

## Poliamid nanokompozitok előállítása

A nanokompozitokkal foglalkozó cikkek többségében a kompozitok tulajdonságait vizsgálják, és csak kevés ismerteti részletesebben a kompozitok előállítási technikáit. Az ömledékkompaundálás körülményeinek vizsgálata mellett érdeklődésre tarthat számot a szol-gél technológia alkalmazása is a nanokompozitok előállítása céljából.

*Tárgyszavak: poliamid; nanokompozit; ásványi töltőanyag; előállítási technológia; montmorillonit.*

### Mit nevezünk nanokompozitnak?

Polimer nanokompozitokról akkor beszélünk, ha egy polimermátrixban legalább egy irányban nanométer méretű (1–100 nm) idegen anyag van elosztatva. Az ilyen finom töltőanyagok olyan tulajdonságokat eredményeznek, amelyeket a szokásos méretű (1–100 µm-es) töltőanyagokkal nem, vagy csak jóval nagyobb töltőanyag-koncentráció mellett lehet elérni. *Az egyik legtöbbet vizsgált nanométerű töltőanyag az agyag, amely megfelelő kikészítés és feldolgozás esetén képes arra, hogy nanométeres vastagságú és akár több mikrométer hosszúságú és szélességű lemezekké essen szét a műanyag mátrixban. Ezen belül is a legtöbb vizsgálat a montmorillonitra, mint töltőanyagra irányul. Attól függően, hogy a nanométeres vastagságú elemi lemezeket milyen jól sikerül szétosztani a polimerben, többféle nanokompozitot szoktak megkülönböztetni. A fázisszeperált rendszerek lényegében nem különböznek a hagyományos töltött polimerektől, az elemi lemezek összetapadva maradnak. Az úgynevezett *interkalált nanokompozitokban* az elemi rétegek távolabb kerülnek egymástól a polimer behatolása miatt, de nem esnek szét egyedi lemezekké, míg az úgynevezett *exfoliált kompozitokban* bekövetkezik az elemi lemezek (majdnem) teljes szétválása és diszperziója a polimermátrixban. *Az interkalált és különösen az exfoliált kompozitok elérése a cél, mert ezek különleges tulajdonságokat mutatnak (nagyobb modulus, kisebb gázpermeabilitás, jobb hőállóság, csökkent éghetőség). A kedvező tulajdonságokat a töltőanyag nagy átmérő-vastagság arányával és az erős kölcsönhatással magyarázzák.**

### Előállítási módok – ömledékkompaundálás

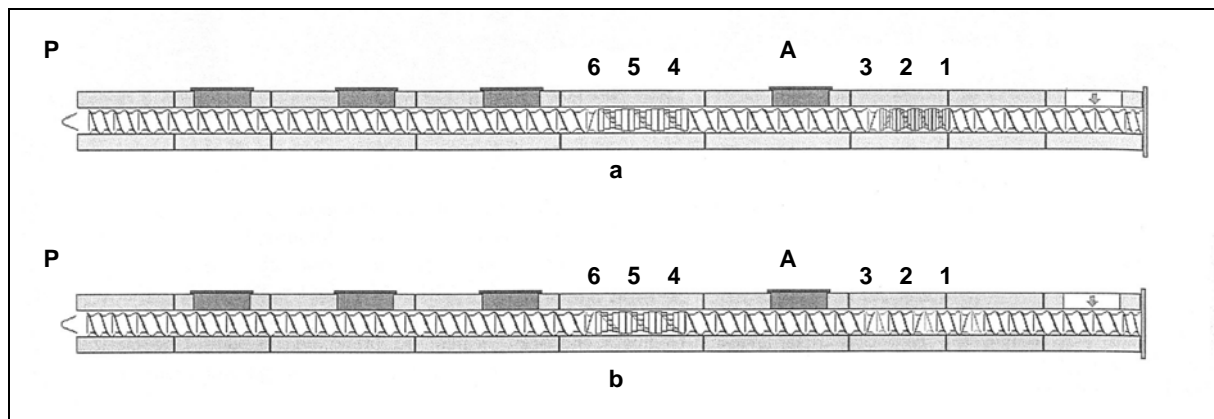
A nanokompozitok előállítására többféle módszer is létezik, az egyik az ömledékben történő bekeverés vagy kompaundálás. Ez hasonlít a normál töltött és erősített műanyag elkészítéséhez, és pl. oldószert sem igényel, tehát nem káros a környezetre. *A poliamidok (köztük a PA66) nanoagyagokkal való kombinációja már régen kutatott*

