

Hőformázási technológiák és anyagok fejlesztése

Minden műanyag-feldolgozó technológiát folyamatosan fejlesztenek, és ebben a hőformázás sem különbözik: a legújabb gép- és anyagfejlesztések segítik a hőformázókat abban, hogy csökkentsék a termékben a feszültségeket, növeljék a kihozatalt és számúzzák a homályosságot.

Tárgyszavak: műanyag-feldolgozás; hőformázás; belső feszültség; ionomer; fejlesztések; beruházások.

Belső feszültségek csökkentése

Egy amerikai autóiipari beszállító azzal a problémával szembesült, hogy PVC műszerfalainak hőformázott felülete idő előtt repedezett. Úgy gondolták, hogy ezt a síklemezek extrudálásakor létrejövő belső feszültségek okozzák. Módosítani akarták a feldolgozás körülményeit, hogy csökkentse ezeket a feszültségeket és javítsa a termék minőségét.

Abból indultak ki, hogy az autót óriási hőmérséklet-változás érheti mind kívül, mind belül, különösen a hideg északi éghajlaton. Ez a műszerfal repedezéséhez vezethet. A projekt során valamennyi feldolgozási változót elemezték, hogy megállapítsák, melyik felelős a belső feszültségekért. *A legfontosabb változók a húzási arány, a szerszámhőmérséklet, az ömledék-hőmérséklet, valamint a középső és alsó hengerek hőmérséklete.* A vizsgálatsorozat során – különböző hőmérsékleti paraméterekkel – a lehúzási arányok 1:1 és 2:1 voltak. A lemezeken megvizsgálták a zsugorodás fokát és egyenletességet.

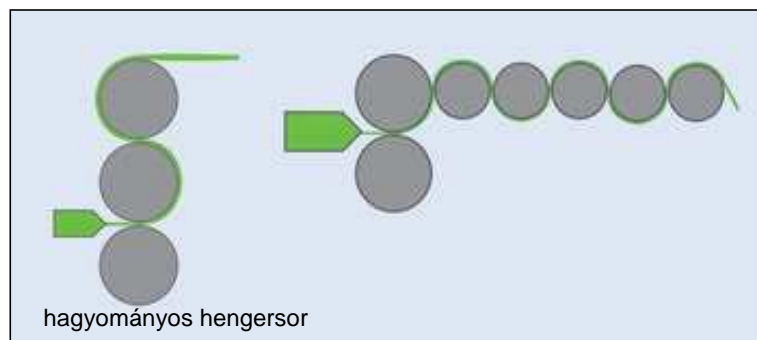
A különböző paraméterekkel végzett lemezextrudálási próbák kiértékelése során minden esetben találtak „legjobb” és „legrosszabb” jellemzőt, és azt a következtetést vonták le, hogy a szerszám és az ömledék hőmérsékletének viszonylag elhanyagolható hatása volt a feszültségek kialakulására. Ehelyett két fő tényezőnek viszont jelentős: ezek a lehúzási arány és a síklemez felületének túl gyors lehűtése voltak. *A lemezek kevésbé gyors hűtése nem teszi lehetővé a feszültségek befagyását, és időt ad a relaxációra.*

Kristályosság

A Battenfeld-Cincinnati-nál kifejlesztett *MultiTouch* hengersor növeli a részlegesen kristályos polimerek kihozatalát. Az ilyen polimerekből – pl. PP és PE – készült lemezek minősége nagymértékben függ a hűtési előéletüktől. *Az alapanyag lemezzé*

való feldolgozási költsége a felére csökkenhet, ha a továbbítási sebesség megháromszorozódik. Bár a legújabb extruderek képesek erre, probléma lehet, ha a lemezek hűtése túl gyors. A részlegesen kristályos anyagokban ez belső feszültségeket és minőségi romlást (pl. az átlátszóság csökken) okozhat.

