

Poliamidok: felhasználás, módosítás, ötvözetek

Tárgyszavak: műszaki műanyagok; poliamid; polisztirol; villamosipar; autóipar; csomagolás; kompaundálás; fröccsöntés; extrudálás.

Az elmúlt tíz évben a poliamidok felhasználása a világon évente mintegy 7%-kal nőtt, és még nem látni, hogy a növekedés kifulladt volna. A kopolimerizációs, adalékolási (töltési, erősítési) és ötvözési lehetőségek bő választéka lehetővé teszi, hogy a jövőben is számos új poliamid típus kerüljön forgalomba. Ennek köszönhető az is, hogy a műszaki műanyagok között a poliamidok mennyiségben vezető helyet foglalnak el. A fő alkalmazási területek az autóipar, a villamosipar és a csomagolás.

Főbb gyártók és kapacitásuk

Az 1. táblázat a főbb nyugat-európai gyártókat, az általuk gyártott monomerek és poliamidok típusát, valamint a márkaneveket foglalja össze. A **BASF** kivételével egyik gyártó sem teljesen önellátó monomerek szempontjából. Európában a legtöbb PA 6 poliamidot a **BASF** állítja elő, utána következik a **Lanxess** és a **DSM**. A PA 66 területén a **DuPont** a piacvezető, utána jön a **BASF** és a **Rhodia**. A poliamid alappolimereket két csoportba lehet sorolni: a szálpolimerek és a fröccsönthető vagy extrudálható műszaki műanyagok csoportjába. *2003-ban a világ fröccsönthető és extrudálható PA 6 gyártó kapacitása kb. 1,3 M t volt, a PA 66 gyártó kapacitás pedig kb. 0,9 M t, ami összességében kb. a világszerte elérhető összes (beleértve a száltípusokat is) PA-polimerizációs kapacitás egyharmadát jelenti.*

A polimerizációs kapacitás földrészek szerinti eloszlását 2003-ban és várható alakulását 2010-ben az 1. ábra mutatja. A 2. ábrán az európai gyártók kapacitása látható. *Mivel igény esetén a szálpolimerizációs kapacitásokat is át lehet állítani műszaki műanyag gyártására, és mivel a szálhulladékot az alacsonyabb árú műszaki típusokban adalékként is fel lehet használni, a kapacitásadatokat rugalmasan kell kezelni.* A kikészítő (konfekcionáló) kapacitásokra vonatkozóan sincsenek igazán megbízható adatok, mivel itt is többcélú berendezéseket használnak fel, amelyek többféle műszaki műanyaghoz is használ-

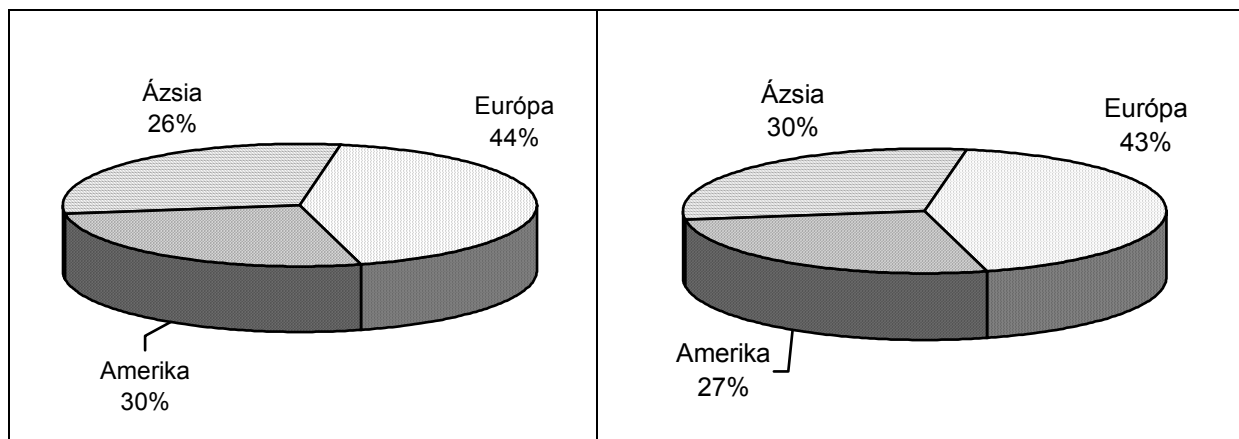
hatók. Általánosságban azonban elmondható, hogy a legtöbb szolgáltató-konfekcionáló cég bővítette kapacitását.

1. táblázat

A főbb nyugat-európai poliamidgyártók termékeinek jellemzői 2003-ban

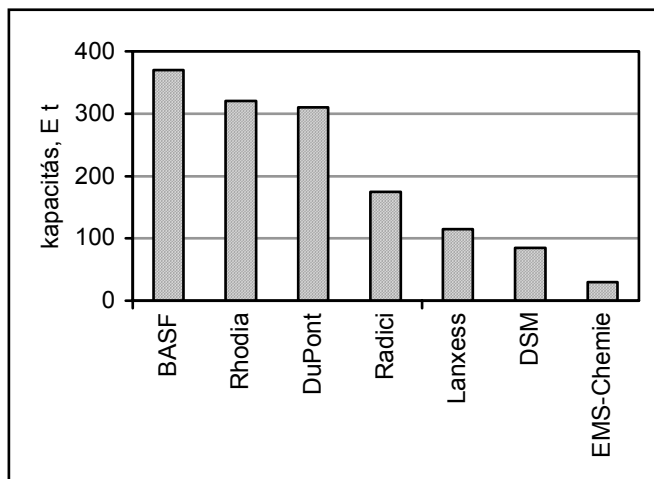
Cég	Monomer		Poliamid típus			Márkanév
	kaprolaktám	AH-só*	PA6	PA66	egyéb PA	
Atofina					x	Orgamide
BASF	x	x	x	x	x	Ultramid, Capron
Lanxess	x	–	x	x	x	Durethan
Du Pont	x	x	x	x	x	Zytel
DSM	x	–	x	x	x	Akulon, Stanyl
Ems Chemie	–	–	x	x	x	Grilon, Grilamid, Grivory
Degussa	–	–	–	–	x	Vestamid, Trogamid
Radici	–	x	x	x	x	Radilon
Rhodia	–	x	x	x	x	Technyl

* A PA 66 monomerje = adipinsav és hexametilén-diamin sója.



