, de ez egyúttal azt is, hogy csak kisebb átmérőjű, tehát gyengébb tengelyt lehet használni az elemek felfűzésére, tehát kisebb nyomatékot lehet kifejteni. A megengedhető maximális nyomaték függ a tengely keresztmetszete mellett annak alakjától és anyagának szilárdságától is. A csigák forgásakor tangenciá-

lis és axiális erők is fellépnek egyidejűleg, ezért a tengely-csigaelem kapcsolatot biztosító „fogazás” alakját a korábban alkalmazott szimmetrikusról újabban speciális, a maximális terhelhetőséget biztosító aszimmetrikus formára módosították, amely látható a 3. ábrán.



1. ábra Szuperkritikus szén-dioxid habosítószerrel működő kétcsigás habosító extruder vázlatos elrendezése



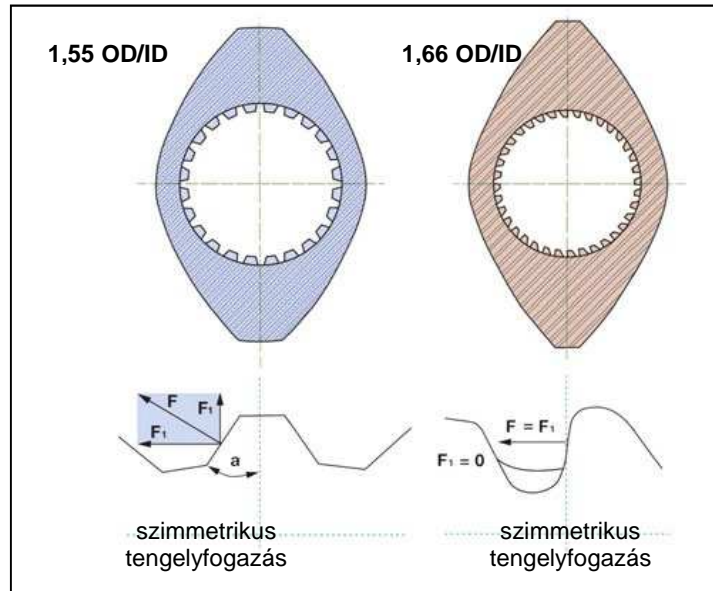
2. ábra Intenzív keverést eredményező „fésűs” csigaelemek

Habosítás szén-dioxiddal

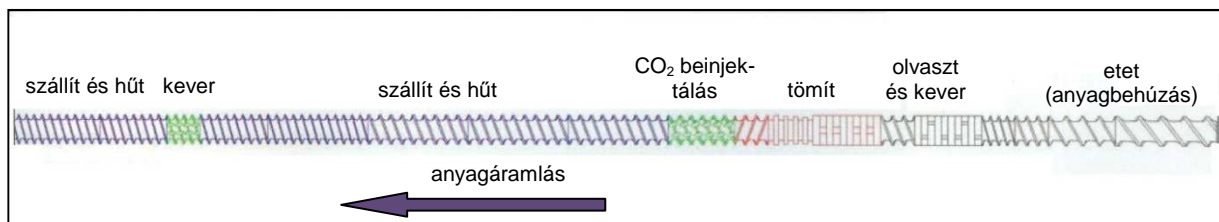
A kétcsigás extrúziós habosítási folyamat a csiga hossza mentén több részfolyamatra bontható (4. ábra).

Az első lépés a műanyag granulátum és a szilárd (por vagy mesterkeverék formátumú) adalékanyagok betáplálása az extruder etetőnyílásán keresztül. Ezt általában

tömegveszteség mérésén alapuló (gravimetrikus) adagolóberendezéssel végzik, amely az egyes komponenseket a keverési arány szerint juttatja be az etetőnyílásba. Fontos, hogy itt elkerüljék a keverék szétfajtázódását, ami könnyen az arányok megváltozásával járhat.



