

MŰANYAGOK FELDOLGOZÁSA, ADDITÍV TECHNOLÓGIÁK

Újdonságok az extrudálásban

A legújabb extruderek gyorsabbak, nagyobb arányban képesek jó minőségben használni a reciklált polimereket, és gyakran rendelkeznek többrétegű termékek gyártására alkalmas kialakítással. Egyre nagyobb jelentőségű a telekommunikációs „okos” eszközök segítségével nyújtott távszolgáltatás. Az extruderben a műanyagömladék áramlását szimuláló programok fejlesztése révén lehetővé vált a szerszámok gyors, hatékony optimalizálása.

Tárgyszavak: műanyag-feldolgozás; extrudálás; PE; PP; PET; PS.

Fólia- és lemezgyártás

A műanyag fóliákat és lemezeket gyártó új extruderek termelési gyorsasága folyamatosan növekszik. A jelentős gépgyártók valamennyien igyekeznek versenyben maradni a jó minőségű termékeket gazdaságosan előállító berendezések piacán.

Az amerikai Processing Technologies International (PTI) kifejlesztett egy új, nagy sebességű lemezgyártó extrudert, a *Super-G HighSpeed SGHS3500-36D* típust. Az extruder többféle műanyagot képes eredményesen feldolgozni, (HIPS, a PE és PET). A gyártó adatai szerint segítségével nagyobb arányban lehet a gyártási hulladékot visszakeverni, továbbá kevesebb karbantartást és nagyobb gyártási sebességet kínál a korábbi, *SGHS 3000* típusukhoz képest.

Az új berendezés max. 1000 rpm csiga-fordulatszámmal dolgozik, amit speciális kialakítása tesz lehetővé. A korábbi típushoz (3”) képest a csiga megnövelt átmérőjű (3,5” ~90 mm) L/D viszonya 36:1, és egy 600 lóerős motor forgatja. A mintegy 40%-kal megnövelt betáplálási terület következtében a termelési hulladék részaránya 70%-kal lehet nagyobb, mint a korábbi változatnál. A nagyobb teljesítménynek köszönhetően a korábbihoz képest 38%-kal nőtt a kihozatal: 1600 kg/h (PP esetében). A PET-nél a növekmény 33%, és így eléri az 1800 kg/h értéket. Számos műszaki megoldást viszont átvettek a korábbi modelltől, így az extruder a megszokott minőséget és gyártási hatékonyságot biztosítja. A PTI cég az extruder mellett követő berendezéseket gyárt, illetve forgalmaz. Az adatok feldolgozását és továbbítását korszerű kontroll egység biztosítja.

A Battenfeld Cincinnati cég egy 3000 kg/ó kapacitású lemez extrudert (*I-75 T6.1*) állított üzembe egy üvegház paneleket gyártó dán cégnél (Staal og Plast). Az így gyártott háromrétegű, 3 mm vastag polisztirol lemezeket hőformázással alakítják tovább az üvegházak vízelátását szabályozó termékekhez. Az új extrudersorral a dán cég négyszeresére tudta növelni kapacitását és betörhetett az amerikai piacra is, ahol a drámaian megnövekedett igény a cannabis termesztésére.

Az óránként 3 tonna kihozatalú extruderben a polisztirol tartózkodási ideje elég hosszú ahhoz, hogy az ömledék teljes mértékben homogenizálódjon, de ahhoz rövid, hogy mechanikai, vagy termikus degradáció lépjen fel. A három réteg közül a külső két réteg anyagát két koextruder (I-75 T2.1) szolgáltatja, amelyek kapacitása eléri az 500 kg/h értéket. E külső rétegek, amelyek érintkeznek a növénytartó edényekkel, élelmiszeripari minőségű alapanyagból készülnek, és ellenállnak az UV sugárzásnak és a vegyszereknek.

A Coperion cég kifejlesztett egy zárt hurok elven működő eljárást a hajlékony többrétegű fóliák gyártásához. A többrétegű fóliák reciklálása gyakran komoly problémákat okozó, nagyon komplikált folyamat, éppen a különböző polimerek együttes jelenléte következtében. A Coperion képviselője szerint azonban sikerült olyan megoldást találni, amellyel az összes gyártási hulladékuk visszadolgozható.

