

Nanokompozitok feldolgozása

A ma oly divatos nanokompozitok közül a nanoagyaggal készültek már a feldolgozó üzemekben vannak. Tulajdonságaik az optimális feldolgozási körülményektől függenek. A következőkben az extrudálás paraméterei és a tulajdonságok közötti összefüggés felderítésére végzett kísérleteket és egy az optimális feldolgozási körülmények meghatározására alkalmas laboratóriumi berendezést mutatunk be.

Tárgyszavak: műanyag-feldolgozás; extrudálás; nanokompozit; optimalizálás.

A nanokompozit mint fogalom először az 1950-es években jelent meg egy szabadalomban, majd 1976-ban Japánban szabadalmaztattak egy poliamid alapú nanokompozitot. Diadalútja azonban a Toyota cég erőfeszítései nyomán, az 1990-es évek első felében kezdődött.

A nagymolekulájú szerves anyagból és szervetlen anyagokból felépülő, nanokompozitnak tekinthető anyagok a természetben nem ritkák. Ilyen a csont, a fogakban található dentin, de ilyen a bambusz szára és a tengeri csigák kecses és nagyon kemény háza is. Jellemzőjük, hogy két alkotóanyag határfelületén optimális kölcsönhatások lépnek fel. A világon évmilliók óta megvalósuló nanotechnika teszi lehetővé, hogy a lótuszvirág szirmairól vagy (a tyúkkal szemben) a kacs tolláról leperogjen a víz.

Az elmúlt évtizedek miniatürizálási erőfeszítéseinek eredményei oda vezettek, hogy ma már túlléptek a mikrométeres méreteken, és a „high-tech” mindenütt nanotechnológiát szeretne alkalmazni. Ez a törekvés nem kerülte el a műanyagipart sem.

A nanokompozitok olyan műanyagok, amelyek speciális, nanoméretű töltőanyagokat tartalmaznak. Közülük a leggyakoribbak az ún. *nanoagyagok*. Ezek réteges szerkezetű alumínium-szilikátok, általában montmorillonitok, amelyek feldolgozáshoz használt változatainak részecskéi kb. 8 μm átmérőjűek, a részecskét alkotó rétegek vastagsága kb. 1 nm, hosszuk 100–200 nm. A polimerben eloszthatók már a polimerizáció vagy a polikondenzáció során, bekeverhetők a polimer oldatába vagy ömledékébe. A gyakorlatban általában az utóbbi módszert alkalmazzák. Becslések szerint *a nanokompozitok iránti igény 2003–2008 között évente 18%-kal növekszik.*

A nanokompozitok már nagyon kis – 5% körüli – mennyiség bekeverésekor felmutatják azokat a jó tulajdonságokat (húzószilárdság, hajlítószilárdság, modulus növekedése; terhelés alatti magasabb behajlási hőmérséklet; jobb ütésállóság; kisebb gázáteresztés és éghetőség; fokozott kopás- és karcállóság; megbízhatóbb alaktartóság), amelyeket szokásos töltőanyagokkal csak 30–50% bekeverésével lehet elérni. Ezek a jó tulajdonságok azonban csak akkor alakulnak ki, ha a feldolgozás körülményei opti-

málisak, és a feldolgozógépben lejátszódnak azok a folyamatok, amelyek a nanokompozit speciális szerkezetének kialakulásához szükségesek.

Nagy reményeket fűznek a nanotöltőanyagok egy másik fajtájához, az ún. *szén nanocsövek*hez, amelyek jelenleg még a fejlesztés, a kísérleti gyártás és a kísérleti feldolgozás szakaszában vannak. Gyakorlati alkalmazásukat remélhetőleg meg fogja gyorsítani a **Bayer MaterialScience** cégnek a közelmúltban megvalósított gyártási technológiája. A cég világszerte kínálja majd a szén nanocsöveket *Baytubes* márkánéven. A nanocsövek átmérője legfeljebb 50 nm (azaz 10 000-szer vékonyabbak egy hajszálnál), lehetnek egyrétegűek vagy többrétegűek (maximális rétegszám 15). A Bayer cég alkalmas katalizátor segítségével a megrendelő igényeinek megfelelő átmérővel, hosszban és falvastagságban tudja előállítani a terméket. A csövet a grafitra jellemző, hatszögben rendeződő szénatomok alkotják, amelyek együttesen méhsejtszerű formát adnak. Ha a hatszögek éle párhuzamos a cső tengelyével (ilyenek az egyfalú csövek), a cső a réznél jobban vezeti az áramot. Ha a hatszögek merőlegesek a tengelyre, a cső félvezetőként viselkedik. A széncsövek hatvanszor akkora mechanikai erőt viselnek el, mint az acél, pedig tömegük csak hatoda annak. Jobban vezetik a hőt, mint a gyémánt. Vezetőképességük révén árnyékoló hatású készülékházakat, előzetes kezelés nélkül vizes festékekkel vagy porbevonattal lakkozható gépkocsielemeket lehet velük gyártani.

Újabban a fém-oxidok (pl. az alumínium-oxid) is megjelentek a nanotöltőanyagok választékában, de ezek a fejlesztések egészen korai fázisában vannak még.