3. ábra A csiga külső átmérőjének (OD) és belső átmérőjének (ID) aránya szerinti geometria, illetve a tengelyfogazás alakjának hatása a keletkező erők szerinti igénybevételre



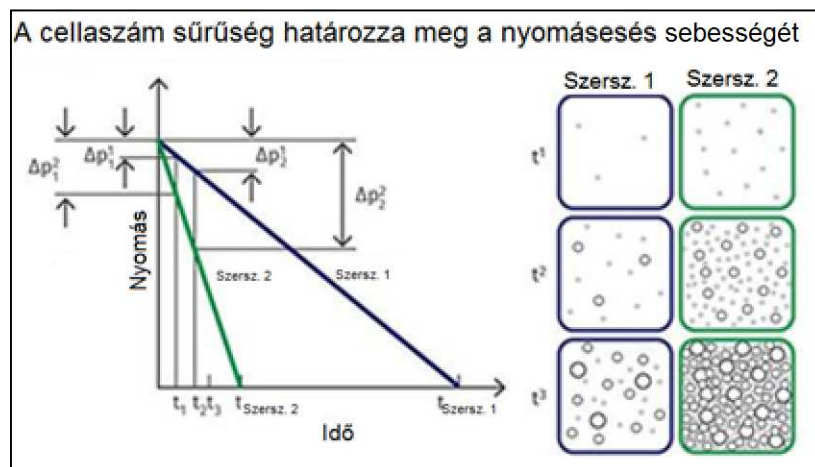
4. ábra Szuperkritikus szén-dioxid habosítószerrel működő kétcsigás extruder zónáinak sematikus elrendezése és funkciói

A következő szakasz a még szilárd anyagok továbbítását, felmelegítését és végül megolvasztását végzi, miközben az anyagok össze is keverednek. A kétcsigás extruderek keverőhatása lényegesen jobb, mint az egycsigásoké, különösen az aggregátumok lebontása és az adalékanyag/polimer fázisok összedolgozása terén hasznosak. A jobb keverést gyakran speciális keverőelemek beépítésével támogatják.

A szuperkritikus szén-dioxidot szivattyúval táplálják be, a szén-dioxid visszaráramlását az etető felé dinamikus tömítéssel (gyűrőelemek, hólyagtömítések, vissza-

áramlásos elemek) gátolják meg. A folyékony szén-dioxidot hűtőköpenyes, rövid és merev csővezetékkel, pontosan adagolva szállítják a betáplálási ponthoz. Fontos, hogy a CO₂ bevitelénél meggátolják a folyékony „tavacsák”, azaz önálló fázisok kialakulását a csigamenetek között. Ennek érdekében intenzív keverést kell biztosítani speciális csigaelemek (ld. 2. ábra) beépítésével.

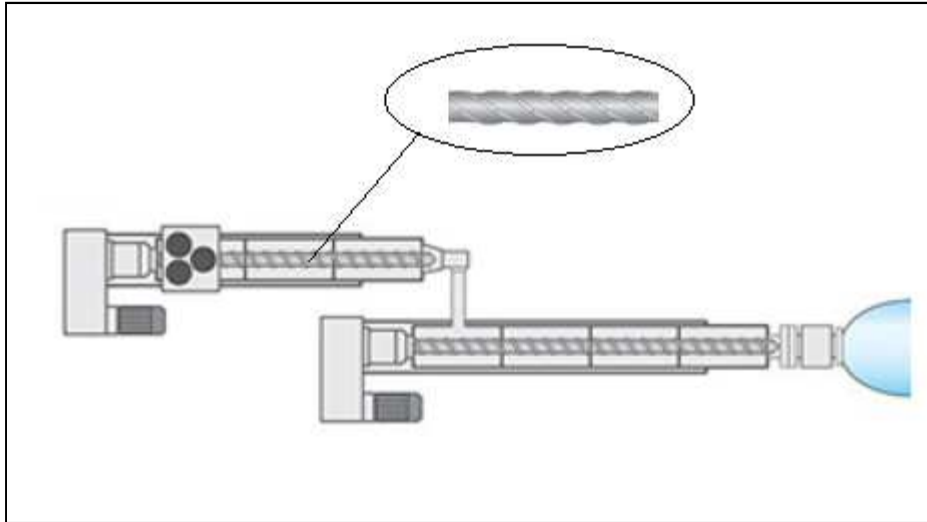
Miután sikerült a szén-dioxidot egyenletesen beoldani a műanyagömladékbe, meg kell kezdeni az ömladék hűtését. A szén-dioxid ugyanis lágyítóként viselkedve jelentősen lecsökkenti az ömladék viszkozitását. Ha az extruderból kilépő műanyagömladék viszkozitása túl alacsony, az atmoszferikus nyomáson elpárolgó szén-dioxid hatására keletkező buborékok túl nagy cellákat hoznak létre, amelyek fala olyan vékony, hogy a buborékok kipukkadnak, és ezáltal kedvezőtlen cellaszerkezet alakul ki. Az ömladék viszkozitása a hűtés hatására megnő. Ha viszont túlzottan lehűtik, túl csekély mértékű lesz a habosítás, vagyis optimális viszkozitásértékre kell törekedni (5. ábra). A csigaelemek nyíróhatása jelentős hőenergiát visz be a műanyagömladékbe. A hűtéshez a csigaház falába hosszirányban kialakított furatokat alkalmaznak, amelyekben hűtőfolyadékot keringetnek. Ezzel a módszerrel kisebb kapacitású rendszerekkel (max. 60 mm csigaátmérőig, illetve 200 kg/h teljesítményig) jó eredmények érhetők el. A nagy kapacitású gépsorok esetében (pl. polisztirol hablemezek gyártásánál) az extruder hengeralástjának hűtése nem képes elegendő hőt elvonni. Ezért itt a magas hőmérsékleten dolgozó keverőextrudert egy alacsonyabb hőmérsékleten működő egycsigás hűtőextruderrel tandem módban (6. ábra) kapcsolják össze. A szorosan átfedő illeszkedésű ikercsigák több frikciós hőt termelnek, mint a laza illeszkedésűek (7. ábra).