terület, de a legtöbb tanulmány a kész kompozitok jellemzőivel foglalkozott és csak kevesebb a feldolgozási paramétereknek a kompozitok jellemzőire gyakorolt hatásával. Összegyűltek bizonyos tapasztalatok ezen a téren is a csigafordulatszámra, a csiga-geometriára, a tartózkodási időre és a nyírási sebességre vonatkozóan. Kiderült, hogy a közepes nyírósebesség az optimális. A diszpergálási folyamatnak legalább két fázisa van: az agglomerátumok tördelődése nagy nyíróerőt kíván, de utána a polimer-molekulák behatolása az egyedi lemezek közé már diffúziós folyamat, amely nem függ a nyírósebességtől, viszont időre van szükség ahhoz, hogy végbemenjen. A montmorillonit hidrofobizáló szerves adalékanyag használata csak szükséges, de nem elégséges feltétele a jó diszperzióknak. Arra van szükség, hogy a nyíróerő átadódjon a polimerről a lemezes töltőanyagra: ennek hiányában a hosszú tartózkodási idő sem elég. Arra is fény derült, hogy a statikus nyírási kevésbé hatékony, mint a dinamikus, sőt adott esetben nyírási nélkül is elérhető a jó diszperzió: egy kísérletben tízszeres préseléssel érték el jó homogenitást.

#### *Az ömledékkompaundálás körülményei*

Egy vizsgálat sorozatban **Berstorff** gyártású *ZE25A UTX Ultra-glide* típusú egy irányban forgó kétcsigás extruderrel vizsgálták a szerkezet alakulását a PA66 ömledékkompaundálása során. Ennél az extrudernél a csigát viszonylag gyorsan ki lehet emelni a hengerből, és a különböző pontokon levő mintákat cseppfolyós nitrogénben lehűtve meg lehet őrizni a kialakult szerkezetet a későbbi morfológiai vizsgálatokhoz. A kísérletekben *Ultramid A27E (BASF)* polimert és disztearil-dimetil-ammónium-kloriddal organofilizált *Nanofil SE3000* töltőanyagot (**Süd-Chemie**) használtak, amelynek fajlagos felülete  $700 \text{ m}^2/\text{g}$ . Az extruderben kipróbált kétféle csigaelrendezést az *1. ábra* mutatja. Az egyik esetben két gyúróelem (KB) szerepelt, a másik esetben egy gyúróelem és egy többcélú feldolgozóelem (MPE). A csak gyúróelemeket tartalmazó csigát KB, a gyúró és többcélú feldolgozóelemet tartalmazó csigát MPE/KB jelöli. A csak gyúróelemeket tartalmazó konfiguráció első gyúró szakaszában a három előre mutató irányú gyúróelemet egy ellenkező irányú gyúróelem és egy ugyancsak ellenkező irányú szállítóelem követte. Az MPE blokkban egy előre és egy visszafelé ható irányú szállítóelem követi egymást: a keverőhatást az oda-vissza mozgás váltja ki. *Az ellenkező irányban ható elemek növelik a tartózkodási időt a keverőszakaszokban.* A második KB elem mindkét csigakonfigurációban egyforma: három előre mutató gyúróelem és egy ellentétes irányú szállítóelem. A második szakasz gyúrótárcsáján szélesebb keverőlapátok voltak, mint az első szakaszban. 2 és 4 % (V/V) montmorillonittartalmú minták készültek, a hőmérsékletek  $270 \text{ }^\circ\text{C}$ -re voltak beállítva, kivéve az adagolást, ahol a hőfok  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  volt. Kétféle fordulatszámot alkalmaztak: 400 és 1000 1/min értéket. A betáplálási sebességet is változtatták, de úgy, hogy a betáplálás sebessége és a fordulatszám állandó maradt. A kísérleti körülményeket az *1. táblázat* összegzi. A mintavételi helyek az *1. ábrán* láthatók. Az 1, 2 és 3 minták az első keverési szakaszból, az A jelű minta az első és a második keverési szakasz közötti részből, a 4, 5 és 6 minták a második keverési szakaszból, a P minta a második keverési szakasz

utáni részből származott. A minták felületét téremissziós pásztázó elektronmikroszkóppal (SEM), a töltőanyag eloszlását pedig ultramikrotommal „szeletelt” mintákon vizsgálták transzmissziós elektronmikroszkóppal (TEM). A rétegek eltávolodását röntgendiffrakcióval (XRD) is vizsgálták a  $2\theta = 1-30^\circ$  tartományban. A minták termikus viselkedését (4 órás  $110^\circ\text{C}$ -os szárítás után) pásztázó kaloriméterrel (DSC) vizsgálták. Meghatározták a kristályosodási hőmérsékleteket (hűtés közben) és az olvadási hőmérsékleteket (fűtés közben). A kristályossági fokot ( $X_c$ ) a mért olvadáshő és a 100%-ig kristályos PA66 értékének ( $195,8\text{ J/g}$ ) hányadosából számították.



1. ábra PA66/nanoagyag kompozitok ömledékkompaundálási kísérleteiben alkalmazott kétszigás extruder csigakonfigurációi

(a) csak gyúró elem (KB), (b) gyúró és kombinált keverőelemet (MPE/KB) tartalmazó konfiguráció. A számmal megjelölt helyekről vettek mintákat.