1/a ábra PA gyártókapacitások a világon 2003-ban (összesen: 2,3 M t)

1/b ábra PA gyártókapacitások a világon 2010-ben (összesen várható: 3,3 M t)

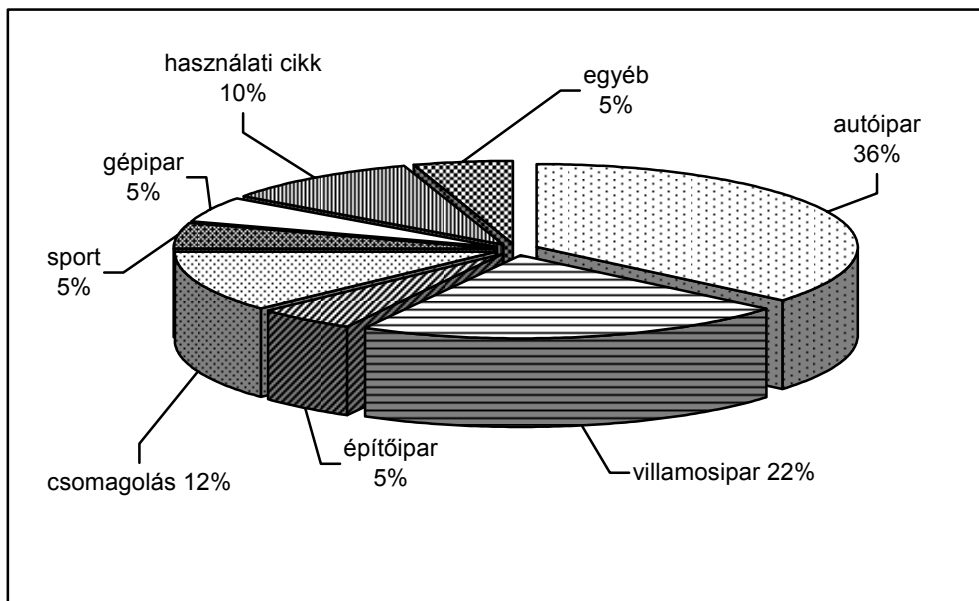


2. ábra
Nyugat-európai PA gyártók
kapacitásai 2003-ban

Felhasználás és alkalmazás

A poliamid 6 és 66 gyártásának kezdete óta (amely mintegy 60 éve kezdődött) a poliamidok iránti igény 2003-ban világszerte mintegy 6 millió tonnára nőtt. Ennek nagyobb részét – mintegy 4 M t-t – szálgyártásra használják (szőnyegek, műszaki szövetek, nemszőtt kelmék stb.), a maradék 2 M t a fröccsönthető és extrudálható műszaki műanyag granulátum. Eleinte a szálpiac nagyon gyorsan nőtt, de később a műszaki műanyagok egyre nagyobb részt képviseltek a piaci növekedésből. 1993 és 2003 között a műszaki célú PA piaca átlagosan évente 6,5%-kal nőtt, azzal együtt, hogy 2001-ben egy nagyobb visszaesés következett be. Az egyes régiók fejlődési sebessége erősen eltér. Az USA-ban, Európában és különösen Délkelet-Ázsiában erős volt a növekedés, Japánban azonban az átlag alatti maradt. *Jelenleg az USA és Európa exportőrök, Ázsia pedig importőr. 2010-ig hasonló növekedési tendenciát jósolnak Európában és világszerte.* Ebben jelentős szerepet játszik az ázsiai piacok növekedése, ahol az egy főre eső felhasználás még jóval kisebb a fejlett országok átlagánál.

Nyugat-Európában 2003-ban mintegy 700 E t poliamidot használtak fel, amelyből kb. 50% PA 6, 40% PA 66, a többi jelenti a specialitásokat (PA 11, PA 12 és egyéb homo- és kopoliamidok). A 3. ábra mutatja a poliamidok felhasználási területeit. Látható, hogy az autóipar, a villamosipar és a csomagolás a legjelentősebbek, ahol a PA 6, a PA 66 és a kopolimerek alkalmazása a leggyakoribb. A részben aromás kopoliamidokat olyan speciális helyeken alkalmazzzák, ahol különleges mechanikai, termikus vagy közeghatásokra kell számítani – ezekben az esetekben még a PA 66 tulajdonságegyüttese sem elegendő.



3. ábra A poliamidok felhasználási területei Nyugat-Európában 2003-ban

A nagy felhasználók: járművek, elektronika, csomagolás

A legnagyobb poliamidfelhasználó ipari ágazat a járműipar (36%). A poliamid évtizedek óta számos motortéri, autóelektronikai és karosszériaalkalmazásban szorítja ki a fémeket. Az előnyök ma is ugyanazok, mint a fejlesztés kezdetekor: a nagyobb tervezési szabadság, a kisebb tömeg, az olcsóbb gyárthatóság. A fémekkel kombinált ún. hibridtermékek sok funkciót egyesítenek, és ezzel új gyártástechnológiákat és modulszerűen felépített rendszereket tesznek lehetővé. A **BMW**-nél még olyan komplex módon igénybe vett alkatrészt is gyártanak poliamidból, mint egy 8-hengeres motor fedele. Úgy tűnik, hogy a sikertörténetnek még nincs vége, a fejlődés lehetőségei nem merültek ki.