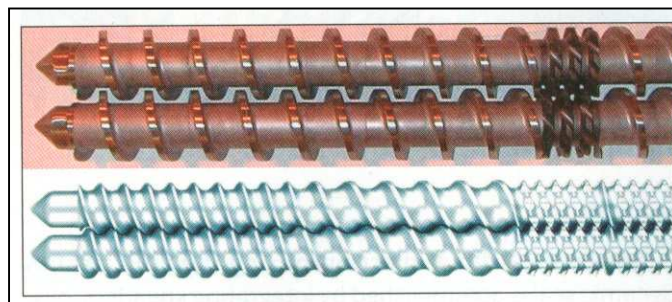
5. ábra A cellaszám sűrűsége arányos az ömladékban lévő göcképzők koncentrációjával (ált. 0,3–2% talkum) és meghatározza a felhabosodás gyorsaságát

Mielőtt a már sikeresen lehűtött ömladék kilépne az extruderból, egy keverősza-kasszal biztosítják, hogy az ömladék hőmérséklete a teljes keresztmetszetben egyenletes értékű legyen. A pontos, egyenletes mértékű anyagáramlás biztosítása érdekében gyakran ömladékiszivattyút építenek be az extruderszerszám elé. A cél az, hogy az op-

timális habszerkezet eléréséhez egyensúlyba hozzák a hűtési, göcképződési és buboréknövekedési folyamatokat.



6. ábra Tandem elrendezésű extruderpár az első, homogenizáló extruder csigájának „ananász” (vagy Saxton) keverőelemekkel ellátott részének kinagyításával



7. ábra Szorosan és lazán átfedő csigakiképzés kétcsigás extruderekben

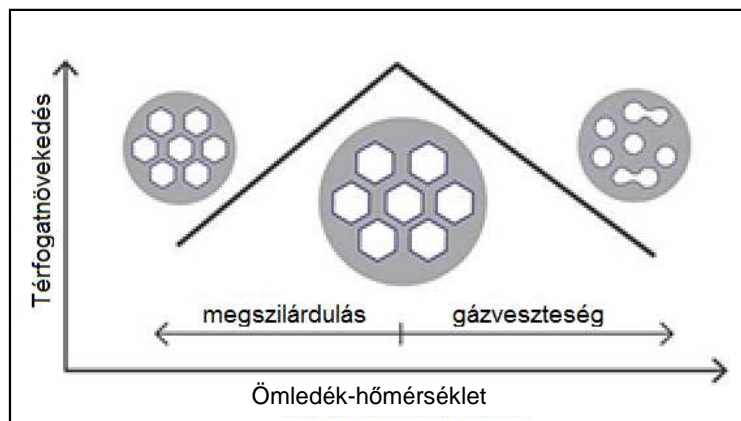
Tandem extruder előnyei

A kis sűrűségű hőre lágyuló tömegműanyag habok gyártásának ma is a leggyakrabban használt eszköze a tandem extruderpár. A csomagolóipar e habok legnagyobb piaca. Az itt legelterjedtebben alkalmazott műanyag a polisztirol, de jelentős mértékben használnak polipropilént és környezetvédelmi megfontolásokból egyre növekvő mennyiségben politejsavat (PLA) is.