1. táblázat

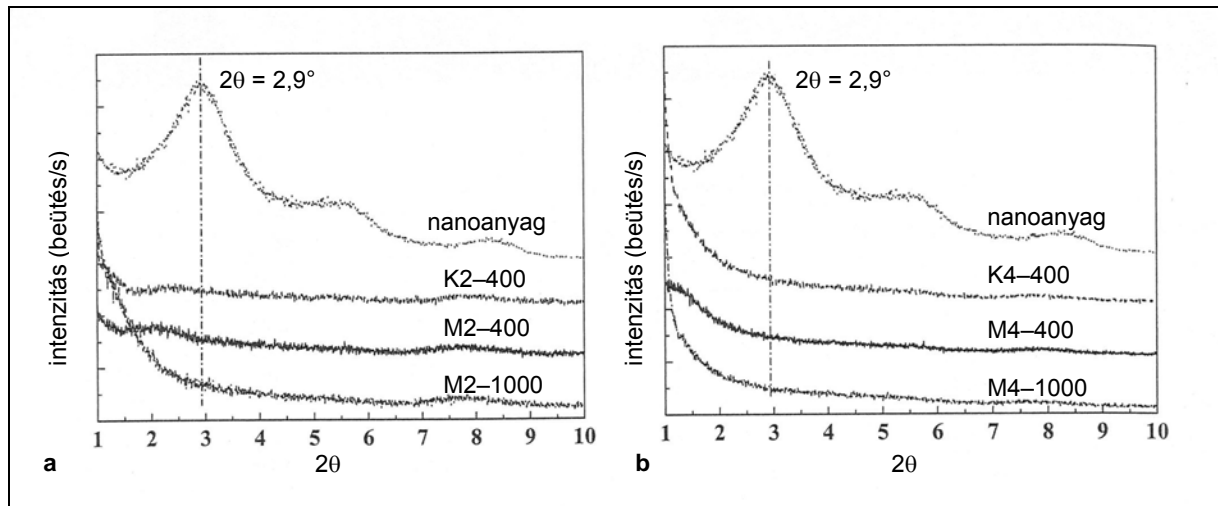
Minták jelölése és az ömledékkompaundálás körülményei

Jelölés	PA66/agyag	Csiga	Betáplálás (kg/h)	Fordulat (1/perc)	Ömledék-hőmérséklet ( $^\circ\text{C}$ )	Ömledék-nyomás (MPa)
K2-400	98:2	Csak KB	25	400	277	16
M2-400	98:2	MPE/KB	25	400	276	16
M2-1000	98:2	MPE/KB	62,5	1000	281	21
K4-400	96:4	Csak KB	25	400	277	17
M4-400	96:4	MPE/KB	25	400	276	18
M4-1000	96:4	MPE/KB	62,5	1000	280	23

### Minták szerkezete

Az 1–3 minták SEM vizsgálata azt mutatja, hogy a PA66 granulátumok fokozatosan megolvadnak, és noha az első keverőszakasz végén még  $1-10\ \mu\text{m}$ -s töltőanyag-

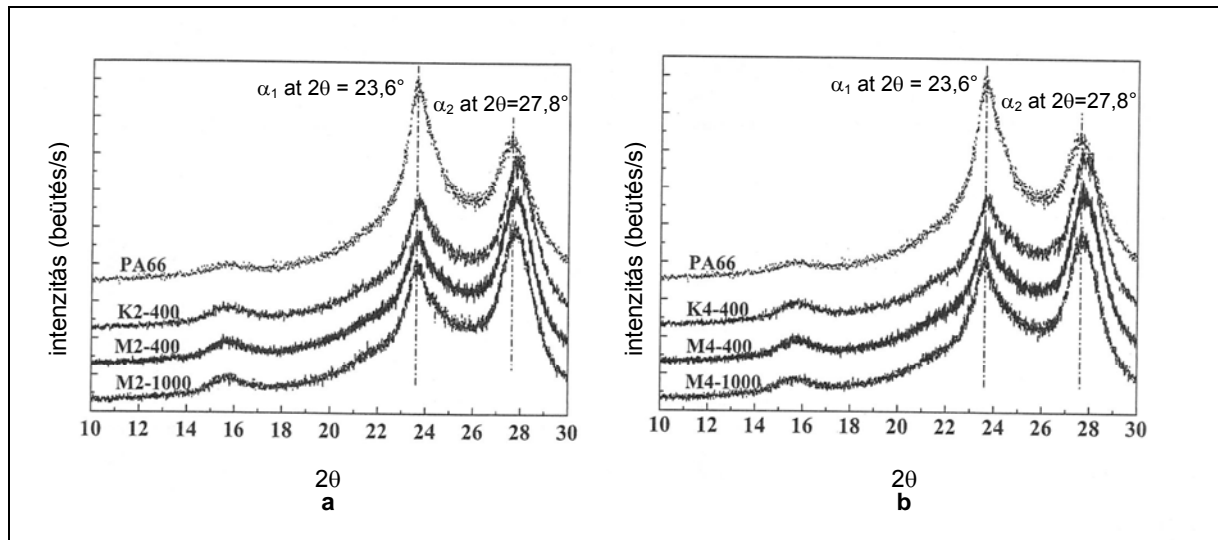
aggregátumok észlelhetők, az ömledék kvázihomogénnek tekinthető. Az „A” szakaszban az agglomerátumok mérete csökken (kb. 1  $\mu\text{m}$ -re), majd a 4–6 mintánál még kisebbre. Ezen a szakaszon a morfológia változása már nem is követhető jól a SEM technikával, csak a TEM technikával. A TEM technika kb. a 3 mintától kezdi jelezni a lemezek nagyobb mértékű szétesését, ahol kb. 500 nm méretű ún. taktoidok (lemez-aggregátumok) láthatók, a 4–6 mintákon fokozatosan nő a diszperzió mértéke.



