

Amit nem, vagy rosszul tudunk az extrudálásról. 2. rész

Az egycsigás extruderek csigájának tervezése nagyon komplex feladat, az optimális eredmény eléréséhez nem elegendő csak egy-két kulcsparamétert jól beállítani. Az extruderek üzemeltetésénél gyakori, a minőség romlásával járó hiba, hogy egy viszonylag nagy extruderen a csiga fordulatszámának csökkentésével akarnak kis keresztmetzetű profilokat gyártani. A nem megolvadó, ásványi és fém töltőanyagok egyenletes bekeverését az extruderen belüli áramlási viszonyok következtében nagyon nehéz egycsigás extruderekkel megoldani.

Tárgyszavak: műanyag-feldolgozás; extrúzió; adalékanyagok; PA; TPO; TPS; TPU; TPA.

Csigatervezés

Egy egycsigás extruder csigájának tervezésekor nem elegendő csupán egy-két paramétert figyelembe venni, mint amilyen például a csiga kompressziós aránya, hanem az optimális működéshez az összes tényező figyelembevételén alapuló egyensúlyra kell törekedni. *A csiga tervezésénél tulajdonképpen az optimális munkapont megtalálása a feladat.* Azonban ez minden egyes polimer, extruder és gyártástechnológia esetében máshol található, és számos paraméternek van hatása a csiga működésére.

A tervezés során az első körben az extruder alaptulajdonságait kell tekintetbe venni, mint amilyen a motor teljesítménye, a csiga sebessége, a henger belső átmérője, az L/D viszony stb. Ezután következnek a gyártástechnológia követelményei, mint a szükséges ömledék-hőmérséklet, kihozatali teljesítmény, a gáztalanítási igények, az ömledék homogenitása és a kihozatal stabilitása. Végül a polimer termikus, reológiai és szilárd részecske tulajdonságait kell figyelembe venni. E tényezők komplexitása következtében ritkán lehet két teljesen azonos csigakialakítás optimális a különböző gépek, anyagok vagy termékek esetében.

Egy optimális csiga tervezésekor száznál jóval több tényezőt kell figyelembe venni. Azonban ezek egy jelentős része automatikusan, rutinból történik. Fontos, hogy ne elégedjenek meg néhány, hagyományosan döntőnek tekintett paraméter beállításával. Így például régóta sokan gondolják, hogy a csiga legfontosabb tervezési jellemzője a *kompressziós arány (C/R)*. Jelenleg azonban már jóval hasznosabb az etető- és az adagolószakaszok menetmélységének arányát vizsgálni, ha a szilárd anyag továbbításának hatékonyságára kíváncsiak. Mindez számos, gyakorlati tapasztalaton alapuló ismeretre támaszkodik. Ha azt gyanítják (vagy tudják), hogy a szilárd műanyagrészecskék (granulátumszemcsék) térfogatsúlyuk, sűrűlási jellemzőik, tömöríthetőségük vagy

szilárd áramlási jellemzőik következtében nem továbbítódnak hatékonyan, általában meg kell növelni az etetőszakasz menetmélységét, hogy több polimert juttassanak a csiga többi szakaszába. Mindez a szilárd anyagot továbbító szakasz gyengébb hatékonyságának kompenzálását szolgálja.

A kompresszió arány, vagyis a kompressziós szakasz aránytényezője, azaz szöge, már kritikusabb paraméter. Ez a szög határozza meg, hogy mennyire agresszív az energiaközlés a szilárd részecskékkel. Túl nagy szög dugó kialakulását okozza, míg a túl kicsi a szilárdanyagágy felszakadását, gyenge ömledékminőséget és/vagy dugóképződést okoz a csiga további szakaszain. Természetesen a különböző polimerek olvadási sebessége is eltérő.