A poliamid lényeges szerepet játszik a modern villamos- és elektronikai iparban is. Nyugat-Európában 2003-ban ez az iparág használta fel az összes poliamid 22%-át, az éves növekedés 4% körül volt. A siker oka a jó égésgátlóhatóság, a jó mechanikai és termikus jellemzők együttese. Éghetőség szempontjából bizonyos esetekben az alappolimerek is megfelelőek, máskor szükség van égésgátló adalékokra is – itt a halogénmentes (foszfort és szerves nitrogénvegyületeket tartalmazó) változatok terjednek. A modern teljesítményelektronikában a poliamid részben hőre keményedő gyantákat, részben fémet vált ki.

A csomagolástechnikában a poliamidot gyakran használják többrétegű fóliák zárórétegeként, a tiszta PA fóliák felhasználása ritka. A többrétegű fóliákban többnyire PA 6 vagy PA 66 alapú kopoliamidok (PA 6/66, PA 6/11, PA 6/12) fordulnak elő. Ez a terület Nyugat-Európában a felhasználás kb. 12%-át teszi ki. A következő években a nyomtatható élelmiszeripari fóliák iránti igények további növekedése várható. Ez nem csak a kelet-európai és ázsiai országok növekvő felhasználásából táplálkozik, hanem abból is, hogy egyre nagyobb az érdeklődés a tovább eltartható élelmiszerek iránt, és nő az egyszemélyes háztartások aránya. Az élelmiszercsomagolásban ilyen fóliákat használnak hús, kolbász, sajt, földimogyoró és hal csomagolására a poliamid jó mechanikai, oxigén- és aromazáró tulajdonságai miatt. A gázzáró tulajdonságok tovább javíthatók nanoagyagtípusú töltőanyagok hozzáadásával és biaxiális orientációval.

Termék- és alkalmazástechnikai fejlesztés

Az autóiipari fejlesztésekben a legtöbb újdonság a *motortéri alkalmazásokban észlelhető*. A beszívó egységben egyre inkább a PA 6 használata terjed, mert nem csak olcsóbb a PA 66-nál, de csökkenti a feldolgozási költségeket. PA 6-ból dörzshegesztéssel készíthetők szívócsövek, míg PA 66-ból a hasonló elemeket olvadó mag segítségével öntik ki. A motortéri elemekkel szemben folyamatosan nőnek a mechanikai és hőállósági követelmények. Az Audi A6-ban pl. már poliamidból készül az olajsűrű modul, egy Mercedes Benz gyártmányú teherautóban pedig egy olajtálca – mindkét esetben üvegszál-erősítésű poliamidból.

Különleges alkalmazásnak számít az *igen drága műszaki műanyagok [poliariamid, poli(fenilén-szulfid), poliftálamid] kiváltása nagy (akár 70%-os) üvegszáltartalmú poliamidokkal*. A gépjármű-villamosság területén a növekvő integráció és miniatürizálás lehetőséget kínál arra, hogy lézerhegesztéssel váltsák ki a korábbi rögzítési eljárásokat (ragasztás, szegecseles vagy dörzshegesztés), ami jobb zárást és nagyobb varratszilárdságot biztosít. Erre a célra több gyártó dolgozott ki lézer számára átlátszó és azt elnyelő PA 6 és PA 66 típusokat.

Az olyan új technológiák, mint a *kompaundálással kombinált fröccsöntés (IMC)* lehetőséget kínálnak hosszú üvegszállal erősített poliamidtárgyak előállítására. A hosszú szálak alkalmazásával nő a merevség és az energiaelnyelő képesség. A kedvező gyártási költségek és a könnyebb újrafeldolgozhatóság miatt a nagy, lapos felületek formaadásában az IMC technológia várhatóan versenytársa lesz az olyan hagyományos technológiáknak, mint az SMC (hőre keményedő, poliészteralapú szálerősítésű lemezek).

A *vízinjektálásos fröccsöntés*, amelynek során a szerszámkitöltés alatt nagy nyomással vizet juttatnak a szerszámba, lehetővé teszi viszonylag egyetlen falvastagságú üreges testek előállítását. A *gázbefúvásos módszer-*

rel szemben ennek előnye többek között az, hogy a folyékony víznek jobb a hűtő hatása, rövidebb ciklusidőt, vékonyabb falvastagságot és nagyobb maximális termékméretet lehet vele elérni. *Az autópárban további cél a poliamidok felhasználása az üzemanyagcellákban és a 42 V-os akkumulátorokban, amelyek a jövő autókban fontos szerepet fognak játszani.*

A villamosipari alkalmazásokban a fejlesztéseket Európában két új törvény határozza meg: a *villamosipari hulladékokra vonatkozó (WEEE)* és a *bizonyos anyagok korlátozott használatára vonatkozó (ROHS)* törvény. Az első szerint a villamos berendezések hulladékainak feldolgozásakor a brómtartalmú műanyagokat el kell különíteni. A második törvény 2006 július 1. utántól tiltja a legtöbb polibrómozott bifenil és bifenil-éter, valamint a Hg-, Zn- és Cr(VI)-tartalmú vegyületek alkalmazását. Ennek fényében több alapanyaggyártó dolgozik olyan poliamidok kifejlesztésén, amelyek a következő jellemzőkkel rendelkeznek: könnyű feldolgozhatóság, jó mechanikai jellemzők, halogénmentes égésgátló, UL94 szerinti V0 éghetőség. A villamos berendezésekre vonatkozó IEC szabványok ugyanakkor egyre nagyobb követelményeket támasztanak a berendezések biztonságával szemben, amelyek ugyancsak további fejlesztésekre ösztönzik az alapanyaggyártókat.