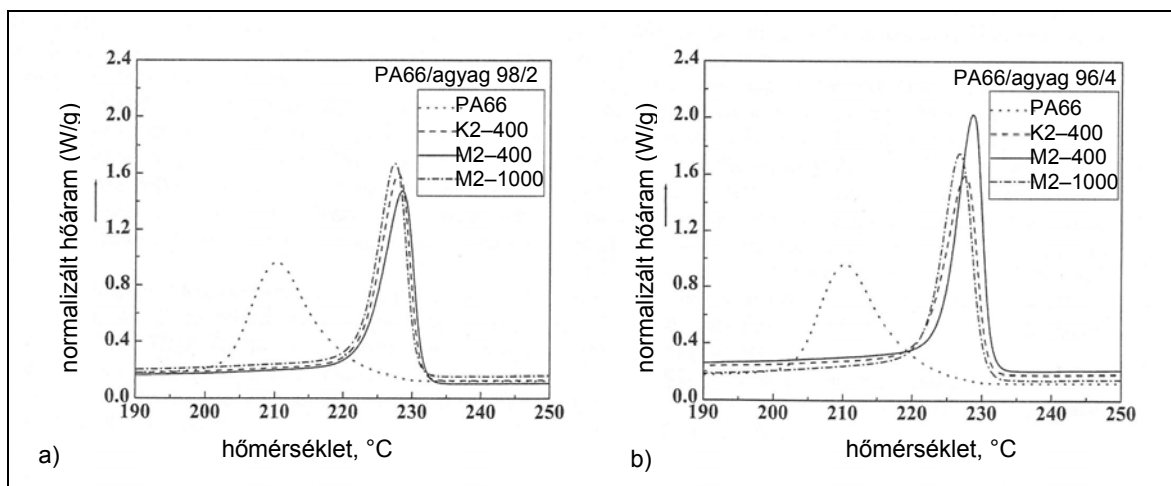
2. ábra A tiszta nanoagyag és a PA66 kompozitok röntgendiffrakciós görbéi az 1–10° szögtartományban, különböző feldolgozási körülmények mellett (a: 98/2, b: 96/4; jelöléseket ld. az 1. táblázatban)

A röntgendiffrakciós mérések kisszögű szakaszán (2. ábra) a tiszta agyagmintán 2,9°-nál látható egy maximum, amely 3,53 nm lemeztávolságnak felel meg. Ez a diffrakciós csúcs már a legenyhébb kompaundálási körülmények mellett is kisebb szögek felé vándorol (azaz megnő a lemeztávolság) és intenzitása csökken, intenzívebb keverés esetén pedig gyakorlatilag el is tűnik. A diffrakciós csúcs eltűnése még nem föltétlenül jelent teljesen exfoliált kompozitot (ezt TEM felvételekkel kell igazolni), csak annyit, hogy a diffrakciós csúcs intenzitása a koncentráció csökkenése és a méretcsökkenés által okozott sávszélesedés miatt annyira lecsökken, hogy nem különböztethető meg a háttértől. Jelen esetben azonban az elektronmikroszkópos felvételek is igazolják az elemi lemezek szétválását és diszperzióját a mátrixban, mind a 2% mind a 4% agyagot tartalmazó mintákban. A nagyobb szögtartományban felvett röntgendiffrakciós felvételek (3. ábra) a részben kristályos PA66 mátrixra vonatkozó információt hordoznak: a két diffrakciós csúcs két kristályformának ( $\alpha_1$  és  $\alpha_2$ ) felel meg. A két csúcs helye nem, de relatív intenzitása érzékelhető módon megváltozik: a tiszta PA66-ban az  $\alpha_1$ , a kompozitokban az  $\alpha_2$  csúcs intenzívebb, vagyis a nanoagyaggal történő érintkezés megváltoztatja a mátrix kristályszerkezetét. A minták kristályosodási görbéit a 4., a második melegítés során mért olvadási görbéit pedig az 5. ábra mutatja. Az olvadási