A tervezők sokszor azon vitatkoznak, hogy a C/R értéke 2:1 vagy 3:1 stb. értékű legyen, mintha ez önmagában elegendő lenne az ideális működéshez. A csiga forgásából származó nyírási energiát ugyanis a polimer elnyeli, és így minél kisebb a kihozatali teljesítmény (kg/h), annál több energia marad a csiga menetei között a polimerömledékben, illetve annál magasabb lesz a kilépő ömledék hőmérséklete, és megfordítva. A csiga forgásából származó energiabevitel nagyjából azonos akkor is, ha a menetmélység eltérő. Ezért ha egy 3,5 collos (88,9 mm) csiga etetőszakaszának menetmélysége 0,5 coll (12,7 mm), és az adagolószakaszé 0,2 coll (5,1 mm), a C/R arány 2,5 lesz. Ugyanezt a kompressziós arányt kapják a 0,375 coll (9,5 mm) és 0,15 coll (3,8 mm) menetmélységek esetében is, de a két csiga jelentősen eltérően fog viselkedni, miután a második esetben a kihozatali teljesítmény csak mintegy 75%-a lesz az elsőének, míg a bevitt energia nagyjából változatlan marad. Vagyis a második esetben a kihozatali teljesítmény kisebb, az ömledék hőmérséklete pedig szignifikánsan nagyobb lesz azonos kompressziós arány mellett.

Az egyre gyakrabban használt barriercsigák alkalmazásánál, amelyek teljesen elkülönítik az ömlesztő és továbbító funkciókat, a kompressziós arány még kisebb jelentőséggel bír. Számos barriercsigánál az etető- és az adagolószakasz aránya 10:1, mégis, azonos kihozatali teljesítmény mellett, alacsonyabb ömledék-hőmérsékletet eredményeznek, mint a 3:1 C/R arányú hagyományos csigák.

Régebben a C/R arányt az ömledék hőmérsékletének beállítására használták, vagyis a magasabb hőmérsékleten feldolgozandó műanyagok esetében nagyobb C/R értékeket alkalmaztak. Ez a leegyszerűsítő megközelítés azonban nem veszi figyelembe, hogy a különböző polimerek viszkozitása eltérően változik a nyírási sebesség függvényében, emellett eltérő a fajhőjük, olvadási sebességük, és nem vizsgálja az L/D viszony hatását és más tényezőket sem.

Minden polimernél és terméknel más és más az az ideális állapot amelynél az ömledék elhagyja a szerszámot. A csigákat általában egy adott sebességre méretezik, amely többnyire a legnagyobb elvárt kihozatali teljesítményen és a várt maximális fejtömésen alapul. Noha a csigák elég széles forgási sebességtartományban képesek működni, ez nem tetszőleges, és a túl alacsony vagy túl magas fordulatszámnál hatékonyságuk jelentősen leromlik. Jó példa erre a nagy sebességű bevonatok extrúziója, ahol a kilépő ömledék hőmérsékletét nagyon szűk tartományban (~2,5 °C) kell tartani,

hogyan az anyag jól tapadjon a bevonandó felületre, de ugyanakkor a kihozatali teljesítmény nem maradhat el a kívánt gyártási sebesség által megkövetelt értéktől.

A fentiek alapján megállapítható, hogy minden extruder, alapanyag és termék eltérő csigaképzést igényel, a hatékony általános célú extrudercsiga az elérhetetlen vágyálmok kategóriájába tartozik.

Fordulatszám-csökkentés

Egyes esetekben, mint pl. a gyógyászati alkalmazásoknál nagyon kis keresztmetszetű extrudált profilokra van szükség. A műanyag-feldolgozók ezt gyakran úgy próbálják megoldani, hogy viszonylag nagy extrudereket kis fordulatszámon működtetnek, vagyis jóval nagyobb kihozatali teljesítményre tervezett csigákkal akarnak kis teljesítménnyel dolgozni. Az ilyen megoldások azonban nagyon problematikusak, mivel a csigahengerben a polimer megolvasztásához szükséges hőt elsősorban a nyírési energia (a csigához és a hengerhez tapadó polimer nyújtásának következtében disszipálódó energia) biztosítja.

