

# MŰANYAGOK FELDOLGOZÁSA, ADDITÍV TECHNOLÓGIÁK

## Műanyag lemezek extrudálása

A lemezek hengeres hűtésekor egyidejűleg számos hőátadási folyamat megy végbe. A hengerelrendezés kiválasztásakor figyelembe kell venni a hűtő- és mechanikai teljesítményt, a feldolgozandó anyagot és a henger belső kialakítását. A feldolgozás során problémát jelenthet a hengerek elhajlása. A hőformázó berendezések karbantartásakor ellenőrzőlista segíthet a zökkenőmentes működtetésében.

*Tárgyszavak: műanyag-feldolgozás, lemez extrudálás, hőformázás, hűtés, hűtőhengerek, karbantartás, hibaelhárítás, új alkalmazások*

### Hőátadás a hűtőhengereknél

A hűtőhengerek összetett mechanikai és hőtechnikai eszközök, egyben elég erősek ahhoz, hogy ellenálljanak az elhajlásnak és a szorítóerő okozta sérüléseknek. Sok hőt vezetnek el a rajtuk áthaladó lemezekből vagy fóliából, átadva azt a hűtőközegnek.

A hengerekkel érintkező műanyag lemezek hűtésekor egyidejűleg számos hőátadási folyamat megy végbe. Először a hőt magán a polimeren keresztül kell elvezetni, hogy elérje a hengert. Ezután át kell vezetni az acél hengerfelületen, végül el kell juttatni a hengeren belüli hűtőközegbe. Minden polimernek más a hővezetőképessége és hőkapacitása, vagyis a hő eltávolításának ideje is eltérő. Figyelembe kell venni a hőátadási tényezőt a polimer és a henger felülete közötti úgynevezett „résnél” is. Valójában ez nem rés, de mivel a polimer és az acél nincs molekulárisan összekötve, ez a felület ellenállást jelent a hőátadással szemben. Sőt, ez a hőátadási tényező a polimer hőmérsékletének változásával módosul, és egyik hengerről a következőre adódik át. Ahogy a lemez lehűl és egy másik hengerre kerül át, már kevésbé kötődik ez utóbbihoz, növelve a hőátadással szembeni ellenállást.

A henger acél külső héja nagyon vezetőképes – több százszorosa a polimernek –, ezért ritkán akadályozza a hűtést. Általános tévhit, hogy amikor a hengerek nem hűtik megfelelően a lemezt vagy a fóliát, akkor nem vesznek fel elegendő hőt. Valószínűbb, hogy a polimer nem érintkezik elég hosszú ideig a hengerrel ahhoz, hogy a hőt magán a lemezen keresztül átadja, így a nagyobb hengerek több időt hagynak a polimerből a hőelvonásra. Nagyon vékony lemez és/vagy nagyon nagy gyártási sebesség esetén azonban a henger felülete lehet a szabályozó tényező. Minél vastagabb a lemez, annál valószínűbb, hogy a polimeren keresztüli hőátadás ideje a korlátozó tényező, nem pedig a henger felületén keresztül történő hőátadás.

Bizonyos (rövid) idő telik el, mielőtt a hőátadás megkezdődik a lemezen keresztül. Az érintkezési idő csökkenésével ez a tényező egyre inkább szerepet játszik. Az acél héjon átvezetett hőt a hengeren áthaladó hűtőközeggel kell eltávolítani. A hőátadási tényező a hűtőfolyadék és az acél héj között a hűtőfolyadék típusától és áramlási sebességétől függ. A különböző hűtőközegek hővezető képessége, hőkapacitása és viszkozitása eltérő, ezért ezeket a tényezőket figyelembe kell venni a henger kialakításánál víztől eltérő hűtőközegek esetén.

A hőelvezetés optimalizálása érdekében a hűtőfolyadéknek a hűtőcsatornában turbulensen kell áramlani. Ha az áramlási sebesség nem megfelelő, a hűtőfolyadék felforrósodik a hengerben, így a hőátadási sebesség a henger egyik oldaláról a másikra haladva változik, ezért a hengerből kilépő lemez az egyik oldalon forróbb lesz, mint a másikon. Ez valós probléma lehet egy in-line hőformázásnál, így a hűtőfolyadék szivattyúkat a henger kialakításához és a hűtési követelményekhez kell méretezni.