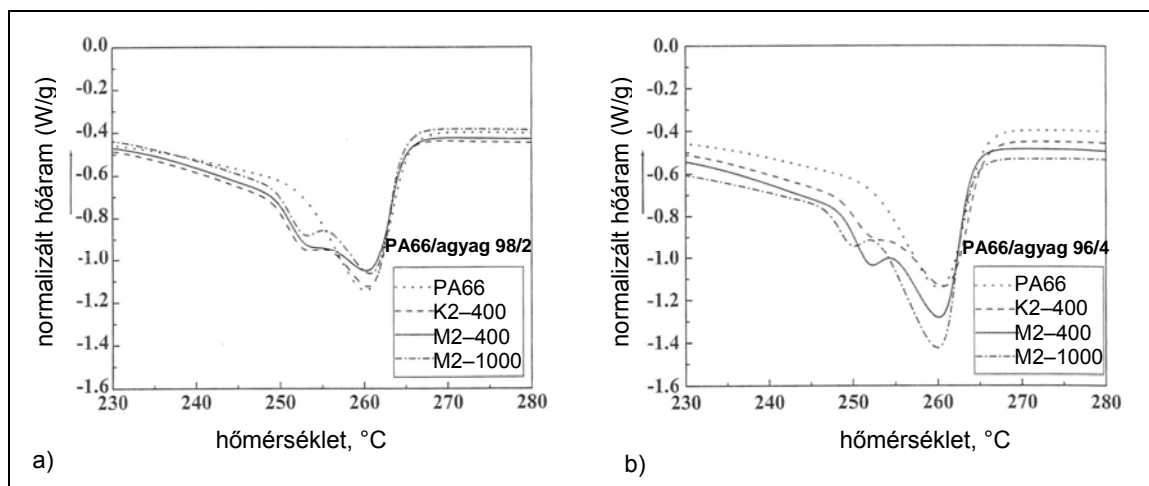
jellemzőket a 2. táblázat foglalja össze. A kristályosodási hőmérséklet jelentősen megnő a kompozitokban, azaz a túlhűthetőség csökken – ez a töltőanyag csíráképző (nukleáló) hatásának következménye, ami növeli a kristálynövekedés sebességét. Az olvadási görbékben feltűnő különbség, hogy míg a tiszta PA66 egyetlen olvadáspontot mutat, a kompozitok kettőt (az első az  $\alpha$ , a második a  $\gamma$  kristályformához rendelhető). Ebből az a következtetés vonható le, hogy a nanoagyag kedvez a  $\gamma$  kristályforma növekedésének és zavarja az  $\alpha$  kristályforma kialakulását.



3. ábra A tiszta nanoagyag és a PA66 kompozitok röntgendiffrakciós görbéi az 10–30° szögtartományban, különböző feldolgozási körülmények mellett (a: 98/2, b: 96/4)



4. ábra A tiszta PA66 és a különböző körülmények között készült kompozitok DSC-vel mért kristályosodási görbéi (a: 98/2, b: 96/4)



5. ábra A tiszta PA66 és a különböző körülmények között készült kompozitok DSC-vel mért olvadási görbéi a második melegítés során (a: 98/2, b: 96/4)

2. táblázat

#### A DSC vizsgálat eredményei

Minta	Olvaspont 1 (°C)	Olvaspont 2 (°C)	Kristályosodási hőmérséklet (°C)	Olvaspont (J/g)	Kristályosság ( $X_c$ ), %
PA66	260,1	–	210,3	74,3	38
K2-400	260,5	252,6	227,9	73,5	38
M2-400	260,3	252,6	228,5	73,3	37
M2-1000	260,7	252,6	227,4	72,7	37
K4-400	260,7	252,0	227,6	77,4	40
M4-400	260,1	252,3	228,6	82,4	42
M4-1000	259,9	250,2	226,7	75,8	39