Egyre terjed a háromdimenziós, fröccsöntött kapcsolók (3D-MID) gyártása is, amellyel mechanikus és villamos elemek (pl. kötőelemek és dugaszolóaljzatok) integrálhatók egy olyan házban, amelyben a kapcsolót elhelyezik. Mivel az eszközöket gyakran magas hőmérsékletű forrasztófürdőben forrasztják, az egyik lehetséges szerkezeti anyag a hőálló poliamid.

Jelentős erőfeszítések folynak a gyártástechnológia olcsóbbá tételére is – természetesen változatlan minőség mellett. Ezen a területen említést érdemel a jobb szerszámkitöltés, a gyorsabb megszilárdulás és a könnyebb és gyorsabb eltávolítás a szerszámból.

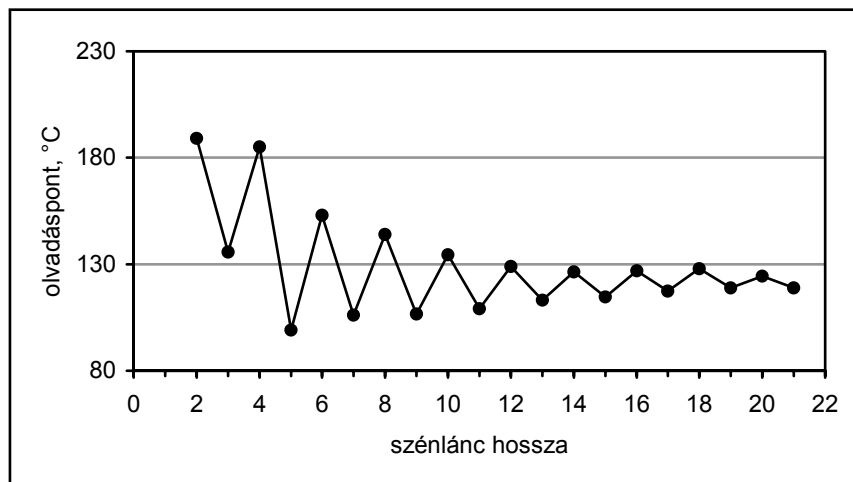
2003-ban az európai piacokon a kihasználatlan kapacitások és a növekvő nyersanyagárak miatt csökkent a poliamidgyártás haszna, ami hozzájárult a piac további konszolidációjához.

Módosított poliamid típusok

A gyártáshoz használt monomerek megfelelő megválasztásával finoman szabályozni lehet a poliamidok tulajdonságait: feldolgozhatóságát, stabilitását, tartósságát, mechanikai jellemzőit stb. A poliamidokat vagy aminosavakból (esetleg ezek laktámjaiból), vagy dikarbonsavakból és diaminokból állítják elő polikondenzációval (vagy laktámok esetén gyűrűfelfelnyílásos polimerizációval). *Ha többféle monomert kombinálnak, kopoliamidokat állíthatnak elő, amelyek sajátosságai a megfelelő homopolimerek közé esnek.*

Az egyik lehetőség a dikarbonsavak lánchosszának változtatása. A különféle dikarbonsavakat nem csak a poliamidok, hanem a poliészterek előállításához is alkalmazzák. A **Cognis Co KG** cég számos dikarbonsavat állít elő,

többek között olyan dimer zsírsavakat is, amelyeket poliamid ömledékrasztók gyártásához használnak. Az azelainsavat, amely egy 9 C-atomos dikarbonsav, adalékként használják PA 6 és PA 66 alapú kopoliamidok előállításában (PA 69 és PA 669) – ezek kristályosodása eltér a homopolimerekétől. Az azelainsav és más hosszú szénláncú dikarbonsavak szobahőmérsékleten szilárd anyagok, amelyekkel a különböző polimerek rugalmassága, hidrofób tulajdonsága javítható. Használják őket nem csak poliamidokban és poliészterekben, hanem porlakkokban és glicidil-metakriláttal végzett reakció után egyéb gyantákban és bevonatokban is. Az azelainsavat pl. az olajsav (C18) ozonolízisével állítják elő. Ez a kristályos anyag feloldódik forró vízben, alkoholban, éterben és más poláris oldószerekben is. Az azelainsav-származékok általában alacsonyabb hőmérsékleten olvadnak, és jobban oldódnak, mint a páros szénatomszámú analógok (4. ábra). A 10- és 12-atomos dikarbonsavakat (a szebacinsavat és a dodekán-dikarbonsavat) ricinusolajból vagy 1,4-butadién módosításával lehet előállítani. Ezzel a módszerrel azonban hosszabb szénláncú dikarbonsavakhoz nem lehet eljutni.