A gyakorlatban ma már számos helyen alkalmazott nanoagyagokat extruderben keverik be a polimerbe, legtöbbször polipropilénbe vagy poliamidba, de egyre inkább próbálkoznak hőre lágyuló poliuretánokkal és poliészterekkel is. A feldolgozási folyamat kezdetén viszkózus ömledék erős nyíróhatást fejt ki a bekevert lemezes szerkezetű agyagszemcsékre, amelyeket kohéziós erő tart össze. Ha a nyíróerő meghaladja a kohéziós erők nagyságát, eltávolítja egymástól a rétegeket, növeli a közöttük lévő rés távolságát, és ha a polimer összefér a töltőanyaggal, behatol a rétegek közé. Ez a jelenség az interkaláció. Ha a behatolás következtében az agyagrétegek közötti összetartó erő teljesen megszűnik, a rétegek elválnak, és diszpergálódnak a polimerömledékben (exfoliáció). Az interkaláció megkönnyítése érdekében a nanoagyagot vegyi anyaggal, pl. kvaterner alkil-ammóniummal kezelik (ezért nevezik a műanyag-feldolgozáshoz szánt nanoméretű montmorillonit töltőanyagot néha szerves agyagnak). Az exfoliációt összeférhetőséget javító adalékkal, PP-alapú kompozit gyártásakor pl. maleinsav-anhidriddel ojtott PP-vel segítik.

A töltőanyag optimális elosztatásában nagy szerepe van az extruder csigájának és a keverék tartózkodási idejének a gépben. Ha a csiga által gerjesztett nyíróerő túl kicsi, nem válnak szét eléggé az agyagrétegek; ha a nyíróerő túl nagy, összetörnek a lemezek. Ha a keverék tartózkodási ideje túl rövid, nem keveredik el egyenletesen a töltőanyag; ha a tartózkodási idő túl nagy, degradálódhat az anyag.

Az olaszországi **Icma San Giorgio** cég és a milánói **Polytechnik** együttforgó kétszigás *MCM/25HT-44D* típusú extruderen végzett 15 feldolgozási kísérlet keretében vizsgálta a feldolgozási paraméterek és a termék tulajdonságai közötti összefü-

gést. Az extruderben háromféle – kis, közepes és nagy nyíróerőt kifejtő – csigapárt használtak. Az első csigapáron két keverőszakasz, a másik két csigapáron három keverőszakasz volt. A csigák által az anyagra gyakorolt erőt a cégnél kidolgozott matematikai modell segítségével előre kiszámították. Minden csigapárhoz hozzárendelték a hengerhőmérsékleteket, az összeférhetőséget javító adalék mennyiségét és a keverés időtartamát. A tartózkodási időt inkább a kihozattal, mint a csiga sebességével változtatták. Röntgendiffraktogrammal vizsgálták az extruderből kilépő keverék szerkezetét (az eloszlás egyenletességét), mérték reológiai jellemzőit és dinamikus modulusát. *A legegyenletesebb eloszlást a közepes nyíróerővel dolgozó csigával érték el.* A kis nyírású csigával nem következett be az interkaláció, a nagy nyírású csigával gyengébb volt az eloszlás, de a gép 16%-kal több energiát fogyasztott. A kísérletek egy részében 165–180 °C, a másik részében 200–230 °C közötti zónahőmérsékletekkel dolgoztak. A magasabb hőmérséklet-tartományban az agyagrétegek közötti távolság kisebb volt, mint az alacsonyabban, aminek oka a meginduló hődegradáció lehetett. Az összeférhetőséget javító adalék mennyiségének megnövelése 5%-ról 20%-ra javította az interkalációt és az exfoliációt. A nagyobb kihozattal megrövidített tartózkodási idő rontotta az eloszlást 5% adalék mellett, de nem befolyásolta 20% adalék jelenlétékor. A röntgendiffrakciós vizsgálatok polipropilénben a nanoagyag egyenletes eloszlását mutatták, és ezt támasztották alá a reológiai mérések is.

A nanokompozitok előállításában nagy tapasztalatokkal bíró **Rapra Technologi-**es cég laboratóriumi keverőextrudert fejlesztett ki, amely alkalmas a nanokeverékek gyártási paramétereinek optimalizálására. A berendezés „lelke” egy *Rondol* extruder 21 mm átmérőjű, 40 L/D arányú csigával. Az extruderen 1 kg-nál kevesebb keverék is előállítható, de alkalmas egy kisebb üzemi próbához elegendő mennyiség elkészítéséhez is. A laboratóriumi extruderen meghatározott paramétereket könnyű nagyobb feldolgozógépre adaptálni. A fejlesztők alkalmassá tették a berendezést nanocsövek, folyékony lágyító, szuperkritikus gáz és természetesen nanoagyag adagolására.

Összeállította: Pál Károlyné

Thomas, S. P.; Stephen, R.; Bandyopadhyay, S.; Thomas, S.: Polymere Nanoverbundwerkstoffe: Präparation, Eigenschaften und Anwendungen. = Gummi Fasern Kunststoffe, GAK, 59. k. 9. sz. 2006. 9. sz. p. 544–552.

Extrusion of nanocomposites. = Macplas International, 2006. 3. sz. szept. p. 51, 53.

Carbon nanotubes. = Macplas International, 2006. 2. sz. jún. p. 82.

Nano compounding. = Macplas International, 2006. 3. sz. szept. p. 77.

(A nanokompozitokról a Műanyagipari Szemlében megjelent korábbi publikációk a 2004/1, 5, 6; a 2005/2, a 2006/1, 4, 5 és a 2007/1 számban találhatók.)