A jó minőségű műanyag habok gyártásánál számos tényezőt kell figyelembe venni, amelyek a műanyagömladék reológiáját befolyásolják, mint a kristályosodási hajlam, molekulaszerkezet és a molekulatömeg. A polisztirol (PS) több okból is ideálisan habosítható polimer. Először is ez amorf polimer, amelynél nem lép fel a kristályosodás okozta hirtelen viszkozitásnövekedés az ömladék lehűlése során. Az addíciós

polimerizációval gyártott PS molekulatömege általában 150–400 ezer (g/mól), ami lényegesen magasabb, mint a (polikondenzációs reakcióban előállított) PET vagy a PLA móltömege. A PS főlánc benzolgyűrűn nagy méretű oldalcsoportokat hordoz, amelyek révén a láncok erősebben tudnak összegabalyodni. Mindez nagy ömledék-szilárdságot biztosít a PS normál feldolgozási hőmérsékletén (kb. 230 °C) és habosítási hőmérsékletén (120–140 °C). Az oldalcsoportok növelik a habosodás során fellépő biaxiális nyújtás okozta szilárdságnövekedést. Mindezek hatására a PS habokban a legnagyobb a zárt cellák aránya a többi műanyaghoz képest, függetlenül attól, milyen habosítási technológiát alkalmaznak.

Annak ellenére, hogy a tandem elrendezésű extruderpár használata nagyobb beruházást és bonyolultabb üzemeltetést jelent az egyetlen habosító extruderhez képest, mégis ez a módszer a legelterjedtebb a PS haboknál, mert így lehet igen nagy teljesítményt és jobb cellaszerkezetet elérni. Egy extruderrel ugyanis a kis tartózkodási idők miatt nagyon nehezen lehet csak a homogenizálás miatt szükséges magas ömledék-hőmérsékletéről levinni a hőmérsékletet a habosításnál ideális jóval alacsonyabbra. Ha ugyanis az ömledék hőmérséklete a habosítási lépésben túl magas, akkor a cellák vékony fala a gáz nyomásának hatására felszakad és a gáz jelentős része elszökik (8. ábra).



8. ábra A szerszámból kilépő műanyagömledék hőmérsékletének hatása a cellaszerkezetre és ezáltal a hab sűrűségére

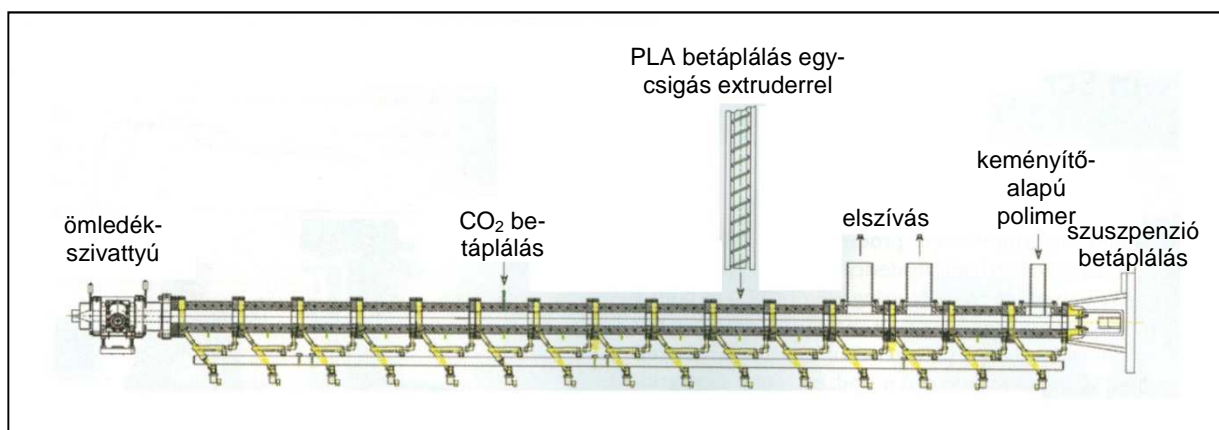
Az első, keverőextruderbe táplálják be a műanyag granulátumot, az adalékanyagokat és gyakran az újra feldolgozásra kerülő technológiai hulladék darátumát. A habosítás fizikai habosítószerrel, vagyis általában 4–5% izobutánnal vagy pentánnal történik, amelyet szintén az első extruderben táplálnak be a már megömlesztett műanyagba. A gyúlékony hajtóanyag visszaáramlását az etetőzóna felé ún. hólyaggyűrűtömítéssel gátolják meg. A nem gyúlékony szén-dioxiddal eddig csak közepes és nagy sűrűségű PS habokat sikerült gyártani, kis sűrűségűt nem, mert a hab felülete ilyenkor hullámossá válik. Nagyon fontos, hogy a habosítószert minél finomabban eloszlassák, azaz feloldják a műanyagömledékben, hogy minél több, finom szerkezetű habcella

