

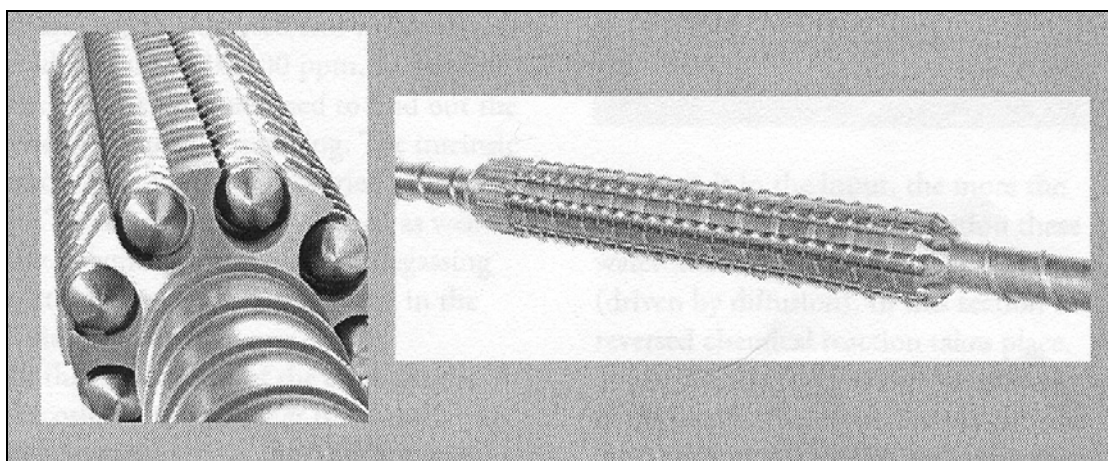
## Újdonságok a PET palackok gyártásában

Az új MRS technológia nemcsak a PET palackok gyártásában, hanem más, nagy viszkozitású ömledéket adó anyagokból előállított termékekhez is jól felhasználható. Az új berendezéssel nagy víztartalmú granulátumok vagy újrahasznosításból származó palackpelyhek is gond nélkül feldolgozhatók. A Mucell technológia egy újabb alkalmazása a habosított PET palckok/tégelyek előállítása.

*Tárgyszavak: PET palack; PET előforma; műanyag-feldolgozás; nyújtva-fúvás; extruder; habosítás; modellezés; szabadalom.*

## Az MRS technológia új lehetőségeket kínál a PET feldolgozásban

A német **Gneuss Kunststofftechnik** által kifejlesztett *MRS* egy egycsigás extruder speciális gáztalanító zónával. A feldolgozás során a polimerömledék egy nagyméretű dobra (1. ábra) kerül, amely 8 vagy 10 (modelltől függően) kis extruderhengert tartalmaz párhuzamosan a fő csiga tengelyével. Ezekbe a kis hengerekbe helyezik el a „szatellit” csigákat, amelyeket egy tányérfogaskerék hajt meg. A szatellitcsigák ellentétesen forognak a fő csigával, miközben a csigatengely körül is forgó mozgást végeznek. Ez jelentősen megnöveli az ömledékfelület „kicserélődését”. Az extruderhengerek 30%-ban nyitottak, így biztosítják az optimális ömledékszállítást, ezért a gáztalanítás korlátozás nélkül megvalósítható. Lehetővé válik ugyanakkor az ömledék hőmérsékletének pontos beállítása is, mivel az ömledékkel érintkező felületek is jól szabályozhatók.



1. ábra. Extruderdob

A szabadalmaztatott komplex csigának köszönhetően, az *MRS* igen széles területen használható, jó a gáztalanító teljesítménye, még 20–40 mbar vákuum mellett is. *Nedves PET palackpelyhek vagy granulátumok (max. 12 000 ppm víztartalommal) kompromisszumok nélküli extrudálása is lehetségessé válik ezzel a berendezéssel.* Ez vonatkozik a nagy viszkozitású ömledékből előállított végtermékek, pl. hevederek, szalagok gyártására is. A gáztalanítási technológia (és az összetett csigazóna) a robusztus és jól bevált egycsigás extruder elvén alapszik. Az *MRS* kiküszöböli az alternatív összetett tengelyek vagy csigák tervezésekor felmerülő problémákat (pl. összekapcsolás), ugyanis ezek a szűk rések miatt igen érzékenyek a mechanikai károsodásra. Ez valódi veszély a PET palackok újrafeldolgozásakor, amelyek őrleménye durva szennyeződések is tartalmazhat. Az *MRS* technológia további pozitívuma a PET szinte 100%-os szárítása, valamint belső viszkozitásának növelése.