#### A kompaundálási körülmények hatása a szerkezetre

Két alapvető keverési mechanizmus létezik: a *disztributív* és a *diszperzív* keverés. A disztributív keverés során elsősorban az agglomerátumok tördelődnek és egyenletesen eloszlanak a mátrixban, a diszperzív keverés pedig az egyedi lemezek szétválását és egyenletes elkeveredését segíti elő. A csak KB elemeket tartalmazó konfigurációban az első keverőszakaszban levő gyűrőelemek keskenyebbek, mint a másodikban. *A keskenyebb elemek inkább a disztributív, a szélesebbek a diszperzív keverést segítik elő.* Az MPE/KB konfigurációnál az MPE elemek végzik a keverést, amelyek nyíró és nyújtó áramlást is okoznak, egyenletes és intenzív keverést eredményezve. A két csigageometria viszonylag hasonló morfológiai változásokat okozott az ömledékben. A legjelentősebb méretcsökkenés az első keverőszakaszban alakult ki, ahol a mikronos



töltőanyag-agglomerátumok nanométeres taktoidokká estek szét (néhány egyedi lemez megjelenése mellett), majd a későbbiekben ezek estek szét elemeikre és diszpergálódtak a mátrixban. Az első keverési szakasz viszonylag gyors és függ a nyírósebességtől, a második lassú, diffúzióvezérelt folyamat, mert itt a polimermolekuláknak be kell hatolniuk a lemezek közé. A nyújtó áramlás hasznos ugyan az első fázisban, de kevés hatással van a másodikra. Ha az agyag felületkezelése megfelelő, a polimermolekulák be tudnak hatolni a lemezek közé, de ez csak a szükséges feltétel. A 4–6 pozíciók között szemmel láthatóan nincs sok különbség a morfológiában. A két csigageometria közül a KB konfiguráció tűnik valamivel hatékonyabbnak, az MPE elem ugyanis nem tudja olyan hatékonysággal letörni, aprítani a primer szerkezeteket. Úgy tűnik, hogy mivel a diszperzív komponens nem domináns az első keverési szakaszban, a nyújtó áramlás nem járul hozzá lényegesen a hatékonysághoz. Az „A” helyzetű minta alkalmas arra, hogy eldöntsék: az első keverési szakaszban megfelelő mértékű keveredést és tördelődést sikerült-e elérni. Az is leolvasható az eredményekből, hogy a nagyobb csigafordulat – a nagyobb nyírósebesség miatt – hatékonyabb az első keverési zónában. Elmondható, hogy különböző hatékonysággal ugyan, de mindegyik beállítás mellett az agyaglemezek nagyfokú exfoliációját sikerült elérni PA66-ban.

### **Átlátszó, cirkónium-dioxiddal töltött poliamid kompozitok előállítás szol-gél technikával**

A nanokompozitok előállításának másik lehetséges módja az, hogy a szerves részecskéket ún. szol-gél módszerrel állítják elő a műanyag mátrixban. A módszer lényege az, hogy a szerves részecske ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZrO}_2$  vagy  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) fémorganikus vegyületekből (szilikátokból, titanátokból, cirkonátokból vagy alumínátokból) jön létre hidrolízis, majd kondenzáció útján. A poliamidok, mint fontos műszaki műanyagok gyakran szerepelnek kompozitok mátrixaként. A poliamidok általában részben kristályosak, de kopolimerizációval elő lehet állítani olyan, csökkentett kristályosságú poliamidokat, amelyek könnyebben oldhatóak és átlátszóak. Ilyen anyagokat (pl. *Trogamid T*, *Grilamid TR-55*, *Hostamid LP700*) elő lehet állítani aromás dikarbonsavak és alifás diaminok reakciójával. A *Trogamidot* például 2,2,4- és 2,4,4-trimetilhexametilén-diamin 1:1 arányú elegyének és egy aromás dikarbonsavnak a reakciójával állítják elő. Egy ilyen vegyület  $\text{ZrO}_2$ -dal történő kombinációja számos előnyt kínál, mivel a cirkónium-dioxid olvadáspontja igen magas, mechanikai jellemzői, sav- és lúgállósága kiemelkedők. A cirkonátok (pl. tetrapropil-cirkonát, TPZ) jóval reakcióképesebbek, mint a szilikátok, de DMF (dimetil-formamid) oldatban elreagáltathatók ugyancsak oldott poliamidok jelenlétében. A reakciót többek között dietil-amin katalizátor segítségével lehet gyorsítani. A hidrolízist sztöchiometrikus mennyiségű víz hozzáadásával lehet megindítani, amit már automatikusan követ a kondenzáció, a  $\text{Zr}(\text{OH})_4$  fokozatos átalakulása  $\text{ZrO}_2$ -dá. A  $\text{ZrO}_2$  mennyiségét egy vizsgálatban 2,5% és 25% között változtatták az oldatban, majd filmet öntöttek belőle az oldószer elpárologtatásával. Vizsgálták a statikus, a dinamikus (DMA) mechanikai jellemzőket, az átlátszóságot, a termikus stabilitást és a morfológiát.