A vállalat úgy döntött, hogy ezekre a kérdésekre a több hűtőhenger a válasz (1. ábra). Ez három működési elv megfogalmazásához vezetett a rendszer szempontjából: ezek a multibehúzás, a mikroömladék-hengersor és az egyenlő hűtési hosszak. A lemez infravörös hőmérséklet-vizsgálatának eredményei azt mutatták, hogy nagyobb lehúzási sebességeknél több levegő kerül be a határrétegekből a hengerek és a lemez közé. Ugyanakkor, a hengerek együttes behúzásával ez a levegő nem tud behatolni, és biztosítja a lemez és a hengerek közötti közvetlen érintkezést.



1. ábra Egyenletesebb lemezűtést biztosító Multi-Touch hengerosor (jobbaldalt)

A hagyományos kalanderezésben a lemez belsejéből származó hó megolvasztja a kalibrált felületet „hőzebeket” vagy „narancsbőrt” létrehozva. A lemezre ható nyomás segít kisimítani a felületet.

Korábban nagy hengerátmérőket használtak a megfelelő hűtési kapacitás érdekében. Ez befagyott felületet adott az egyik oldalon, míg egy olvadtat a másikon, ami eltérő mértékű belső kristályossághoz vezetett, és vetemedést, belső feszültséget okozott. *Több kis átmérőjű henger alkalmazása jobb megoldás az egyenletes hűtésre.*

A Battenfeld-Cincinnati új tervezésében az első két henger nagyobb méretű, ami nagyobb nyomást eredményez. Az ezt követő hengerek nagyjából fele akkorák, de hasonló mértékű erőt tudnak létrehozni. Az összes henger vízhűtésű. Az új elrendezéssel kevesebb a vetemedés és a feszültség, jobb az átlátszóság, csökken a kristályosság és javul a vastagságtűrés.

Az új rendszerrel nemcsak nagyobb lesz a kihozatal, hanem javul a minőség és a lemez teljesítménye: vékonyabb fedeleket lehet gyártani, amelyek mindkét oldala fényes és kitűnőek a hőformázási jellemzőik.

Alakadás

A CMT Materials szerint az átlátszó polipropilén hőformázásában szintaktikus hab (üveggyöngy és műanyagkeverékből készült) felsőnyomókkal jobb teljesítmény

érhető el alakadáskor, mint a tömör műanyag felsőnyomókkal. A kutatók úgy találták, hogy „statisztikailag jelentős” a javulás a homályosságban, az anyageloszlásban és a horpadási szilárdságban az így hőformázott PP termékeknél. A felsőnyomó felületi minőségét, amelyet utómegmunkálással és polírozással lehet befolyásolni, kritikus tényezőként azonosították.

Számos hőformázó egyre inkább polipropilént használ nagy átlátszóságú alkalmazásokhoz, elsősorban az élelmiszer- és italcsomagolási szektorban. Mivel a PP-nek a PET-tel és a polisztirollal összehasonlítva szűk hőformázási ablaka van, ezért rendkívül fontos, hogy jó legyen a felmelegített lemez és a felsőnyomó közötti érintkezés.

Kísérleteket végeztek 0,055 inch (1,39 mm) vastag PP lemezzel és Milliken *Millad NX 8000* átlátszóságot javító adalékanyaggal annak érdekében, hogy meghatározzák a CMT *Hytac-CIR* kopolimer szintaktikus hab előnyeit, az optikai tulajdonságok romlása nélkül, összehasonlítva a tömör polimerekkel, mint a poli(éter-imid) (PEI) és a poli(oxi-metilén) (POM). A formázott termék egy 3,5 inch (89 mm) magas pohár volt 2,6 inch (66 mm) átmérőjű belső peremmel és 2 inch (51 mm) alsó átmérővel, a nyújtási arány 3,4 volt. A *Hytac-CIR* kopolimerrel 20%-kal csökkent a homályosság a PEI-hez képest, valamint 10%-kal nőtt a pohár tömege és 28%-kal az oldalfal minimális vastagsága. A POM-mal összehasonlítva a *Hytac-CIR*-ből készített poharak tömege 3%-kal, a minimális oldalfalvastagság pedig 20%-kal nőtt. A tömeg- és oldalfalvastagság-növekedés 31%-kal nagyobb horpadási szilárdságot eredményezett a PEI-hez képest.