Eljárásuk során a gyártási hulladék fóliát felaprítják, majd egy ZSK extruderbe táplálják, pneumatikus módszerrel. A párhuzamosan forgó ZSK Mc18 ikercsigás extruderben végbemeget a diszperzió és a gáztalanítás, és az anyagok jól elkeverednek, még gyors kihozatal mellett is. A homogenizálást követően a reciklált anyagot visszavezetik a többrétegű fólia gyártási folyamatába, ahol a viszonylag nagy mennyiségű reciklátum nem okoz minőségromlást. Mindennek következtében elérhető, hogy a többrétegű fóliagyártás is fenntartható és hatékony legyen.

Az amerikai székhelyű Airlite Plastics cég habosított termékeket gyárt egy részben testreszabott Davis-Standard lemez extrudersoron. Az új sorral viszonylag vékony termékek, de különböző lemezzvastagságok és textúrák készíthetők, köztük az *Orthoform* lemezek, amelyeket az ortopédiában és a protéziseknél alkalmaznak. A sor gyártója a Davis-Standard cég nagy reprodukálhatóságra, szigorú vastagság-kontrollra és termék konzisztenciára törekedett, és minimalizálták a gyártási hulladék arányát is, ami döntő az Airlite cég folyamatainál.

Az Airlit cég 4–6 mm vastag lemezeket gyárt különböző textúrákkal. A sor egyik fő elemei közé tartozik a *Thermatic III* extruder, a *DS-eVue* szabályozó egység, a szűrő-cserélő csomag, a szerszám, az ömledékszivattyú és az *XP Express PS* típusú tekerceselő rendszer, amelyek biztosítják az egyenletes, megbízható minőséget.

A Colines cég kifejlesztette a saját *Polycast Evo* gyártósorát, amellyel öntött polipropilén (CPP) és polietilén (CPE) fóliákat lehet gyártani. A gyártósor kompakt kivitelű és elérhető olyan konfigurációban, amely legegyszerűbb változatában négy extruderrel gyárt ötrétegű fóliákat. A *Polycast Evo* sorok opcionálisan felszerelhetők a Colines szabadalmaztatott *MDO IRI* (egyirányú), vagy az *MDO IR2* (kétirányú) berendezésével, ami lehetővé teszi az egyirányú és a kétirányú fólia orientációt a PP (MOPP) és polietilén (MOPE) fóliáknál.

Az Amut cég kifejlesztett és leszállított egy koextrudált lemezzgyártó extrudersort a bangladesi Walton Hi-Tech Industries vállalat számára. A Walton cég termékeit az elektronikai ipar, a fehér termékek gyártói, az autóipar és a telekommunikációs vállalatok használják. Az új sort 0,8-5 mm vastagságú ABS és PS lemezek gyártására szánják, elsősorban hűtőszekrények ajtók és bélések készítéséhez.

A sor fő extrudere egy *EA 160 40 L/D* berendezés, amelynek kapacitása eléri az 1000 kg/h értéket HIPS, és 800 kg/h értéket ABS esetén, amelyet a beépített gáztalanító egység következtében nem kell előzetesen kiszárítani. A koextruder egy *EA 60 40 L/D* berendezés, amely szintén fel van szerelve gáztalanítóval, és amelyet a fényes külső réteg gyártására használnak 200 kg/h kapacitással. A lemezzsimító kalander nominális szélessége 2400 mm, a hozzá

tartozó hűtőhengerek termodinamikailag optimalizáltak a henger két oldala közötti maximálisan ± 1 °C hőmérséklet-különbség biztosítása érdekében. A hűtő konvejsor 20 m hosszú, ami lehetővé teszi, hogy a lemezek ne hordozzanak felületükön befagyott termikus feszültségeket.

Az olasz Bandera cég nyílt napokat tartott, amelyen több, mint 500 potenciális vevőnek, működés közben mutatta be új *HDFlex* nevű ötrétegű koextrúziós technológiáját. A gyártósort, amely nagy igénybevételnek kitett zsákokat gyárt, már korábban bemutatták egy vevőnek, aki hamarosan üzembe is helyezi azt saját telephelyén.