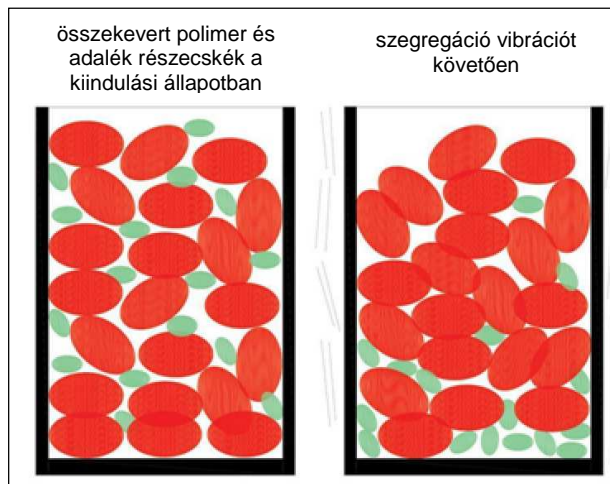
Egy adott extruderben, egy adott alapanyagnál, minél kisebb a csiga fordulatszáma, arányosan annál kisebb az így bevitt energia. Ha a megömlésért felelős szakaszon a csiga menetmélységét lecsökkentik, javul a helyzet, mert ugyanannyi energia kevesebb műanyag felmelegítésére fordítódik, emellett javul a henger fűtött falától hővezetéssel bevitt energia aránya is, hiszen a rossz hővezetésű műanyagréteg vékonyabb. Azonban ennek a menetmélység-csökkentésnek is megvannak a korlátai. Természetesen az extruder hosszának változtatásával növelhetik az L/D viszonyt, és így módon az anyagnak hosszabb idő áll rendelkezésére a felmelegedéshez, és/vagy előmelegíthetik a betáplált granulátumot, de az ilyen módszerek is csak viszonylag kis hatékonyságúak. Különösen problémás a részlegesen kristályos polimerek feldolgozása, mivel a kristallitok megolvadásához szükséges halmazállapot-változási hőenergiát csak eléggé nagy hőmérséklet-különbséggel lehet a gyakorlati körülmények között a kristályos részecskébe bejuttatni.

Így azután, ha egy viszonylag nagy extruderen a csiga fordulatszámának csökkentésével próbálnak kis keresztmetszetű profilokat gyártani, az rossz ömledékminőséget, ingadozó kihozatali teljesítményt és nagy termék hőmérséklet-ingadozásokat eredményez. Minél nagyobb az extruder, annál nagyobbak ezek a problémák.

Keverőhatás

Az egycsigás extrudereknél jelentkező másik probléma az adalékanyagok nem megfelelő eloszlása a polimermátrixban. Ezt a jelenséget elsősorban a feldolgozási körülmények között meg nem olvadó adalékok, pl. az ásványi és fém töltő- (és erősítő-) anyagok okozzák. Ezeknél gyakran előfordul, hogy a termékben az adalékanyag távolról sincs egyenletesen eloszlva. Fontos azonban emlékezni arra az egyszerű szabályra, hogy *minél egyenletesebben van eloszlva az adalék az extruderbe történő belépésnél, annál egyenletesebb lesz az eloszlása a végtermékben.*

Az egycsigás extruderek e problémáját az okozza, hogy a keverés elsősorban az ömledékképződés során, illetve az ezt követő szakaszokon fellépő nyíróerők hatására jön létre. Ebben azonban a megolvadásra (lágyulásra) képtelen ásványi anyagok és fémadalékok nem vesznek részt, alakjuk és méreteik megváltozása nélkül haladnak át az extruderen. Az egycsigás extruderekben jelentős tengelyirányú újraelosztó keverést kevésbé lehet elérni, mivel ezekben az alapvetően lamináris áramlás hatására az ömledék dugószerűen halad, azaz az először be, először ki (FIFO) elv érvényesül. Szinte teljesen hiányzik a lamináris interfészek reorientációjának mechanizmusa, ami a makrokeverési képességet erősen lecsökkenti. Ezen csak az változtat, ha nagy fejnymást, azaz nyomás alatti anyagmozgatást alkalmaznak, de ez csökkenti a kihozatali teljesítményt és emeli az ömledék hőmérsékletét.