A tárolóedényeknek károsodás nélkül túl kell élniük a rendeltetészerű használatot – ezt minden fejlesztőnek szem előtt kell tartania. Például, egy átlátszó pohárnak megfelelően merevnek kell lenni ahhoz, hogy ne horpadjon be és ne lötyyenjen ki a folyadék, amikor a fedelet ráhelyezik. Bogyós gyümölcsöt vagy zöldséget tartalmazó doboznak pedig megfelelően erősnek kell lennie, hogy túlélje a megtöltött dobozok egymásra helyezését és megelőzze a beltartalom összenyomódását.

Átlátszóság

A Milliken a moszkvai RosUpack kiállításon mutatta be a *Millad NX 8000* átlátszóságot javító adalékanyag előnyeit. Az *NX 8000*-et *Ultra Clear PP*-be keverve a PET-nél kisebb sűrűségű anyaghoz lehet jutni. A tulajdonságokat *ClearTint* színezékekkel tovább lehet javítani.

Az *Ultra Clear* és a Millad adalék párosítása az üvegszerűen átlátszó anyagokkal összemérhető átlátszóságot ad, és ez új standardnak tekinthető. A párosítás megszünteti a PP hagyományos „tejes” megjelenését, és a PET versenytársává válik olyan felhasználásokban, mint a hústálcák, a fedővel zárható dobozok és a fedők. Az *Ultra Clear PP* előnyei közé tartozik még, hogy egyanyag csomagolás készíthető belőle, könnyen hegeszthető, vegyszer-, ütés- és hőálló. Hőállósága tovább bővíti alkalmazási lehetőségeit, ezek közül kiemelendő a mikrohullámozhatósága és melegen tölthetősége. Az *Ultra Clear PP* a PET-alapú élelmiszeres tálcákhoz képest 17,8%-kal könnyebb, így 1 kg PP-ből 70 tálca, míg 1 kg PET-ből csak 57 tálca készíthető.

A *ClearTint* és a Milliken *NX 8000* együttes használata példátlan lehetőségeket ad a PP színezésében és a termékvédelmében.

Szimuláció

Az Ansys számítástechnikai cég kutatói új modellt javasoltak a hőformázási technológia szimulálására. Ez olyan paramétereket használ, amelyek egy egyszerű nyújtási kísérletből származnak, amelyben a nyújtási viszkozitást a nyúlás függvényében ábrázolják. Az eredményeket polisztirolból készült gyümölcskosár hőformázásával ellenőrizték.

Fontos szempont, hogy egyensúlyt kell tartani a tömegcsökkentés és a szerkezeti integritás között. Figyelembe kell venni, hogy a hőformázott termékek gyártási folyamata az egyetlen, ahol a nyújtási hatások dominálnak.

A vizsgálatok során számos vastagságmérést végeztek. Az egyik lemezből 25 próbatestet vágtak ki, hogy bemutassák a vastagságmérési „zónákat” az átlagos vastagság meghatározásához. A formázó eljárást az alábbi jellemzőkkel szimulálták a szerszámmozgásra és az alakadó nyomásra: a szerszám 1 másodperc alatt 65 mm-t mozog, a 10 bar (1 MPa) alakadó nyomás ezt követően 0,5 másodpercig tart. Az eredmények kiváló egyezőséget mutattak a szimuláció és a kísérlet között a végtermék vastagságeloszlására.

A stuttgarti egyetem műanyag-technológiai intézetében (Stuttgart University Institute of Plastics Technology) olyan módszert fejlesztettek ki, amellyel a hőformázás során a lemez hőmérséklete pontosabban határozható meg. Gyakran a lemezt sugárzó kemencében melegítik fel, és infravörös érzékelőkkel szabályozzák a hőmérsékletet, amelyek mérik az elektromágneses sugárzást is. Amikor sugárzó kemencét telepítenek, nem tulajdonítanak jelentőséget annak, hogy a mért elektromágneses sugárzás jelentősen hathat a lemez hőmérsékletére.