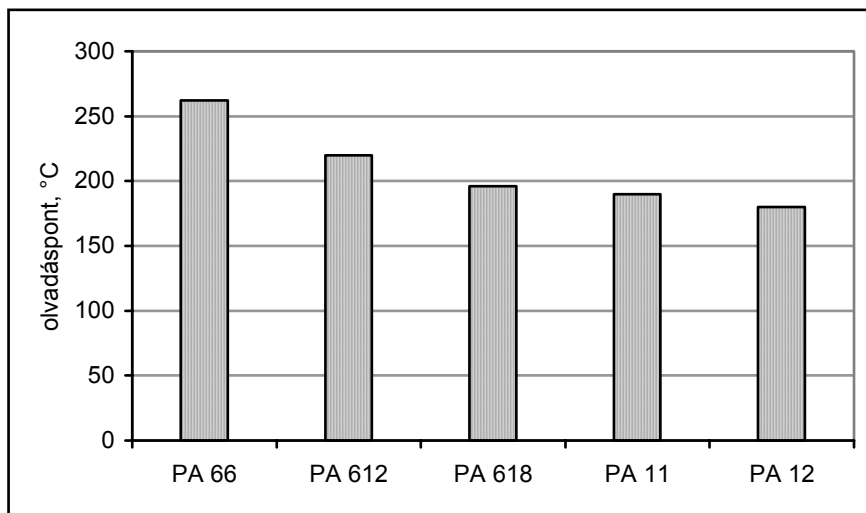


4. ábra A különböző szénatomszámú dikarbonsavak olvadáspontja

A 11–18 atomos dikarbonsavak előállítására egy újabb eljárás a zsírsavak vagy paraffinok biológiai oxidációja. Az ilyen hosszú szénláncú dikarbonsavak csökkentik a poliamidok/poliészterek olvadáspontját, és ezzel könnyítik feldolgozhatóságukat, ezenkívül még a következő kedvező tulajdonságokat eredményezik:

- kisebb vízfelvétel,
- jobb vegyszerállóság,
- nagyobb hidrolitikus stabilitás,
- nagyobb rugalmasság és szívóosság,

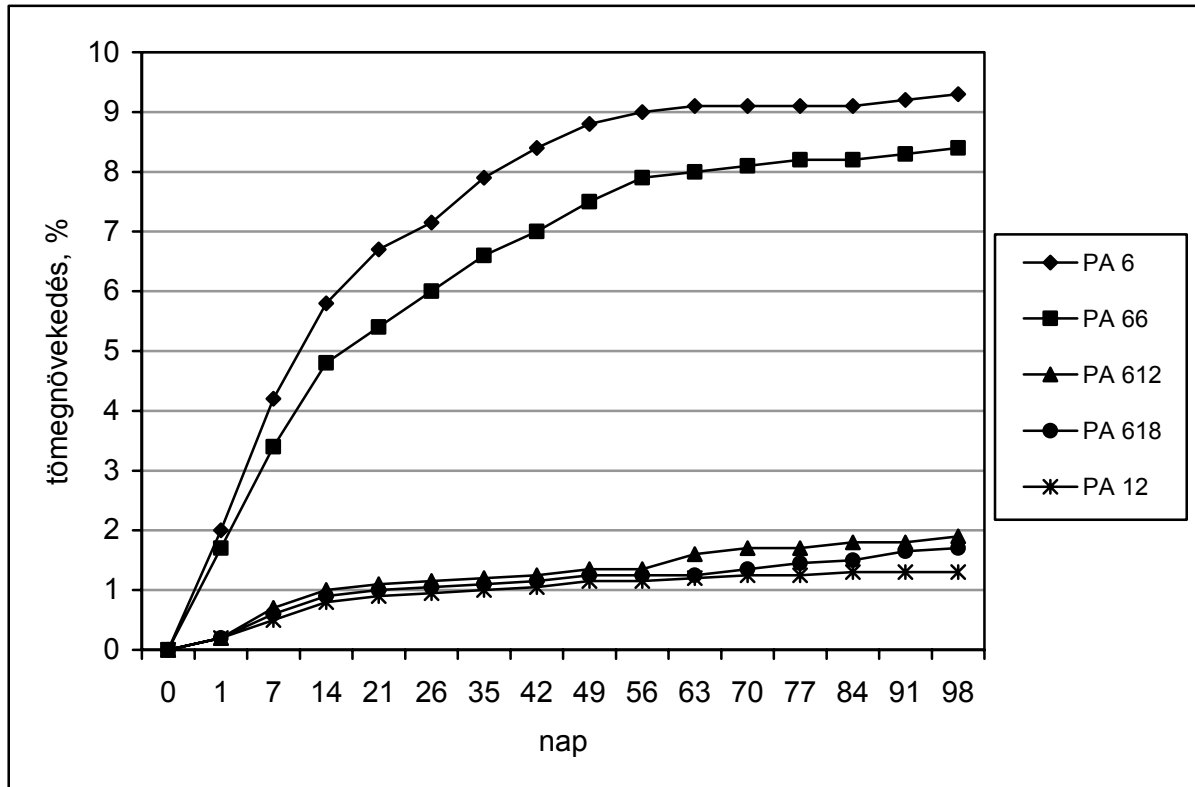
- rövidebb ciklusidő,
 - jobb rekrisztallizáció, azaz újrakristályosodás (ami ugyancsak csökkenti a ciklusidőt),
 - jobb hidegállóság,
 - nagyobb szakadási nyúlás, jobb szakítószilárdság és rugalmassági modulus,
 - jobb átlátszóság,
 - környezetbarát jelleg a megújuló nyersanyagok felhasználása miatt.
- Az említett dikarbonsavakkal a következő típusú anyagok állíthatók elő:
- módosított poliamidok és poliészterek pl. ragasztók, rugalmas csomagolóanyagok, textíliák gyártásához,
 - műszaki poliamidok (pl. PA 69, PA 6618), kopolimerek, terpolimerek, uretánelasztomerek,
 - műszálak,
 - poliészterfóliák.