1. ábra A műanyag és az adalékszemcsék keverékének szétválása mechanikai behatások, pl. vibráció esetén

Nagyon fontos észben tartani, hogy az egyszer már jól összekevert anyagok különböző mechanikai hatások következtében könnyen szétfajtázódhatnak. Vagyis az extruder szilárd anyagot továbbító szakasza jóval az etető tölcser előtt kezdődik, míg a végén, a csiga meleteiben a polimer és az adalékok összetömörülve, mozdulásra már képtelenül helyezkednek el. Ha a keverék ezen állapot elérése előtt képes mozgásra, vagyis forog, csúszik, rezeg vagy áramlik, megnő a szétfajtázódás valószínűsége. Különösen veszélyes e szempontból a különböző anyagtovábbító rendszerekben (csövekben) végzett mozgítás. A többnyire pneumatikusan (túlnyomással vagy vákuummal) továbbított részecskék

ugyanis eltérő módon mozognak, ha méreteik, alakjuk, súrlódási jellemzőik, felületi érdességük vagy sűrűségük eltérő.

Ezért a legjobb megoldás, ha az adalékok bekeverését az etetőtölcserhez minél közelebb végzik. De még a viszonylag statikus állapotnak számító etetőtölcserben is bekövetkezhet szétválás, különösen, ha az etetőtölcser kialakítása nem megfelelő. A kis adalékszemcsék hajlamosak a csatornaképzésre, a felületek dőlésszögétől és a részecskék nyugalmi súrlódási szögétől függően. A nagyon finom porok akár át is folyhatnak a granulátumszemcsék között. A nagy sűrűségű adalékok, mint pl. a fém töltőanyagok tömegük alapján is szétfajtázódhatnak (1. ábra). Általánosságban, minél inkább eltérnek a töltőanyagok fenti tulajdonságai a polimergranulátumétól, annál könnyebben bekövetkezik a szétfajtázódás.

Ugyanakkor a megolvadásra (meglágyulásra) hajlamos adalékokat az egycsigás extruderek nagyon hatékonyan képesek eloszlatni a polimermátrixban.

Műszaki műanyagok extrudálása

A műanyag termékekkel szembeni egyre fokozódó elvárások (pl. a jármű- és a csomagolóiparban) szükségessé teszik a műszaki műanyagok bevonását az extrudált termékek (fóliák, csövek, profilok) gyártásába, gyakran tömegműanyagokkal kombinálva. *Elsősorban a poliamidok és a különböző hőre lágyuló elasztomerek extrudálása a feladat.* A műszaki műanyagok extrudálása azonban mind a feldolgozókat, mind pedig az alapanyag- és gépgyártókat újabb kihívások elé állítja. Fontos fejlesztési irány e téren a gyártósor számos pontján elhelyezkedő mérőberendezések és érzékelők beépítése, amelyek alkalmazása lehetővé teszi a technológiai paraméterek gyors, megfelelő irányú változtatását és ezen keresztül az állandó, magas minőség biztosítását. Az e téren jelentkező újdonságokat a 2016-os duisburgi extrúziós konferencián (Duisburger Extrusionstagung) mutatták be.

Az extrúziós folyamatoknak az anyagtulajdonságok mélyebb ismeretén alapuló, számítógépes szimulálása is egyre nagyobb szerepet játszik a folyamatok optimalizálása terén. Ezek segítségével lehet a legkönnyebben megvalósítani a forma, az anyag és technológia harmóniáján alapuló, jó minőségű és versenyképes költség szintű, a költséges hibákat minél inkább elkerülő gyártást még az anyagtulajdonságok pl. a környezet nedvességtartalma, a reciklált anyag aránya és minősége miatti ingadozása esetében is. A megfelelő szimulációs eszközök használatával egy új termék bevezetése is lényegesen lerövidíthető, és ezért költséghatékonyabbak lesznek a technológiai paraméterek és a szerszám beállítására irányuló korábbi próbálkozások.