## Hűtőhengerek elrendezése

Lemezek extrudálásánál gyakori a függőleges háromhengeres elrendezés, esetleg további hengerek beépítésével a nagyon nagy sebességű gyártósoroknál, ahol a hengerekkel való érintkezési idő rövid. Lemezeknél a felső hengernek csak csekély hűtőhatása van, mivel a polimerrel kis felületen érintkezik.

Az alkalmazásnak megfelelő hengerelrendezés kiválasztásakor négy fő szempontot kell figyelembe venni: a teljes hűtőteljesítményt, a feldolgozandó anyagokat, a mechanikai teljesítőképességet és a henger belső kialakítását. Csak a hűtőteljesítményt figyelembe véve a felső henger a lemez vastagságának és egyenletességének beállítására szolgál. Általában a henger kevesebb mint 10%-a érintkezik a műanyaggal, minimálisra csökkentve a hőátadás felületét. A középső henger végzi a hűtés nagy részét, mert a kerületének körülbelül a felét borítja polimer, és ott a legmelegebb a műanyag, így maximalizálja a hőátadást a hűtött henger felé. A harmadik henger kerületének legalább 50%-a érintkezik a műanyaggal, de mivel a lemez a hő nagy részét már átadta a középső hengernek, a hőátadási sebesség általában sokkal kisebb ennél a hengernél. Azonban a harmadik henger a középső hengerről érkező lemez átellenes oldalát hűti, így vastagabb lemezek esetén hatékonyabbá válik. Időbe telik, amíg a hő áthalad a lemezen, minél vastagabb a lemez, annál kisebb az adott hengernél a hőeltávolítás százalékos aránya.

A megfelelő hengerméretezés a polimer különböző tulajdonságaitól függ, vagyis nincs univerzális hengerelrendezés. A henger hűtési hatékonysága a polimer típusától, a henger kialakításától és a hűtőközegtől függően változik. A hűtési sebesség fő meghatározói a hőátadási sebesség, a fajhő és az ömledékhőmérséklet. Már a polimer ömledéksűrűsége is befolyásolja a hengerhűtés hatékonyságát a hőátadási sebesség különbségei miatt. Ha a polimer termikus tulajdonságai összekapcsolódnak a mechanikai követelményekkel, a henger kialakításával, méretezésével és a hengerhűtési rendszerrel, akkor a megfelelő hengerelrendezés kiválasztása meglehetősen összetett kérdéssé válik.

## Henger elhajlás

A ma is használatos régebbi lemez simítóhengerek közül számos polisztirol vagy más könnyen alakítható polimer feldolgozásához készült. Ezeknél a hengesoroknál a felső henger általában kisebb átmérőjű volt, hogy könnyebben és biztonságosabban húzza be a lemezt. Manapság, amikor a lemezgyártásban egyre inkább áttérnek a polipropilén feldolgozására, azt eredményezte, hogy számos esetben a hengerek elhajlanak és a lemez felülete domború lesz. A polipropilén viszkoelasztikus tulajdonságai, valamint bizonyos feszültségeknél a viszkozitásnövekedésére való hajlama miatt nagyobb henger szorítóerőt igényel a kalanderezése.

Nagyobb átmérőjű felső henger beépítése egy meglévő hengersorhoz igen kiterjedt gépmódosításokat igényel, és ha a középső henger is elhajlik, bár kisebb mértékben, a nagyobb felső henger csak csökkenti, de nem szünteti meg a problémát. A hengersorban lévő hengerek elhajlását okozó szétválasztó erő közelítő számításai azt mutatják, hogy polipropilén esetében

35%-kal nagyobb erő szükséges a hengerpozíció megtartásához, mint HIPS polimerrel, illetve az elhajlás mértéke nő a lemezvastagság csökkenésével. Tehát a túlzott elhajlás túlnyomórészt vékonyabb PP lemezeknél jelentkezik. A legtöbb vékony lemeznél a nyírási sebesség jellemzően alacsony a hengerrésben, így csekély nyírási elvékonyodás figyelhető meg, kivéve nagyon nagy feldolgozási sebességeknél.