5. ábra Különböző, hosszú szénláncú dikarbonsavakkal módosított poliamidok olvadáspontja

Különféle poliamidok olvadáspontjai láthatók az 5. ábrán. A C18-as sav beépítésének hatására az olvadáspont 260 °C-ról 200 °C körülire csökken, ami jelentősen megkönnyíti a feldolgozást. A rekrisztallizáció csökkenti a ciklusidőt. A PA 612 kopolimerek nem mutatnak különálló újrakristályosodási csúcsot, mint a PA 618, de egy kb. 15 °C-os hőmérséklet-tartományban lelassul a kristályosodásuk. A PA 618 esetében még nagyobb olvadáspont-csökkenés figyelhető meg a PA 6-hoz képest, mint a PA 612 esetében, az olvadáspont a poliolefinekre jellemző 150 °C-ig is csökkenhet. A különböző PA homo- és kopolimerek vízfelvételét a 6. ábra hasonlítja össze. A hosszabb

szénláncú, hidrofób jellegű karbonsavak beépítése erősen csökkenti a polimerek vízfelvételét. Ezzel csökkenteni lehet a poliamidszálak hidrolízissel szembeni érzékenységét, tehát javítani lehet a belőle készült termékek mosásállóságát.



6. ábra Különböző poliamid típusok vízfelvételi hajlama

A PA 612-vel szemben a PA 618 kopolimerből átlátszó termékek is készíthetők. A PA 12 vagy a PA 612 zavarosabb, legfeljebb áttetsző anyag, a PA 618 vagy a PA 6618 felhasználásával viszont átlátszó termékeket lehet gyártani.

Poliamidötvözet szindiotaktikus polisztirollal

A szindiotaktikus polisztirol (sPS) kellemesen egyesíti a hagyományos (ataktikus) polisztirol kedvező tulajdonságait (jó feldolgozhatóság, kis sűrűség, hidrolízisállóság) a részben kristályos polimerek előnyeivel (hőállóság: az olvadáspont 270 °C, kis vízfelvétel és jó vegyszerállóság). Az sPS azonban az ataktikus polisztirolhoz hasonlóan elég rideg, amit gyakran ötvözéssel próbálnak csökkenteni. Az ötvözés azonban nem mindig egyszerű az alkalmazott

ötvöző polimer esetlegesen hátrányos tulajdonságai miatt. A PA 66-tal végzett kombináció sok előnyt kínálna, mert csökkentené a poliamid hátrányos vízfelvételét és hidrolízisérzékenységet, ugyanakkor megfelelő morfológia esetén javíthatná az sPS komponens szívósságát.

A termodinamikai szempontból összeférhetetlen (inkompatibilis) polimerek kétcsigás extruderben végzett ötvözésekor gyakran használnak *kompatibilizáló kopolimereket (összeférhetőséget javító adalékokat)*. Ebben az esetben maleinsavanhidriddel ojtott sPS-t (sPS-g-MSA kopolimert) alkalmaztak, amely 1,5% MSA módosító anyagot tartalmazott. A kutatók azt vizsgálták, hogy milyen morfológia alakul ki a PA 66 + sPS, ill. a PA 66 + sPS-g-MSA + sPS ötvözetekben.

2. táblázat

A vizsgált PA 66 + sPS ötvözetek összetétele

Sorszám	PA66	sPS	Kompatibilizátor
	% (m/m)	% (m/m)	% (m/m)
1	100	0	0
2	80	20	0
3	80	10	10
4	70	15	15
5	70	20	10
6	60	30	10
7	50	40	10

Az ötvözetek morfológiáját befolyásoló paraméterek feltérképezése érdekében a 2. táblázatban jelzett összetételű rendszereket készítették el. PA 66-ként a **DuPont Zytel EFE 1032**, sPS-ként pedig a **Dow Questra CP QA 101** szintelen változatát használták, a kompatibilizátor pedig a **Kometra GmbH Scona TPSPS 8012 PA** nevű polimerje volt. Mindegyik keverékhez 0,2% *Irganox B 215 antioxidánst* (Ciba) adtak. A kompaundálás során az ilyen típusú kompatibilizátorok kémiai reakcióba lépnek a poliamiddal, az NH-csoport hatására a maleinsavanhidrid felnyílik, majd vízvesztéssel maleinimid jellegű csoport jön létre, ahol az imidcsoport nitrogénjéhez egy PA lánc kapcsolódik. Ilyen módon sPS-PA 66 blokk-kopolimerek jönnek létre, amelyek hatékonyan kompatibilizálják az amúgy összeférhetetlen komponenseket. Ahhoz, hogy ezek a reakciók lejátszódjanak, magas ömledék-hőmérsékletet kell kialakítani (az sPS olvadáspontja 270 °C!), és intenzív ömledék-keveredést kell megvalósítani. A csiga közepe táján 325 °C-os hőmérsékletet kell elérni, amihez több intenzív keverőelemre van szükség.

Az így kialakított ötvözetekből Charpy ütésállósági próbatesteket állítottak elő, és az ISO 179 és az ISO 179 eA szabványok szerint megvizsgálták őket.

A minták morfológiáját transzmissziós elektronmikroszkóppal (TEM) vizsgálták. Ehhez rendkívül vékony (100 nm-nél vékonyabb) mintákat kellett vágni ultramikrotom segítségével. A megfelelő kontraszt kialakításához a PA 66 mátrixot formalinos OsO_4 oldattal, az sPS komponenst pedig RuO_4 -dal kellett „jelölni”. Egyes mikromechanikai vizsgálatokban ún. „félvastag”, 1 μm vastagságú mintákat is használtak, amelyeket egy speciális berendezésben addig deformáltak, amíg látható szerkezeti változást nem mutattak, majd nagy energiájú (1000 keV) elektronsugárral nagy felbontású elektronmikroszkópban vizsgálták őket. Itt azért nem lehetett a 100 nm alatti mintavastagságokat használni, mert azzal már befolyásolták volna a mikromorfológiát és azok elemeinek mechanikai viselkedését (a háromdimenziós mechanikai feszültségeloszlást).