*A multirotaációs elemeknek köszönhetően, az ömledékfelület sokkal nagyobb, mint a hagyományos extruderekben (1. táblázat).* Az *MRS* rendszerben az ömledékfelület cseréje 25-ször gyorsabb, mint az együttforgó kétszigás extruderben. Összehasonlítva más többszigás rendszerekkel, az *MRS* igen masszív és robusztus. A Gneuss szakemberei szerint a légtelenítő és gáztalanító elem modulrendszerű felépítése miatt az egyedi igényeket is ki tudják elégíteni. A berendezés elhelyezése, hosszúsága és az elemek elrendezése variálható. Az *MRS* egy extrudercsiga elemeként is használható, illetve ömledékszállító rendszerbe is beépíthető.

Az *MRS-t* a PET feldolgozásban próbálták ki először. Többféle terméket (lemez, nem szőtt szál, granulátum, hevederek/szalagok) előállító extrudersorba építették be. A kémiai folyamat az extruderen belül reverzibilis. A nedvesség tördeli a PET molekulaláncokat, ezért a viszkozitása csökken, és mechanikai tulajdonságai romlanak. A kémiai reakció folyamata az egyensúlyi pontban a nedvességtartalom csökkentésével vagy növelésével megváltoztatható.

1. táblázat

Extruderek ömledékfelületeinek összehasonlítása

	<b>Egycsigás extruder</b>	<b>Kétszigás extruder</b>	<b>MRS</b>
Felület, cm <sup>2</sup>	100%	150%	450%
Felületcsere, m <sup>2</sup> /min	100%	200%	5000%
Szabad térfogat, cm <sup>3</sup>	100%	150%	300%

Egyáltalán nem szárított, 10000 ppm nedvességtartalmú palackpelyhből készítették hőformázható lemezt. A feldolgozás során figyelték a polimer viszkozitásának a változását. Az extruder első zónájában a viszkozitás csökkent, mert a víz beépült a PET molekulaláncokba. Minél nagyobb volt a nedvességtartalom, annál nagyobb mértékben csökkent a viszkozitás. A gáztalanító zónában ezek a vízmolekulák a vákuum hatására eltávoztak, tehát ellentétes irányú kémiai folyamat játszódott le. Ezért elmondható, hogy az *MRS* növelni tudja a molekulaláncok hosszát, a molekulatömeget

és a viszkozitást, javítja a polimer mechanikai tulajdonságait. A viszkozitás a vákuum nagyságától függ, ezért on-line viszkozitásmérést is lehet használni a vákuum szabályozásához, így egy zárt szabályozókör által stabilizálható a viszkozitás. Az *MRS* zóna után az extruder további hidrolízises degradáció nélkül építi fel a szerszámfejen vagy a szűrőben a szükséges nyomást. Ezáltal lehetővé válik az előszárítás nélküli palackpelyhek feldolgozása „egyszerű”, 25-30 mbar-os vákuummal, amelyet hagyományos vízgyűrűs szivattyúval is el lehet érni.

2. táblázat

Különböző felépítésű extruderek energiafelhasználásának összehasonlítása\*

Folyamat	Egycsigás	Kétcsigás	MRS
Kristályosítás	90 Wh/kg	–	–
Szárítás <50 ppm	120 Wh/kg*	–	–
Előszárítás 1000 ppm-ig	–	60 Wh/kg*	–
Extruderhajtás és fűtés	240 Wh/kg*	230 Wh/kg*	295 Wh/kg
Vákuum	–	90 Wh/kg*	45 Wh/kg
Búszterszivattyú	–	30 Wh/kg*	–
<b>Összesen</b>	<b>450 Wh/kg*</b>	<b>410 Wh/kg*</b>	<b>350 Wh/kg</b>

\* Feldolgozók által közölt adatok.

Hevederek/szalagok gyártásakor a jó mechanikai tulajdonságok mellett energiamegtakarítást is elértek (2. táblázat). A hagyományos egycsigás extrudálással összehasonlítva, ahol kristályosítással és előszárítással a víztartalom 50 ppm alá csökkenthető, MRS-sel a fajlagos energiafogyasztás is sokkal kevesebb (kb. 20%-kal), mivel az előbbinél jelentős költséggel jár a granulátumok forró levegővel való szárítása.

A kétcsigás extrudálással egybevetve az energiafelhasználás szintén kisebb, mert az ikercsigáknál nagy vákuum (kevesebb, mint 5 mbar), előszárítás (1000 ppm körüli nedvesség) és búszterszivattyú használata szükséges.

A Gneuss szerint, az *MRS* fajlagos energiafogyasztása 15-25%-kal kevesebb a hagyományos technológiákhoz képest, ugyanakkor rugalmasabb, a szárító- és vákuum rendszereknél pedig kevesebb karbantartást igényel.