A különböző adalékanyagok bekeverése jelentősen befolyásolhatja a poliamidok feldolgozás közbeni viselkedését és a termék tulajdonságait. A PA66 lánchosszabbító adalékok jelenlétében végzett extrúziójánál az ömledék viszkozitása jelentősen megnövelhető, mivel a láncvégi amino-, illetve karboxilcsoportok összekapcsolása révén hosszabb polimerláncok keletkeznek. Titán-dioxid nanorészecskék beadagolása viszont a viszkozitás csökkenését okozza. A környezet nedvességtartalma is jelentős hatást gyakorolhat a poliamidok extrúziójára. Más adalékokkal pl. az autógyártásnál használatos poliamidtümlők vegyszerállósága vagy hajlékonysága növelhető meg. Az időjárás-állóság szintén jelentősen befolyásolható.

Az extrúziós célokra felhasznált különböző hőre lágyuló elasztomerek (TPE) számos polimercsoportot foglalnak magukba, mint például a sztírol blokk-kopolimereket (TPS), a poliolefin elasztomereket (TPO), a hőre lágyuló poliuretánokat (TPU) és a poliéter-blokkamidokat (TPA). Ezek kémiai összetételüktől függően erősen változó tulajdonságaik révén eredményesen alkalmazhatók a gépjárműgyártásban, az építőiparban, a háztartási termékekben vagy a gyógyászati felhasználásokban. Így például a Covestro Deutschland AG a különböző TPU kompaundok alkalmazását mutatta be a fűjt fóliák, a spiráltümlő-extrúzió, a cső- és profilextrúzió és a kábelgyártás példái között. Ezek mindegyike azt szemléltette, hogyan lehet a TPU bevonattal az extrudált termékek tulajdonságait javítani, alkalmazhatóságuk körét bővíteni. Emellett új, ricinusolaj-alapú, tehát megújuló anyagbázison kifejlesztett TPU termékeiket is

bemutatták, amelyek hasonló tulajdonságokkal rendelkeznek, mint a hagyományos, petrolkémiai alapú TPU-k.

Általánosan megfigyelhető, hogy a vevői megrendelések határidői rövidülnek és a sorozatok nagysága csökken. Mindez újabb, rugalmasabb megoldások kidolgozására serkenti a gép- és szerszámgyártókat. Így például az iNoex GmbH a már meglévő csőgyártó sorok (csupán 6 méteres szakaszának) átalakításával eléri, hogy a különböző (ø32–1000 mm) csőátmérők gyártására nagyon gyorsan át tud állni.

A gyártás flexibilitásának és termelékenységének növelése mellett a műanyagfeldolgozók egyre nagyobb figyelmet fordítanak a minőségbiztosításra nem csak a feldolgozási folyamat közben, hanem az előtt is. A lehetséges hibák előzetes feltárására és megelőző intézkedések foganosítására jó eszköz az FMEA (meghibásodási ok és hatáselemzés) eljárás alkalmazása már a gyártási folyamat tervezésekor és később, annak működtetése alatt. A folyamat paramétereinek és a termék minőségének folyamatos ellenőrzése kellő mennyiségű adatot szolgáltatathat a hibák okainak feltárására és a szükséges intézkedések megtételéhez. A Mikro-Epsilon GmbH & Co. KG vagy a Sikora AG a már meglévő technológiai folyamatokhoz kínál komplex mérőállomások, amelyek segítségével maximális kizozatali teljesítménynél is lehet állandó vastagságú fóliatermékeket extrudálni. Így például átlátszó, akár ötrétegű fóliák gyártásakor is megvalósítható a folyamatos vastagságmérés vagy érintésmentes színváltozás mérése a PET vagy PVC fóliákon. A cső- és tömlőgyártás során különösen fontos, hogy az átmérő, az ovalitás és a falvastagság a határértékek között maradjon.

Összeállította: Dr. Füzes László

Frankland J.: Extrusion: Finding the sweet spot = Plastics Technology, 2016.május.
www.ptonline.com

Frankland J.: Extrusion: How slow can you go? = Plastics Technology, 2016. június.
www.ptonline.com

Frankland J.: Extrusion: Better mix in means better mix out = Plastics Technology, 2016. július.
www.ptonline.com

Neubert B.P.A, Burgfeld M.: Material- und Prozess-Know-how steigert Produktqualität = Kunststoffe, 106. k. 5. sz. 2016. p. 20–22.