A kutatók egy modell-alapú megközelítést javasoltak a hőmérséklet mérésére, hogy az elektromágneses sugárzást külön tudják választani. A kísérleti eredmények jó egyezőséget mutattak a mért és a korrelált mennyiségek között, amikor a szimulációs hőmérsékletprofil alkalmazták. Egy algoritmust fejlesztettek ki a pontos hőmérséklet profil meghatározására, amelyben csak a pirométerekből származó mért sugárzást vették figyelembe.

Új polikarbonáttípus a hőformázáshoz

A hőformázással készült termékek elsődleges célterülete az élelmiszerek csomagolása, de a technológia előnyeit más szektorokban is ki lehet használni.

A Bayer MaterialScience egy extrudálható polikarbonáttípust fejlesztett ki, amelyből hőformázással kopásálló termékek készíthetők. A *Makrolon ET MS240* továbbfejlesztett felületvédelemmel rendelkezik, ezért pl. az amerikai Andiamo cég új *Pantera* bőröndkollekcijához ezt az anyagot választotta. Az erős, tartós polikarbonát könnyebb az alumíniumnál és más anyagoknál, különböző formákban és színárnyala-

tokban dolgozható fel, az elkészült termékek felülete puha tapintású. Az új karcálló polikarbonátból egyetlen feldolgozási lépésben alakítható ki a bőrönd héjszerkezete.

Élelmiszeripari újdonságok

A hőformázott termékek többsége ugyanakkor az élelmiszeripar számára készül. A dán PlusPack csomagolószer-gyártó új anyagot kezdett el használni egyik hőformázott termékéhez. A svéd Scanfill – a Polykemi leányvállalata – ásványi anyaggal erősített poliolefinje a magas töltőanyag-tartalomnak köszönhetően a hasonló alkalmazásokhoz képest nagyjából fele annyi műanyagot tartalmaz. A Scanfill anyagot *Bistro* gyártósorukon dolgozzák fel, ahol korábban PP-t használtak. A *Bistro* soron mikrózható ételeket csomagolnak, de a PlusPack más alkalmazások felé is nyitott. Lehetőséget látnak az anyagváltoztatásra a *SmartView* gyártósorukon is. Jelenleg itt PP-t és CPET-et dolgoznak fel. A Scanfill jelentős előnyökkel bír a PP-vel összehasonlítva, amely előnyös olyan alkalmazásokban, ahol eddig főleg CPET-et használtak. Fő előnye a nagyobb hőstabilitás. Potenciális alkalmazások lehetnek a levesestálak, a salátás és egyéb ételes edények.

Ionomer tapadóréteg

A DuPont új *Surlyn* ionomerje segített a hőformázható, 9-rétegű fólia tömegcsökkentésében. A Reifenhäuser Kiefel Extrusion gépgyártóval közösen fejlesztett fólia kb. 20%-kal könnyebb, mint a 7-rétegű PA/PE fóliák, köszönhetően annak, hogy sikerült 16%-kal csökkenteni (240 µm-ről 200 µm-re) a vastagságot. Az új *Surlyn* merevebb, ami alacsonyabb hőmérsékleten teszi lehetővé a fóliahegesztést és biztosítja a széles feldolgozási ablakot. A DuPont azt is állítja, hogy a nagyobb perforáció és kopásállóság, a zsírral szembeni jobb zárás alkalmassá teszi a fóliát érett sajtok, csontos húsok vagy füstölt sonkák csomagolására.

Az anyagokat a Reifenhäuser 11/9-csatornás *Evolution* barrier fűjt fólia technológiájával dolgozták fel és a 7-rétegű fóliákkal szemben vizsgálták. A vizsgálatokban a 9-rétegű fóliának a fényessége 10%-kal, az átlátszósága 13%-kal volt jobb, valamint javult a hőformázási teljesítmény is. A *Surlyn* ionosan térhálósított, sajátos kémiai szerkezetéből adódó, speciális feszültség-nyúlás viselkedésének köszönhetően, a fólia nyújtott területeinek szilárdsága nőtt. Ennek a „nyúlási keményedésnek” a hatására, a hőformázott csomagolások alsó sarkaiban a fólia vastagsága nagyobb, mint a polietilénalapúakénál. Így, bár a hagyományos, 7-rétegű fólia a hőformázás előtt 20%-kal vastagabb volt, a hőformázás után mindkét szerkezet vastagsága a sarkoknál azonos volt.