## Habosított PET palackok és egyéb újdonságok

Az *NPE 2009 kiállításon* mutatták be a habosított PET palack/tégely fűvási eljárást, amely *direkt gáz bevezetést használ* a kémiai habosítószer helyett. Erre a célra a **Plastic Technologies Inc. (PTI)** fejlesztette ki az „*oPTI*” *technológiát* a **Trexel Inc. MuCell** mikrocellás eljárása segítségével. A nitrogéngáz az előformagyártó berendezés

módosított fröccshengerében keveredik össze az ömledékkel. A habosított palackok lehetnek gyöngyházfényűen áttetszőek és átlátszatlanok, színük a fehértől az ezüstig terjedhet, vagy lehetnek festett alumínium felületűek. A fényáteresztésük max. 95%-ig csökkenthető. A hab merevségének köszönhetően, a termék tömege max. 5%-kal csökkenthető. Ellenállnak a forró töltésnek anélkül, hogy túlzottan zsugorodnának. A habosított palackok nem zavarják az átlátszó palackok újrafeldolgozását.

Az **Aoki** új *SBIII-500LL-50* (50 tonnás) hibrid fröccs nyújtva-fúvó berendezése a nagy erők előállításához hidraulikát, a nagy sebességekhez elektromotorokat, az egyéb funkciókhoz pedig pneumatikát használ. Az egységet szűk nyakú palackok (36 mm vagy kisebb) gyártására tervezték. 16 grammos, 500 ml-es PET palackok esetén az éves kihozatala kb. 35 millió darab. Az Aoki hidraulikus *SBIII-500LL-75* típusával összehasonlítva, az új modell max. 4%-kal csökkenti a fröccsciklus idejét, az óránkénti termelést 22%-kal növeli, és az energiafelhasználást 18%-kal csökkenti. A cég bemutatta a sorban második legkisebb berendezését is, az *SBIII-150n-12* három állomáshelyes egységét 12 tonnás záróerővel és max. 150 grammos befröccsöntési tömeggel.

Az olasz **Sipa** *SFL2* teljesen elektromos nyújtva-fúvó berendezéseinek két szerzőmüreges változatával 25 literes, 65 mm nyakméretű, míg az egy üreges változattal 40 literes, 85 mm nyakszélességű PET palackok gyárthatók.

A **Krones** új berendezésével a kiszerelő üzemek saját maguk gyárthatnak melegen tölthető PET flakonokat. A *NitroHotFill* technológia a szintén új fejlesztésű „*Relaxed Cooling*” elvet alkalmazza, ahol a nitrogén bevezetése éppen a kupakkal való lezárás előtt 1,5–2 bar nyomást hoz létre a palack belsejében. Ez a nyomás kompenzálja az újrahűtés hatására bekövetkező zsugorodást. Ugyanakkor nincs szükség melegen töltéskor a vákuum hatásának kiegyenlítésére szolgáló panelek és egyéb elemek elhelyezésére a palack falán. A *Relaxed Cooling* elvet a *Contiform H* nyújtva-fúvó gépeknél alkalmazzák, amelyek teljesítménye 8–24 üreg esetén max. 1600 palack/h. A *NitroHotFill* technológia csökkenti a fúvó- és az öblítő levegőfelhasználást, növeli a kihozatalt, és 30%-kal kevesebb anyag szükséges a palack előállításához. A levegő visszaforgatása *Air Wizard IV* berendezéssel tovább mérsékli a levegőfogyasztást.

## **A PET előforma hőmérsékletének optimalizálása**

A PET palackok gyártási technológiái közül a *két állomáshelyes nyújtva-fúvó eljárás (SBM)* valószínűleg a legnépszerűbb. Ez magában foglalja a szerkezetileg amorf féltermékek, vagyis az előformák gyártását fröccsöntéssel. Az egy állomáshelyes SBM technológiával szemben ezeket az előformákat tárolják, majd később, lehűtés után helyezik a fúvógépbe. Emiatt szükséges az előformák újra felmelegítése, a megfelelő hőmérséklet-eloszlás (kissé a  $T_g$  felett, jellemzően  $\sim 75$  °C-on) elérése érdekében. Ezt infravörös (IR) fűtőtestekkel érik el. A második lépésben az előformákat hosszirányban nyújtják levegő befúvásával. Végezetül, a palackokat a szerszámban lehűtik és eltávolítják onnan.