Nagyobb átmérőjű felső hengernél az egyik lehetséges megoldás az ellenkező irányba elhajló felső henger alkalmazása. Még abban az esetben, ha a felső és a középső henger is elhajlik, a fordítottan hajló felső henger ezt figyelembe tudja venni a párhuzamos hengerrés fenntartása érdekében. A fordított elhajlású henger kialakításban egy középső héj és a hűtőfelületet támasztó központi tengely miatt a henger ellenkező irányban hajlik el. Ha ismert a szemben lévő (középső) henger kialakítása, akkor a héjak vastagságának változtatásával annak elhajlása pontosan illeszthető a szemben lévő hengerhez. A hűtés tervezhető úgy, hogy „egyik végén be, a másikon ki”, vagy ugyanazon az oldalon be és ki. A középső tengely masszívabbá tételével a tengely szinte minden elhajlása megszüntethető.

## Hőformázó berendezések karbantartása

Az extrudált lemezek egyik legismertebb további feldolgozási módja a hőformázás. A hőformázó berendezés teljesítménye gondos karbantartással, rendszeres beállításokkal, valamint célzott hibaelhárítással a teljes élettartama alatt magas szinten biztosítható. Ezen túlmenően, a kezelők által végzett beállítások fontosabbá váltak azáltal, hogy a koronavírus-járvány terjedésével bevezetett utazási és egyéb korlátozások megnehezítik a gyártói karbantartó csapatok számára az üzemekben felszerelt berendezésekhez való személyes hozzáférést. Jó hír azonban, hogy egy lehetséges problémákat és azok megoldásait tartalmazó ellenőrzőlista hosszú távon segíthet a kezelőknek a berendezések karbantartásában és napi szintű zökkenőmentes működtetésében.

A teljesítménybeli problémák megelőzése érdekében a hőformázó berendezések legfontosabb hibaelhárítási és ellenőrző lépései az alábbiak.

- A kezelőknek rendszeresen ellenőrizniük kell a vezetősín és a szerszám beállítását, és szükség esetén kisebb módosításokat kell végezni. A gyártás indításkor a sínek párhuzamosak legyenek a szerszámmal, és 9,3–13,0 mm közötti távolságnak kell lenni oldallanként a sín és a szerszám között. Ha a sínek túl közel vannak a szerszámhoz, akkor mindkettő károsodhat. Ezek a problémák gyakoriak, ezért rendszeresen ellenőrizni kell.
- A láncsín központosítását ellenőrizni kell. Ez központosító rudakkal vagy nyomólap kulcsokkal, valamint a gépen áthaladó, középvonalat jelölő zsinór használatával érhető el. Az összes beállítócsavar és a középvonal között azonos távolságnak kell lennie.
- A lánc nem egyenletes kopása és megnyúlása problémát jelenthet a lemezek igazításában és követésében. A kopás és a megnyúlás az idő múlásával természetes folyamat, de tovább romolhat, ha a lemez lehúzó vagy megolvadási egyenetlen. A lánc feszességének mindkét láncnál egyenlőnek kell lenni. Ennek ellenőrzéséhez először meg kell mérni bizonyos számú láncszem (pl. 60) hosszát minden láncban ugyanazon a helyen. Ha van eltérés, akár csekély is, akkor valószínű, hogy megnyúlt. Ezután el kell távolítani mindkét láncot a sínekről, a padlóra kell fektetni és láncfeszítő szerszámmal egyformán meghúzni azokat. Ha ezután is eltérés van a láncok hosszában vagy a láncszemek nem illeszkednek, ki kell cserélni mindkettőt. Ha a lánc nem kellő feszességű, akkor hullámosodás és beállítási problémák lehetnek, ha pedig túl feszes, akkor a láncok jelentős kopása léphet fel. Mind a mechanikus, mind a pneumatikus feszítőket megfelelően ellenőrizni kell.

Ha csak az egyik lánc szorul cserére, akkor is mindkettőt egyszerre kell kicserélni az egyenletes feszesség fenntartása érdekében.