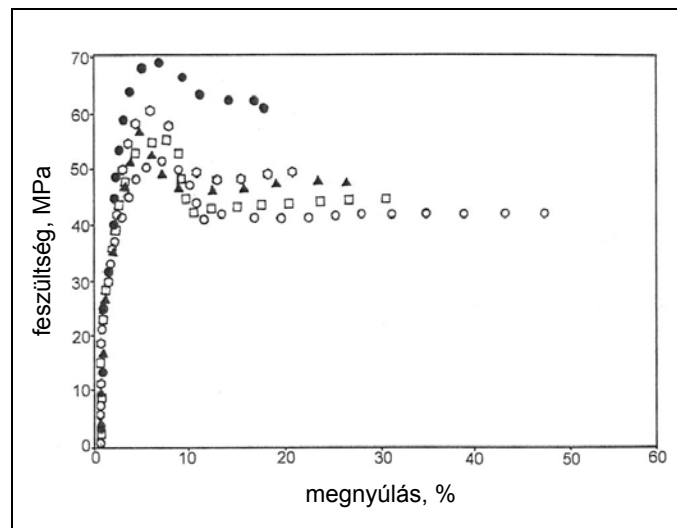
*A ZrO<sub>2</sub> tartalmú poli(trimetil-hexametilén-tereftámid) tulajdonságai*

Az összes minta színtelen és átlátszó volt (3. táblázat). A legátlátszóbb a 2,5% ZrO<sub>2</sub> tartalmú film volt, nagyobb koncentrációnál az átlátszóság valamelyest csökkent. Mindaddig, amíg a képződő kerámiarészecskék mérete kisebb marad a fény hullámhosszánál és eloszlásuk viszonylag homogén, nem szórják erősen a fényt és nem okoznak zavarosságot.

3. táblázat

ZrO<sub>2</sub> tartalmú, szol-gél módszerrel előállított minták fényáteresztő képessége

Minta	ZrO <sub>2</sub> tartalom (%)	Filmvastagság mm (±0,02)	Fényáteresztő képesség adott hullámhosszon, % (±2)		
			490 nm	530 nm	600 nm
1	0	0,12	81,9	82,5	83,4
2	2,5	0,16	84,4	85,5	85,9
3	7,5	0,17	81,3	82,1	83,7
4	10	0,18	80,1	81,4	82,7
5	15	0,19	78,8	79,7	81,8



6. ábra A különböző mennyiségű ZrO<sub>2</sub>-t tartalmazó amorf poliamidminták szobahőmérsékletű szakítógörbéi; 0 (○), 2,5 (□), 7,5 (▲), 10 (○), 15 (●)

A 15% fölötti ZrO<sub>2</sub> tartalmú filmeket nem lehetett szakítógéppel vizsgálni, mert túl ridegek voltak hozzá. A kvázisztatikus mechanikai jellemzőket a 6. ábra és a 4. táblázat foglalja össze. A folyáshatár nagyobb, mint a szakítószilárdság, azaz a feszültség maximumon megy keresztül. A folyáshatár, a modulus és a szakítószilárdság nő a merev töltőanyag mennyiségének növelésével, a szakadási nyúlás és az ütésálló-



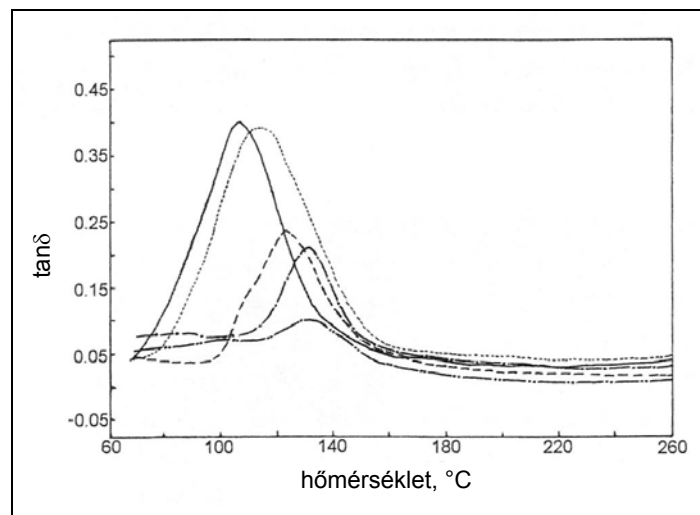
ság csökken – ami teljesen megszokott a töltött és erősített műanyagok körében. A nagy modulusú szemcsék növelik a merevséget, viszont csökkentik a mátrix rugalmasságát és deformálhatóságát. Meg kell azonban jegyezni, hogy a szakadási nyúlás a normál (mikrométeres) töltőanyagokhoz képest meglehetősen nagy marad, ami a kis mérettel és a jó tapadással függhet össze.

4. táblázat

A poliamid-ZrO<sub>2</sub> kompozitok kvázisztatikus mechanikai jellemzői és üvegesedési hőmérséklete

ZrO <sub>2</sub> tartalom %	Folyáshatár MPa (± 0,30)	Szakítószilárdság MPa (± 0,30)	Szakadási nyúlás, % (± 0,02)	Húzómodulus GPa (± 0,02)	Ütésállóság* MPa (± 0,50)	T <sub>g</sub> °C
0	52	44	47,3	1,82	40,3	102
2,5	54	46	30,7	1,90	25,2	112
7,5	57	48	26,8	1,93	21,8	123
10	61	50	20,1	1,97	18,8	131
15	69	60	17,8	2,20	19,5	132

\* Az ütésállóságot a szakítógörbe alatti területből számolták ki a szakadási nyúlásig.