Új beruházások Oroszországban és Kínában

Az Amut a közelmúltban adta át Oroszország egyik legnagyobb, hőformázással foglalkozó vállalatának (Poly Er) rendelésére készült inline hőformázó berendezését. A gyártósorral eldobható tányérok (PS-HI és PS-GP) állítanak elő, amelyek tömege csak 3 g. A berendezéssel 165 mm átmérőjű, 135 µm vastagságú és 3 grammos tá-

nyérből 52 500 darab, míg 203 mm átmérőjű, 146 µm vastagságú és 5 g tömegű tányérből 34 500 darab állítható elő egy óra alatt.

A *PA 1000* modellen alapuló soron optimalizálták a PS-HI feldolgozását – és azért, hogy elkerüljék a törékeny szerkezet tördelődését, amikor áthalad a speciális szállítórendszeren – a melegítő kemencét, a gépmozgást, a hőmérséklet-szabályozást és a termodinamikus hurokteljesítményt. A sorban található egy alapanyagot feltöltő és adagoló rendszer a fő extruderhez (négy komponens) és a koextruderhez (két komponens).

Az extrúziós egység tartalmaz egy *EA100* típusú egycsigás fő extrudert 600 kg/óra kapacitással (vákuumos szellőzőrendszer egészíti ki a zárt hurkú vízszabályozást) és egy *EA60* típusú egycsigás koextrudert a külső rétegekhez. Annak ellenére, hogy a fólia nagyon vékony, stabil marad a gyártás során, ami biztosítja a végterméken a repedések alacsony szintjét.

A Battenfeld-Cincinnati eladta Kínába az első *Multi-Touch* hengersorát egy 10 000 tonna/év kapacitású, nagy sebességű, hőformázható lemezgyártó extrudersor részeként. A vevő a Guangdong Huasheng Plastics of Shantou volt. Kínában nő a kereslet a magasabb minőségű és nagyobb hatékonyságú termékek iránt, amire a vállalat ezzel a beruházással reagált. Amióta elindult a gyártás, a *Multi-Touch* hengersor jelentősen hozzájárult termékeik minőségének javításához.

A *BC-75-40 DV T4* nagy sebességű extruder segít elérni az 1400 kg/óra kihozattal PP lemezeknél. A gyártott lemezek vastagsága 350 és 2500 µm közötti. A gyártósor korábban használt kínai extrudersorokat váltott le, helyet és kiadásokat takarít meg.

A *Multi-Touch* hengersor kiváló lemezminőséget nyújt, ami az egyedi hengerkonfigurációnak köszönhető. Először is egy kéthengeres simító előkalibrálja a síklemezszerszámból kijövő anyagot, majd a lemez egy újrakalibráló egységen halad keresztül, amely max. 7 darab kisebb méretű hengerrel van felszerelve. Ez biztosítja a konzisztens hengerérintkezést és az egyenletes hűtést a lemez mindkét oldalán, még maximális lehúzósebesség mellett is.

A végeredmény, a Battenfeld-Cincinnati szerint, jelentős javulás a lemez méret-tűrésében és a feszültségmentes lemez gyártásában, amely optimális átlátszóssággal, síkbeli alakhűséggel és egyenletes vastagságprofillal egészül ki.

Összeállította: Dr. Lehoczki László

Reade, L.: Pressing ahead: the art of thermoforming = Film and Sheet Extrusion, 2014. július/augusztus, p. 33–37.

Reade, L.: Pressing concerns: latest thermoforming technologies = Film and Sheet Extrusion, 2015. június, p. 13–19.