A kompatibilizátort nem tartalmazó 2. számú minta 20% sPS-tartalommal már vágáskor mutatta, hogy igen rossz a tapadás az sPS szemcsék és a PA 66 mátrix között, ezért ebből nem is tudtak ultravékony metszetet készíteni. A diszpergált szemcsék méretének felső határa 20 μm fölött volt, és a PA 66 mátrix szferolitos szerkezete sem változott. A rossz tapadás más ultravékony metszeteken abban mutatkozott meg, hogy a diszpergált szemcsék a vágás során elváltak a mátrixtól. A kompatibilizátor hozzáadásával a maximális szemcseméret 1 μm alá csökkenthető, az átlag pedig néhány 100 nm-re. A PA 66 szferolitos szerkezete ilyen finom diszperzió hatására felbomlik, de a lamellás szerkezet még megmarad. A lamellás szerkezet jelentkezik a diszpergált sPS szemcsék belsejében is. A határfelületi tapadás jelentősen javul, a fázisátmenet az egyébként inkompatibilis anyagok között „fellazul”. A kompatibilizátor, amelyet a diszpergált anyaggal összemérhető mennyiségben alkalmaznak, részben beépül a diszpergált részecskék anyagába.

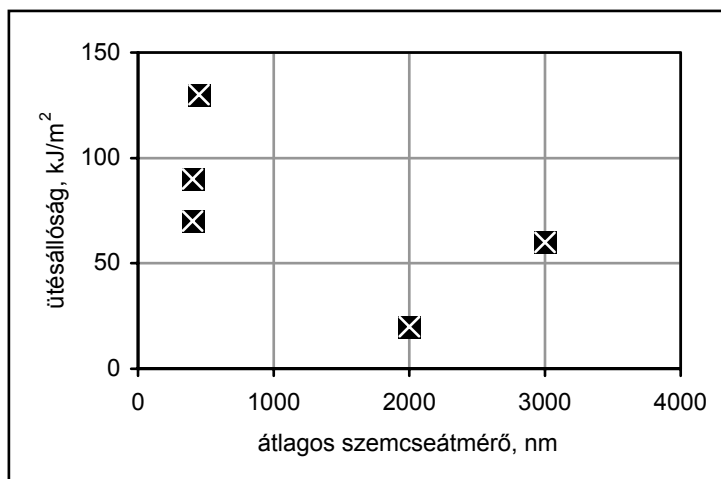
Az ún. félvastag minták deformációjának analízise azt mutatta, hogy a kompatibilizátor jelenlétében a beágyazott szemcsék deformációja a koncentrikus magot és héjréteget tartalmazó részecskékben megfigyelthez hasonló. Ha jó az adhézió, akkor a határfelületen sem elválás, sem repedezés nem mutatkozik. Ez azt jelenti, hogy a határfelület is képes energiafelvételre, tehát hozzájárul a kompozitminta ütésállóságához.

Amint azonban azt a 3. összefoglaló táblázat adatai mutatják, az sPS tartalomnak van egy optimuma: ha túl sok apoláris adalékot adnak a rendszerhez, a kompatibilizátor jelenléte ellenére ismét túl nagy részecskék alakulnak ki, amelyek nem tudnak homogén módon eloszlani a mintában. A diszpergált részecskék átlagos szemcseátmérője láthatóan összefügg az ütésállósággal: minél kisebb a szemcseátmérő, annál jobb az ütésállóság (7. ábra). Lényeges javulás akkor következik be, amikor az átlagos szemcseátmérő 1 μm alá csökken. A méretcsökkenés és a javuló diszperzió egyértelműen a felületaktív hatást gyakorló blokk-kopolimerek kialakulásának a következménye. Ezt támasztják alá a TEM megfigyelések is.

3. táblázat

A kompatibilizált PA 66-sPS ötvözetek morfológiájára és mechanikai jellemzőire vonatkozó összefoglaló táblázat

Jellemző	1	2	3	4	5	6	7
PA 66/sPS/módosító	100/0/0	80/20/0	80/10/10	70/15/15	70/20/10	60/30/10	50/40/10
Ütésállóság, kJ/m ²	85,6	60,7	130,7	90,2	–	101,6	20,2
Ütésállóság hornyolt próbatesten, kJ/m ²	7,5	4,2	7,4	8,65	7,4	6,8	3,9
Legkisebb részecskeméret, nm		250	50	50	50	50	50
közepes részecskeméret, nm		3000	400	400	400	600	2000
Legnagyobb részecskeméret, nm		20 000	1000	1000	700	2000	20 000
Lamellavastagság, PA, nm	3–5	3–5	3–5	3–5	3–5	3–5	3–5
Lamellavastagság, PS, nm			5–8	5–8	5–8	5–8	5–8
Átlagos hosszú periódus, PS, nm			13	13	13	15	
sPS szerkezetek aránya (becsült)				25%	29%		



7. ábra

A hornyolatlan Charpy ütésállóság függése az átlagos szemcseátmérettől kompatibilizáló adalékot is tartalmazó PA 66-sPS ötvözetekben

Ha sikeresen fejlődik be a műanyagötvözet fejlesztése, a PA 66+sPS ötvözet alkalmas lehet a drágább PA 66 + PPO ötvözetek kiváltására az autóiparban.