7. ábra Különböző poliamid-ZrO<sub>2</sub> kompozitok veszteségi tg δ értékének hőmérsékletfüggése 10 Hz-es hajlító igénybevétel esetén  
 — 0%, ..... 2,5%, - - - 7.5%, -.-.- 10%, -.-.-.- 15% ZrO<sub>2</sub>

A DMA vizsgálatokkal elsősorban az üvegesedési hőmérséklet esetleges eltolódását kívánták vizsgálni. A különböző kompozitok tg δ értékét (a hőmérsékletfüggő veszteségi és tárolási modulusok hányadosát) a 7. ábra mutatja, a belőle megállapítható üvegesedési hőmérsékleteket pedig a 4. táblázat. Jól látható, hogy az üvegesedési hőmérséklet fokozatosan a nagyobb értékek felé tolódik, azaz nő az anyag hőállósága

(terhelés alatti behajlási hőmérséklete) is. Ez azzal magyarázható, hogy a polimerláncok erősen kötődnek a töltőanyag szemcsékhez, ami csökkenti a láncok mozgékony-ságát. A  $\tan \delta$  érték alatti terület csökken, a csúcs pedig kiszélesedik, ami a szerkezetek változatosságával függ össze. Az itt nem mutatott tárolási modulusok ( $E'$ ) az üveges tartományban kismértékben, a gumirugalmas tartományban nagymértékben nőnek a töltőanyag-tartalommal, ami ismét megszokott viselkedés. Az üveges tartományban az  $E'$  érték maximumot mutat a töltőanyag-tartalom függvényében, ami a töltőanyag-szemcsék agglomerációjával függhet össze.

A TGA felvételek szerint a tiszta polimer és a kompozitok a 400–500 °C tartományban bomlanak el, a  $ZrO_2$  töltőanyag növeli a bomlási hőmérsékletet (legalábbis a maximális bomlási sebességhez tartozó értéket, mert pl. a bomlás kezdete a 2,5%  $ZrO_2$  tartalmú minta esetében valamivel alacsonyabb hőmérséklet felé tolódik). A maradék tömege majdnem pontosan megegyezik a  $ZrO_2$  mennyiségével, vagyis nincs jelentős kátrányképződés.

A pásztázó elektronmikroszkópos (SEM) vizsgálat szerint *30–50 nm átlagos átmérőjű  $ZrO_2$  egységek alakulnak ki, az átlagméret fokozatosan növekszik a töltőanyag-tartalommal.* A méreteloszlási görbe viszonylag szűk, és a  $ZrO_2$  részecskék közelebbi vizsgálata arra utal, hogy azok szélei (különösen nagyobb töltőanyag-tartalomnál) diffúzzá válnak, ezért egyfajta IPN (egymásba hatoló térhálós) szerkezet alakul ki.

Mindkét bemutatott példa azt bizonyítja, hogy a korszerű módszerekkel előállított, nanométeres töltőanyagot tartalmazó kompozitok új és érdekes tulajdonságaikkal gyarapítják a poliamidok alkalmazási lehetőségeit.

Összeállította: Dr. Bánhegyi György  
www.polygon-consulting.ini.hu

Lin, B.; Thümen, A. stb.: Nylon 66/clay nanocomposite structure development in a twin screw extruder. = Polymer Engineering, 49. k. 4. sz. 2009. p. 824–834.

Sawar, M. I.; Zulfiqar, S.; Ahmad, Z.: Properties of polyamide-zirconia nanocomposites prepared from sol-gel technique. = Polymer Composites, 30. k. 1. sz. 2009. p. 95–100.

## Gyártósor poliamid félkész termékek előállításához

Az olasz **Persico** anionos polimerizációs berendezést szállított Oroszországba PA6 félkész termékek gyártására. Az automata gyártósoron öntési technológiával az extrúzióval vagy fröccsöntéssel előállítottakhoz képest merevebb termékek állíthatók elő, amelyek kopásállóak, a különböző mechanikai igénybevételeknek tartósan ellenállnak és önkenő tulajdonsággal rendelkeznek.

A folyamat folyékony kaprolaktámból indul ki. A gépsor kapacitása 6 t/nap, és mintegy 250-féle különböző méretű félkész termék gyártható rajta: többek között 20–280 mm átmérőjű rudak, lemezek (max. 500 kg össztömegig) és különböző vastagságú 80–600 mm átmérőjű csövek.

macplas, E3. 09. p. 33.; www.persico.com

O. S.

[www.quattroplast.hu](http://www.quattroplast.hu)