- A szerszám széle és a lánc közötti távolság legfeljebb 13 mm legyen oldalanként. Ellenőrizni kell a hézagot a láncsín láncállító csavarfeje és a formázó szerszám oldala között. Egyes vastagabb anyagok nagyobb tűréseket is elviselnek, de a különösen nagy zsugorodású anyagok vagy sok üreg esetén a szűk rés elengedhetetlen.
- A hűtőcsövek magasságának beállítása különösen fontos, ha rendszeresen cserélik az anyagokat. A szokásos gyakorlat szerint a hűtőcsöveket az anyagvastagság plusz 0,5–0,75 mm-re kell beállítani. Ha az anyag vastagsága 0,75 mm-nél kisebb, akkor ez a hézag beállítási problémákat okoz. Ebben az esetben dupla anyagvastagsággal kell számolni. Ha túl magas a hűtőcső, akkor hullámosodás léphet fel a lemezben, ha pedig túl alacsonyra van állítva, akkor ellenállást okoz és por keletkezik.
- A letolólapnak a helyén kell tartania a lemezt, miközben a lemez elválik a szerszámüregektől. Ha a lemez felfelé hajlik és megnehezíti a termék eltávolítását a formából, akkor előfordulhat, hogy állítani kell.
- A kitoló asztalt a sínek között és a szerszám után a lemez vonalában kell elhelyezni. Úgy kell beállítani, hogy a lemez ne tudjon megereszkedni, amikor eltávolodik a formából. Gyakran előfordul az a probléma, különösen vékonyabb anyagoknál, hogy amikor az asztalt leengedik, akkor a lemez rátapad.
- A lemez orientációjának ellenőrzéséhez egy négyzet alakú lemezdarabot kell behelyezni 200 °C-os étolajba vagy kemencébe. Ezután meg kell mérni a hideg és a felmelegített lemez meghatározott irányú méretei közötti különbséget. A 10%-nál nagyobb orientációs eltérés problémákat okozhat.
- A szerszámüregek nem megfelelő hűtése költséges problémákhoz vezethet, oka lehet a hűtőcsatornák eltömődése, a túl gyors gyártási sebesség vagy az elégtelen kapacitású hőcserélő/hűtő használata. A hűtési problémák megállapításának egyik módja a lemez hőmérsékletének infravörös ellenőrzése. A lemez eleje, közepe és vége közötti hőmérséklet különbség nem haladhatja meg az 5 °C-ot.

## Műanyag lemezek újabb alkalmazásai

A koronavírus-járvány előretörésével a műanyag-feldolgozásban is megjelentek mikrobaölő tulajdonságokkal rendelkező termékek. A **Plaskolite Amgard SR** ezüstionos technológiával készült, karcálló antimikrobiális lemezeket biztonsági válaszfalakhoz lehet használni, mert megvédik a felületet a mikroorganizmusok növekedésétől. A **Rohm** antimikrobiális bevonatú **Plexiglas XT Antimicrobial** akril lemeze mindkét oldalán speciálisan felületkezelt, karc- és vegyszerálló. A bevonat olyan készítményt tartalmaz, amely szabályozza a mikrobák növekedését, viszont ez nincs hatással a lemez fizikai tulajdonságaira. Nagy az átlátszósága, minimális a vastagságtűrése és könnyen feldolgozható. A lap 3050×2050 mm méretű, vastagsága 3, 5 és 8 mm. Igény szerint színeztető, más vastagságokban és egyoldali bevonattal is előállítható. Jól alkalmazható olyan magas higiéniai követelményeket támasztó felületeken, amelyek fokozott tisztítást igényelnek, mint például védőburkolatok és válaszfalak, vagy erős igénybevételnek kitett területeken, például értékesítési pontokon.

A műszaki műanyagokból, például polikarbonátból és akrilból készült lemezek építőipari alkalmazásának egyik különleges példája a Freiburgi Egyetem botanikus kertjében található LivMats pavilon, amely a fenntarthatóságot a digitális technológiákkal ötvözi. Tartószerkezete kizárólag robottal tekercselt lencséből készült. A könnyű, de stabil konstrukciót súlya 1,5 tonna. Az **Exolon** által gyártott polikarbonát héj védi a lencsákat a környezeti hatásoktól, például az

UV sugárzástól és az esőtől vagy hótól származó nedvességtől. 220 m<sup>2</sup> *Exolon UV* polikarbonát tömör lemez – 10 mm vastagságban – alkotja az időjárás elleni védőburkolatot. Az anyag könnyen hőformázható a természetes szálak íves vonalaira.

A Plaskolite másik terméke egy lángálló, ütésálló, átlátszó polikarbonát lemez beltéri alkalmazásokhoz. A *Tuffak CA* lemez megfelel a Nemzetközi Építési Szabályzat (IBC) „A” osztályú gyúlékonysági kritériumainak. Ideális dekorációs panelekhez, fal- és mennyezetburkolatokhoz, műalkotások és kijelzők védőburkolatához. A lapra öt év törés elleni garanciát adnak.