A fenti példákból látható, hogy annak ellenére, hogy a poliamid nem új műanyag, a módosítási és ötvözési lehetőségek kihasználásával és a feldolgozhatóság további javításával még további jelentős piaci sikerekre számíthat.

Dr. Bánhegyi György

Fischer, M.: Polyamide (PA). = Kunststoffe, 94. k. 10. sz. 2004. p. 90–95.

Roloff, T.; Nagorny, U.; Erkens, U.: Modifikation von Polyamiden. = Kunststoffe, 94. k. 5. sz. 2004. p. 104–106.

Seydewitz, V.; Häussler, L. stb.: Blends aus Polyamid 66 und syndiotaktischem Polystyrol. = Kunststoffe, 94. k. 4. sz. 2004. p. 98–101.

Röviden...

Villamosan vezető, átlátszó fólia

A **Japan Aero Chemica Corp. (JAAC)** az elmúlt időszakban fejlesztette ki a nagy mélységig vákuumformázható, tökéletesen átlátszó, vezető polipirrol-réteggel (felületi ellenállása 10^6 ohm) fedett fóliáját. Elsődleges felhasználása csomagoló tálcák gyártása elektronikus alkatrészekhez (IC, LCD) és vivőszalagok, valamint érintős billentyűk fedése. A formázott fólia mosható, újra felhasználható, és mivel a fedőanyaga nem tartalmaz elemi szenet vagy felületaktív anyagot, nem képződik gáz alakú melléktermék, tehát nem szennyezi a becsomagolt terméket. A JAAC az előzővel azonos tulajdonságú, átlátszó, zöld színű vezető fóliát is kínál.

Készítettek vezetőréteggel fedett, mélyhúzható PET, PS, HIPS és PVC fóliákat, valamint antisztatikus, féligáteresztő, eltarthatóságot növelő PP-fóliát is. Ezek semmilyen környezetben nem veszítik el antisztatikus tulajdonságukat, mivel nem tartalmaznak adalékanyagot, nem kell számolni kivérzéssel vagy ragadóssá váló felülettel.

Színes, tetszetős, villamosan vezető, szállal erősített fröccsanyagokat is forgalmaznak. A fröccsöntött tárgy kopása folyamán sem szennyezi környezetét, vezetőképességét megtartja és nem oxidálódik.

A JAAC ajánlataiban szerepel egy korommentes, áttetsző vezető fólia is, amelyet tálcák, szalagok készítésére használnak világszerte.

A vezető fóliákat félvezetőgyártók, elektronikus alkatrészeket forgalmazók vásárolják.

(Modern Plastics International, 34. k. 9. sz. 2004. p. 114.)

Lézerhegesztés

Optikai, elektronikai és villamos berendezések műanyag alkatrészei között egyre gyakrabban lézeres hegesztéssel létesítenek állandó, szilárd kapcsolatot. A német **ADC** cég autóba épített infravörös távolságmérő készülékéhez szintén lézerhegesztést alkalmaz. Ennél a berendezésnél a nehézséget azt jelentette, hogy úgy kellett rögzíteni a házhoz, a fedélhez és a hordozólaphoz az érzékeny alkatrészeket, hogy azok ez alatt a művelet alatt ne sérüljenek.

A vibrációs és a fűtött szerszám hegesztést eleve kizárták, mert a rezgés vagy a hőhatás káros az alkatrészekre. A ragasztás sem jelentett kielégítő megoldást, mert a kipárolgó gőzök az optikai lencsét támadják meg. A legszelídebb módszer a lézerhegesztés, amelynek további előnye, hogy nem okoz homályosodást, így nem zavarja meg a műszer működését.

Amikor a tervezők kiválasztották a műszerház és a hordozólap anyagát, a **Bayer** cég *Pocan KU 1-7625* jelű PC/PBT keveréket találták a legmegfelelőbbnek. A döntő tényező a hegeszthetőség volt. Előnyként értékelték a műszerház jó minőségű felületét és a hordozólap alaktartását. Az alaplap elgörbülése meghamisítja a rászert optikai lencsék pontosságát. A távolságmérő rendszer hátlapjának át kell engedni az infravörös lézersugarat, hogy lehetővé váljék a mérés. A Makrolon polikarbonát teljesen kielégíti ezt a követelményt. A lézeres hegesztést két lépésben végzik; először a lézersugarat áteresztő fedelet hegesztik az alkatrészeket már hordozó tartólaphoz, amely elnyeli a fényt és hővé alakítja, megolvasztva a kapcsolódó rétegeket. A fedéllel összehegesztett alaplapot behelyezik a műszerházba, és szintén lézerrel rögzítik. Az eredmény egy szilárd, pontos hegesztéssel létrehozott műszer. A fokozott igénybevétel miatt a fedél és a doboz között létrehozott kapcsolatnak különösen tartósnak kell lennie.

Az autó elejébe szerelt műszer kielégíti a vízállósági, a golyós ütési és a vibrációs (20-2500 Hz) szabványvizsgálatok követelményeit.

(Macplas International, 3. sz. 2004. aug. p. 44.)

EGYÉB IRODALOM

Replacement for foil-and-seal packaging. (Hegesztőrétéggel koextrudált többrétegű csomagolóanyag helyettesítése fémbevonatú PP-O fóliával.) = *Plastics Engineering*, 61. k. 3. sz. 2005. p. 6.

Biodegradable polymers for medical devices. (Biodegradálható polimerek orvosi eszközök-höz.) = *Plastics Engineering*, 61. k. 3. sz. 2005. p. 8.