Távszolgáltatás okoseszközökkel

A szintén olasz Macchi távszolgáltatást kínál *Macchi VR Service* rendszerén át, ami közvetlen összeköttetést nyújt a Macchival egy erre dedikált internet vonalon. A felhasználók valós időben látják az operátor „szemein át” a Macchi „okos” szemüvegeinek segítségével a folyamatokat. Ez lehetővé teszi a Macchi műszaki szakemberei számára, hogy kiemeljenek műszaki rajzokat, vagy tényleges képeket nyilakkal, vagy más utasításokat adjanak. Mind kapcsolási rajzokat, mind pedig műszaki rajzokat képes továbbítani a rendszer.

A távközlés fejlődése révén a német Reifenhäuser cég képes volt egy törökországi vevőének segíteni abban, hogy az üzembe állítson egy fűjt fólia sort, szintén „okos” szemüvegek használata révén. A gép összeszerelését és beindítását végző csapat az okos szemüvegek segítségével használhatta a Reifenhäuser-nél lévő *Visual Assistance Cockpit* szolgáltatást.

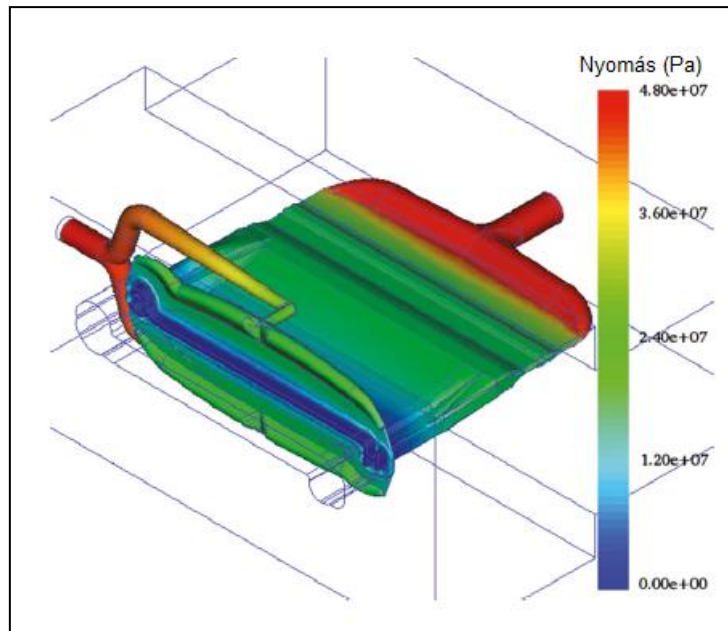
Számítógépes szimulációk

Noha megszoktuk, hogy a műanyagömladék áramlásának modellezése, szimulációja a fröccsöntéshez kapcsolódik, az utóbbi években több fejlesztés is történt a műanyagok extrúziós folyamatainak szimulálására is.

Az amerikai Plastics Flow cég hamarosan piacra dobja a műanyag profilokra és lemezekre vonatkozó *PolyXTrue* szimulációs programjának legújabb változatát, amely tovább javítja a szerszámból kilépő anyag torzulásainak elemzését. Lehetővé teszi akár 20 eltérő kaliber/méretbeállító hatásának szimulálását annak a profilnak az alakjára, amely kilép az extruderszerszámból.

Ha az extrúziós szerszámban az áramlási csatornát nem jól alakították ki, a termék alakja szignifikánsan megváltozhat a szerszámból kilépést követően. Ha a szerszámból kilépő anyag egyes részei eltérő sebességűek, a profil vastagsága és hossza a gyorsabb régiókban nagyobb, a lassúakban pedig kisebb lesz, ami jelentős eltorzulásokhoz vezet. Ezért a fő cél a szerszámból kilépő ömladék sebességének homogenizálása.

A pontos méretek beállítására a követő berendezések kategóriájába tartozó kalibráló, méretbeállító berendezések igyekeznek gondoskodni. Ezeknél általános megoldás, hogy a szerszámból kilépő ömladék külső felületét a kaliber hidegebb falához szívják vákuummal. Azonban az extrudátum belső felülete nem kerül kapcsolatba a kaliberrel, ami további eltorzulásokhoz vezethet. A kaliberek/alakformálók alakja gyakran eltér a végtermék profil kívánt alakjától, a szerszámból kilépő ömladék alakja ezért, lépésről lépésre, jelentősen módosulhat, ami leegyszerűsíti a szerszám kialakítását.