A **PolyTechnika** cég egy 50 m<sup>3</sup>-es acéltartályt bélelt ki saválló, 3 mm vastag ECTFE (etilén-klór-trifluor-etilén) lemezekkel. Az **Agru** által gyártott lemezeket a tartály belsejébe rögzítették és szorosan ráhegesztették. A kiváló vegyszer- és hőmérsékletállósága miatt az ECTFE-t szívesen használják a vegyiparban. Az ECTFE-vel bélelt tartály sima belső falainak köszönhetően könnyen tisztítható. A tartályban tárolt erős savak hőmérséklete a 100 °C-ot is elérhetik. Mivel a fémek ilyen anyagokkal érintkezve oxidálódnak, a tartályt savállóvá kell tenni. A hagyományos gumibéléssel ellentétben, az ECTFE 1–14 pH-tartományban használható, ellenáll az extrém körülményeknek is: 98%-os kénsav, 70%-os hidrogén-fluorid, 50%-os nátrium-hidroxid és 36%-os sósav is hosszú időn keresztül biztonságosan tárolható 120 °C-ig.

Az **Atolli** céget egy betongyártó bírta meg azzal, hogy egy hengeres tartályt és egy tölcserűt repedésálló PE 100-RC-vel béleljen ki. A tartály külső átmérője 800 mm, magassága 2000 mm, a piramis alakú tölcserű oldalhosszúsága nagyjából 2800 mm volt. Mindkét elemet az Agru által gyártott, 10 mm vastag PE 100-RC fekete lemezekkel bélelték ki és a helyükre hegesztették. A tartályt és a tölcserűt nagy mennyiségű beton mozgatására használják. A fém szerkezeteken megülő betonmaradványok miatt – amelyek befolyásolták a beton minőségét – bélelték a fémeket a PE lemezzel. A műanyag sima felülete jó csúszást biztosít, ami minimálisra csökkenti a feltapadt beton mennyiségét, így megkönnyíti az utólagos tisztítást.

A **Coexpan** joghurtos pohara akár 100%-ban is tartalmazhat újrahasznosított polisztirolt. A Styrenics Circular Solutions elnevezésű projekt célja a lakossági eredetű polisztirol hulladékok mechanikus újrahasznosításának validálása, és a PET recikláló sorokhoz hasonló eljárások alkalmazása, beleértve a válogatást, a mosást, a pellet szortírozást, a szupertisztítást és az ömledékszűrést. Kétféle FFS (form-fill-seal – formáz-tölt-zár) lemezt állítottak elő kísérleti extrudersoron: az ABA szerkezetű lemez középső rétege 50%-ban újrahasznosított polisztirolt tartalmaz a szűz polisztirol külső rétegek között, míg az egyrétegű lemez 100%-ban lakossági eredetű újrahasznosított polisztirol hulladékból készült. A lemezeket FFS joghurt csomagoló sorokon tesztelték minőség, optika, mechanikai és funkcionális tulajdonságok alapján. Az eredmények az újrahasznosított anyag magas tisztasági szintjét (kb. 99,9%) és kiváló feldolgozhatóságát mutatták ki mind az extrudálás, mind a hőformázás során.

Összeállította: dr. Lehoczki László

Frankland, J.: Extrusion: A Roll Is a Roll Is a Roll? – *Plastics Technology*, 2011. 2.,

<https://www.ptonline.com/articles/a-roll-is-a-roll-is-a-roll>

Frankland, J.: How to Select the Right Cooling Stack for Sheet – *Plastics Technology*, 2021. 5.,

<https://www.ptonline.com/articles/how-to-select-the-right-cooling-stack-for-sheet>

Frankland, J.: Understanding Roll Deflection in Sheet Processing – *Plastics Technology*, 2021. 6.,

<https://www.ptonline.com/articles/understanding-roll-deflection-in-sheet-processing>

Strobridge, A.: Follow These Tips to Maintain the Life of Your Thermoformer – *Plastics Technology*, 2021. 3.

<https://www.ptonline.com/articles/follow-these-tips-to-maintain-the-life-of-your-thermoformer>

Engineering a change: advances in plastic sheet – *Film & Sheet Extrusion*, 2021. 11. sz. p. 21–24.