jöhessen létre. Az így létrehozott anyagkeverék egy összekötő csövön keresztül jut be a második extruderbe, amelynek legfontosabb szerepe az, hogy egyenletes adagolás mellett kellő mértékben lehűtse (120–140 °C) a nyomás alatt tartott ömledéket.

A habosodás akkor következik be, amikor a második extruder szerszámából kilépő ömledék nyomása az atmoszferikus értékre csökken, és így az addig oldott állapotban lévő szénhidrogén (vagy más, pl. CO₂) molekulák gázzá alakulnak. Ha a hőmérséklet túl nagy, a cellák felszakadnak, ha túl alacsony, a cellák a gáz teljes kitágulása előtt megszilárdulnak, azaz a habosodás „befagy”.

A finom cellaszerkezetet gócképzők (általában talkum) bekeverésével biztosítják. Túl sok gócképző nagyon vékony, és ezért könnyel felszakadó cellafalakat hozna létre. Gyakran hűtő levegőt fújnak a kilépő hab felületére, ami azt eredményezi, hogy egy nagyon vékony tömör réteg alakul ki, ami a csomagolásoktól elvárt esztétikájú, csillogó felületet biztosít.

Egyes országokban környezetvédelmi megfontolásokból ellenzik a polisztirolhab csomagolóanyagok használatát és ehelyett a komposztálható politejsav (PLA) habokat preferálják, amelyek 2 USD/kg körüli ára már elfogadhatóan alacsony. A PLA molekulatömege azonban jóval kisebb, ezért csak (ált. epoxialapú) láncextenderek adagolásával lehet a habosításhoz szükséges ömledékszilárdságot biztosítani. Mivel a PLA részlegesen kristályos polimer, az ömledék feldolgozásának technológiai ablaka jóval szűkebb, mint a PS-é, csak kevés műanyag-feldolgozó cég képes megfelelő minőségű PLA habot előállítani. A PLA habok hátránya, hogy hőállóságuk kisebb, mint a PS haboké, azaz a belőle készült csomagolóeszközök a forró víz és más meleg élelmiszerek hatására deformálódnak. Emellett a lánchosszabbító adalékok forró közeg hatására kioldódhatnak. Ezért az egészségügyi hatóságok nem is engedélyezik a PLA habokat forró élelmiszerek csomagolásához, azaz az ilyen habtálcákat csak hústermékek, zöldegek, gyümölcsök kiszerezéséhez alkalmazzák. A technológia fejlesztésével azonban az amerikai Macro Engineering and Technology Inc. új tandem berendezése speciális csigakiképzés és más újítások révén már képes a PLA eredeti sűrűségénél 16-szor kisebb sűrűségű habot előállítani. Emellett a szabadalmaztatott eljárásukkal készülő PLA habok hőállósága is nőtt.



9. ábra Habosított PLA/keményítő keverék extrudálása

PLA habosítása szén-dioxiddal

Speciális, komposztálható habokat készítenek PLA és hőre lágyuló keményítő-alapú polimerek keverékéből. Az extruder felépítése a 9. ábrán látható. Ilyenkor a keményítőalapú polimer glicerin/víz szuszpenzióját adagolják be a kétcsigás extruder etetőjébe. A felmelegedett és zselizálódott keményítőalapú anyagból a vízgőzt egy vagy több elszívó szakasszal távolítják el. A már vízmentes ömledékhez egy egycsigás extruderrel táplálják be a PLA ömledéket, majd ezt követi a superkritikus szén-dioxid beadagolása. A szén-dioxid tartalom növelése elősegíti a PLA kristályosodását, ezáltal megnövelve a hab hőállóságát.

Összeállította. Dr. Füzes lászló

Martin Ch.: Twin screw extruder developments for novel foam processes = Plastics Engineering, 70. k. 2. sz. 2014. p. 34–39.

Lee R.: Know your options for foaming sheet = Plastics Technology, www.ptonline.com, 2015 május