1. ábra A *PolyXTrue* szimulációs program segítségével modellezni lehet a szerszámon belüli nyomások alakulását egy koextrúziós terméknél

A szerszámon belüli áramlást jelentősen befolyásolják a szerszám különböző pontjain kialakuló nyomásértékek. Ezek modellezését egy koextrudált terméken (1. ábra) mutatjuk be, ahol a belső réteg reciklált PVC, a külső, vékony réteg pedig originál PVC, amelynek ömledéke egy oldalsó bemeneten lép be a szerszámba. A szerszám alakját a *PolyXTrue* programmal optimalizálták. A termék egy lapos lemez, amely a gyártásnál kilenc méretbeállító eszközön áthaladva éri el végső méreteit. Kiszámították az áramlás sebességét is a szerszám minden egyes keresztmetszetén, és azt kapták, hogy az áramlás sebessége nagyon homogén a szerszámból kilépésnél, ami a kis deformációs hajlam előfeltétele.

A lengyel Warsaw University of Technology kutatói faporról erősen töltött műanyagok (WPC), ezen belül pedig különösen a polipropilén mátrixú rendszerek szimulációját vizsgálták. A kompozitok reológiai jellemzőit a nyomás és az anyag áramlási sebességének mérésével ellenőrizték. Mivel a WPC rendszerek reológiája és feldolgozási körülményei még nem eléggé ismertek, a kutatók egy egycsigás extruderre készítettek szimulációs programot, amelyet kiterjesztettek arra, hogy a számításokat a hatvány-törvény alapján is elvégezhessék. A számított, és mért értékek jó korrelációt mutattak.

A kínai Nanchang University kutatói a műanyag mikrocsovek képződését szimulálták gáz-támogatású extrúzióánál. A mikrocsoveket tipikusan a gyógyászatban, az autóiparban és más iparágakban alkalmazzák. Nagyon kicsik és vékonyfalúak, ezért gyakran specializált gyártási eljárásokat igényelnek, ahol gondos szabályozásra van szükség.

Amikor kettősrétegű gáz-támogatású extrúziós technikát alkalmazunk a mikrocsovek előállítására, fontos a bemenő gáz nyomásának helyes beállítása és a kettős gázréteg kialakításának létrehozása. A kutatás során a Polyflow numerikus szimulációját alkalmazták. Az eredmények azt mutatták, hogy amikor a gáz bemeneti nyomása nagy volt, az

ömledékviszkózítás a belső és külső fal felületeken nagyon kicsi lett. Ez a nyírás hatására bekövetkező viszkózitáscsökkenéssel, a viszkózus disszipációval és az ömledék összenyomhatóságával magyarázható, ami azt jelenti, hogy az ömledék nem könnyen tapad a szerszám falához, ami lehetővé teszi a kettős gágréteg kialakulását.

Ahogy a bemeneti gáznyomás csökken, a fenti hatások is lecsökkennek. Azonban, a gáz és az ömledék folyamatosan kiszorítják egymást, és egy új egyensúlyi állapotot érnek el, miközben a gáz és az ömledék gyorsan és állandóan változik, ami azt jelenti, hogy az ömledék itt sem tapad a szerszám falához. A kísérleteknél a gáznyomást 5000 Pa-ról indították, majd 10 000 Pa-ig növelték, hogy csökkentsék az ömledék viszkózitását.

Német kutatók, A Stuttgarter Egyetem IKT intézetének vezetésével egy új folyási törvényt dolgoztak ki, hogy leírják a részben térhálós, vagy az erősen töltött polimer ömledékek komplex viselkedését. Ennek során figyelembe tudják venni a viszkózitási görbe pszeudoplasztikus folyási viselkedését az alacsony és a magas nyírási sebességeknél. A Carpow-szabály a Hatvány-törvény és a Carreau-szabály kombinációján alapul, használható mind az extrúzió, mind pedig a fröccsöntés szimulációjánál. Alkalmazhatóságát sikeresen próbálták ki számos műanyagnál, beleértve az elasztomereket és a WPC rendszereket is.