Azért, hogy a gyártók által definiált teljesítményjellemzőket elérjék, előzetesen vizsgálni kell a palackok töltési ellenállását, vastagságeloszlását, átlátszóságát, gázzárását stb. Egy flakon teljesítménye nemcsak a vastagságeloszlástól függ, hanem a mechanikai, szerkezeti és az optikai tulajdonságoktól is. A feldolgozási paraméterek befolyásolják a végső tulajdonságokat, amelyekre hatással lehetnek az előforma és szerző tervezése, a PET tulajdonságai és reológiai jellemzői a kétirányú nyújtás során és a feldolgozás körülményei. A fűtés, amely szabályozza az előforma hőmérsékleteloszlását, jelentősen kihat a fűvés kinematikájára (nyújtás és felfűvés), következésképpen a palack vastagságeloszlására is. A hőmérséklet befolyásolja a kétirányú nyújtás által indukált orientációt, így a mechanikai, optikai és gázzáró tulajdonságokat. Vizsgálatok alapján kimutatható, hogy az *előforma oldalfala mentén létrejövő, nem egyenletes hőmérséklet-eloszlás hatással van a PET palack funkcionális tulajdonságaira*. Az optikai anizotrópia a palackfal mentén minimális, ha a belső felület hőmérséklete magasabb a külső felületénél. A hőmérséklet ezért az egyik legfontosabb változó az *SBM* technológiában.

Számos kísérleti módszer létezik, pl. az *IR termográfia*, amellyel mérni lehet a felületi hőmérsékletet a fűtési fázisban. Ennek előnye, hogy nem kell módosítani a feldolgozási folyamatot. Ugyanakkor, a hőmérsékletprofil mérése az előforma falvastagsága mentén még nem megoldott.

Az elmúlt évtizedben gyorsan nőtt azon numerikus eljárások száma, amelyekkel az *SBM* újramelegítési folyamatát lehet szimulálni. A hagyományos végeeselemes módszerrel vagy a kutatók saját fejlesztésű szoftvereivel az előforma hőmérséklet-eloszlása megjósolható. A PET tulajdonképpen úgy viselkedik az IR sugárzás szempontjából, mint egy félig átlátszó test, ami a fő kihívást jelenti a sugárzó hőátadás modellezésében. Különböző megközelítéseket javasolnak az előformán belüli sugárzás elnyelésének számítására. Többretegű előformák fűtési szimulációjában kapcsolatot kerestek a PET kristályosodási sebessége és szórási koefficiense között. Ez a szimuláció viszont nem végezhető el pontosan anélkül, hogy megértenék a sugárzási hőátadás jellemzőit.

Az alakadás szimulációját szintén számos kutató vizsgálta az elmúlt 20 évben. Ezek kisebbik hányada a 3D hőmérséklet-távolság szimulációkon alapult, de jellemzően inkább a 2D tengelyszimmetrikus modelleket alkalmazták. A PET viselkedésének modellezése továbbra is kulcspontja az alakadási folyamat pontos szimulációjának. Az integrált fluidum-szerkezet kölcsönhatási modellek az *SBM* szimulációban általában termodinamikai egyenleteken alapulnak, és automatikusan kiszámítják a levegő nyomását az előforma belsejében a közvetlen nyomás alkalmazása helyett. Ez továbbfejlesztette a termodinamikai modelleket, ami két okkal magyarázható. Először, a levegő nyomása az előformán belül jelentősen eltér a fűvőberendezés névleges nyomásától, így a belső nyomás és az előforma által körülhatárolt térfogat teljes mértékben összekapcsolható. Ugyanakkor, a közvetlen nyomás alkalmazása irreális eredményekhez vezethet.

A numerikus optimalizálási módszerek az *SBM* eljárásban egyre nagyobb figyelmet kaptak az elmúlt évtizedben. Ezek megpróbálják helyettesíteni a drága és időigényes próba-és-hiba (trial-and-error) módszert, amely gyakran eredménytelen.

A kísérleti munka során a teljes *SBM* folyamatot modellezték. Az infravörös melegítés szimulálására *végeselemes szoftvert*, a deformációs folyamatok szimulálására pedig az *ABAQUS szoftvert* használták. A matematikai modellekhez szükséges határfeltételeket pontos mérésekkel vagy numerikus számításokkal állapították meg. A munka legfőbb eredménye a fluidum-szerkezet kölcsönhatás (az előforma és az előformán belüli levegőáram között) megállapítása volt. *A modell sikeresen tudja alkalmazni a kísérletileg mért nyomás-idő profilt, és pontosan megjósolja a fúvás kinematikáját.* Ugyanakkor, a jövőben szükséges még a modell további javítása, figyelembe véve a hőmérséklet, az anyag orientációja és a kristályosodás közötti kapcsolatot.

Összeállította: Dr. Lehoczki László

MRS extrusion technology offers new options in PET. = *Plastics Additives & Compounding*, 11. k. 2009. március/április, p. 24–26.

Knights, M.: NPE 2009 wrap up: blow molding. New machinery for blow molding. = [www.ptonline.com](http://www.ptonline.com) 2009. augusztus.

Bordival, M.; Schmidt, F. M. stb.: Optimization of preform temperature distribution for the stretch-blow molding of PET bottles: infrared heating and blowing modeling. = *Polymer Engineering and Science*, 2009. 49. k. 4. sz. 2009. p. 783–793.