A német Sigma Engineering kiterjesztette modellezési szoftverjét az extrúzióra. Most első alkalommal a *Sigmatsoft Virtual Molding* szoftvert, amelyet eddig jellemzően a fröccsöntésre alkalmaztak, már használható az extrúziós szerszámok optimalizálására is. Ennek az a felismerés volt az alapja, hogy a műanyagömledék áramlása az extrúziós szerszámokban nagyon hasonló ahhoz, amely a hőre lágyuló műanyagok fröccsöntésénél használt forrócsatornában fellép.

Az extrúziós szerszámokban fellépő hőmérséklet-eloszlás és az áramlási csatorna geometriája nagyban befolyásolja az áramlási viselkedésre, hasonlóan a forrócsatornás fröccsöntéshez. A szimuláció segít felderíteni a forró pontokat, a hosszú tartózkodási idővel járó helyeket, vagy nagy nyomásvesztések helyeit, mielőtt az extrúziós szerszámot elkészítenék. Ez jelentősen lecsökkenti a szerszám utólagos módosítására fordított időt és költségeket, beleszámítva a drága próbagyártásokat is. Az optimalizált sebessé profil a szerszám belső felületén segíti a minimális deformációk fellépését a gyártott profilokban és más termékekben.

A múlt évi, az USA-ban, az Applied Marketing Information (AMI) által megrendezett „Profiles” konferencia résztvevői meggyőződhetnek arról, hogy az optimalizált szerszámalkalítás mennyire felgyorsíthatja a termelést. A Compuplast North America cég szerint a még mindig elterjedten használt, csekély hatékonyságú próbálkozás/módosítás ciklusok helyett a számítógépes szimuláció jelenti a megoldást. A cég véleménye szerint az alapvető problémát a keresztáramlások jelentik, vagyis a műanyagömledék olyan mozgása a szerszámokon belül, ami merőleges a fő áramlási irányra. Ennek feltárására a vállalat keresztáramlás minimalizáló programja (CFMM) jó eredménnyel és nagyon egyszerűen használható a szerszám tervezésénél.

Módszerük a Compuplast cég *Virtual Extrusion Laboratory* profilszerszám modulját használja. A viszkózitás ismeretében a nyomásesések kiszámíthatók, ami lehetővé teszi a polimereloszlás számítását az egyes áramlási utak ellenállására támaszkodva. Így feltárhatók a kiegyensúlyozatlan áramlás okai a szerszám különböző keresztmetszeteiben, és ezeknek a kiküszöbölésével jelentősen javul a teljesítmény és a termék minősége.

Az osztrák Polymer Competence Centre Leoben (PCCL) képviselője elmondta tapasztalatait a Németországban tartott Plastics Pipes in Infrastructure konferencia részvevőinek az elektromandzsettás (electrofusion) hegesztéssel készített polietilén cső csatlakozások élettartamát előrejelző programról. Az Agru és a Georg Fisher csőrendszerek vizsgálatánál egy törés-mechanikai élettartam előrejelzést használtak, amely a PE mandzsettás kötések ridegtörési viselkedésén alapul. A csőkötések tartalmazó rendszerben különböző belső nyomásokon és emelt hőmérsékleteken kvázi-rideg törési görbéket vettek fel, és vizsgálták a repedések megindulását és terjedését.

Az eredmények azt mutatták, hogy a lineáris elasztikus törési mechanizmus (LEFM) megközelítés egy megbízható előrejelzési módszer az elektromandzsettás PE csőkötések minimális élettartamának előrejelzésére a belső nyomásterhelési szituációkra és az alkalmazásorientált csőfektetési esetekre. A vizsgálatokból kiderült, hogy elég nagy hőmérsékleteken és nyomásokon az elektromandzsettás kötések kvázi-rideg repedéssel mentek tönkre. A még részletesebb vizsgálatok azonban azt is feltárták, hogy a repedés kiindulás egyidejűleg lépett fel a hideg hegesztési zónában és fűtőhuzalok fészében, a repedésterjedés egy későbbi szakaszában egyesülve.

Összeállította: Dr. Füzes László

The need for speed: the latest extruder developments = Film & Sheet Extrusion, okt. 2020. p. 25–30.
Reade L.: Go with the flow: latest in computer simulation = Pipe & Profil Extrusion, 2020. márc. p.13–18.