

## 3.2 | Különleges új poliamidok

3.7

*Tárgyszavak: átlátszóság; merevség; nagy modulus; üvegszálás erősítés; szemüvegkeret; napszemüveg; autóalkatrész.*

A hagyományos polimerek fejlesztése folyamatos, és az olyan „ősrégi” műanyagoknak, mint a poliamid, mindig újabb, a korábbiaknál „többet tudó” változatai jelennek meg a piacon. Ilyen új típus a Degussa cég Trogamid CX jelű terméke, amely merev, szívós, és annyira átlátszó, hogy sport- és napszemüveget lehet belőle készíteni. A másik újdonság a Honeywell cég két nagy modulusú PA 6 típusú poliamidja, a Capron HMG 10 és 13, amelynek rövid üvegszállal töltött változata mechanikusan erősen terhelt szerkezetekben helyettesítheti a sokkal drágább poliarilamidot vagy poli(fenilén-szulfid)-ot.

### Átlátszó poliamid optikai célokra

A Degussa cég Trogamid CX jelű poliamidja cikloalifás diaminnél és dodekándisavból épül fel. A monomerek tudatos kombinációjával olyan részlegesen kristályos műanyagot állítottak elő, amely finom kristályszerkezete révén nem szórja a látható fényt, víztiszta, ellenáll az UV fénynek, az átlátszó amorf műanyagokénál sokkal jobb a vegyszerállósága és a feszültségrepedéssel szembeni ellenállása, viszont az amorf műanyagokhoz hasonlóan jók a mechanikai tulajdonságai. Merevsége, szívóssága, deformációt követő visszaalakulási képessége alkalmassá teszi arra, hogy fémmentes filigrán szemüvegkereteket készítsenek belőle, amelyeket féltre allergiás emberek is viselhetnek. Jó optikai tulajdonságai következtében pedig a sport- és napszemüvegek lencséit is elkészíthetik ebből a műanyagból. Az utóbbiak gyártását megkönnyíti, hogy a Trogamid CX nagyon könnyen színezhető tetszőleges színre.

### Nagy modulusú üvegszálás poliamidok

Az eddig előállított, üvegszállal erősített PA 6 típusok üvegszáltartalma legtöbbször legfeljebb 33 % (V/V) volt. A felső határ kb. 50 % (V/V), de bizonyos esetekben még ez sem elég ahhoz, hogy elérjék a kívánt merevséget. A nagyobb merevség iránti igény még inkább megnőtt a hosszú üvegszálás poliamidok megjelenésével, ezek elkészítése és feldolgozása azonban bonyo

lultabb, mint a hagyományos, rövid szál as keverékeké. Ezért nagy a jelentősége az olyan poliamidok kifejlesztésének, amelyeket rövid szállal erősítettek, tehát folyóképességük nem különbözik lényegesen az erősítetlen változatókétól, modulusuk azonban nagyobb. Ilyen poliamid a Honeywell cég Capron HMG10 és HMG13 jelű terméke. Jól használhatók a gázellenyomásos fröccsöntéshez, és igen jó felületminőséget adnak. Eredményesen alkalmazhatók önhordó szerkezetek előállítására, emellett a hagyományos megoldásoknál kisebb vibrációt és zajt okoznak – ami lényeges előny a járműipari alkalmazásokban.

### *A szálerősítés és a mechanikai tulajdonságok*

A legszorosabb illeszkedést feltételezve sem mehet az üvegszáltartalom 50 % (V/V) fölé, ami poliamidok esetében mintegy 70 % (m/m)-nek felel meg. Az erősítőanyag következő tulajdonságai befolyásolják leginkább a késztermék mechanikai jellemzőit:

- az üvegszál átmérője,
- az átlagos szálhosszúság,
- a szálnyújtás mértéke szálgyártáskor,
- a száltartalom (tömeg- vagy térfogattört),
- a szálak felületi minősége,
- a szál és a mátrix közötti kötés erőssége,
- az üvegszálak orientációja és annak eloszlása a minta erősen terhelt részeinek teljes keresztmetszetében.

Ahhoz, hogy nagyobb legyen a szállal erősített hőre lágyuló műanyag szakító- vagy hajlítószilárdsága, keménysége, merevsége vagy ütésállósága, az üvegszál és a polimer mátrix közti határfelületen (a fázisátmenetnél) jó tapadást kell kialakítani, valamint gondoskodni kell arról, hogy minél kevésbé csökkenjen a szálhossz a feldolgozás folyamán. A fázisátmenetnek alapvető jelentősége van a fröccsöntött próbatestek hosszú távú mechanikai viselkedése szempontjából. A műanyagömladék nagy viszkozitása megnehezíti az üvegszálak bekeverését, ill. egyenletes eloszlását az összedolgozás és a fröccsöntés folyamán. A nagy modulusú, Capron típusú poliamidból készült, erősített minták folyóképessége mégis hasonló a töltetlen standard PA 6 típusokéhoz, és akár 20%-kal is jobb lehet, mint a hasonló üvegszáltartalmú erősített PA 6 típusoké. Ennek eredményeként rövidek a fröccsöntési ciklusidők, és kisebb a maradék feszültség a termékben, javul a felületminőség – anélkül, hogy romlanának a mechanikai jellemzők.

### *A szálátmérő hatása a mechanikai tulajdonságokra*

A polimerek erősítésére használt üvegszálak átmérője általában 8–25  $\mu\text{m}$ , a poliamidok esetében azonban ez az érték általában legfeljebb 9–10  $\mu\text{m}$ .

Irodalmi adatok szerint a 30% rövid E-üvegszállal erősített PA 66-ban a szálatmére a 10–17 µm tartományban alig van hatással a tulajdonságokra; a szakadási nyúlás, a szakító- és a hajlítószilárdság mindössze 5–10%-kal, a hornyolt próbatestenen mért ütésállóság is csak kismértékben csökken (1. táblázat). A tulajdonságromlás nagyrészt kompenzálható, ha 20%-ban S2 üveget használnak E-üveg helyett.

1. táblázat

A szálatmére hatása a 30 %(m/m) üvegszálat tartalmazó PA 66 tulajdonságaira. (10, 14, 17 µm átmérőjű E-üvegszál, ill. S2 üvegszál; E, ill. S2 az üveg összetételét jelöli.)

Jellemzők	Egység	E10	E14	E17	E17 + S2S (80/20)
Szakítószilárdság	MPa	184	174	164	173
Húzómodulus	GPa	9,73	9,55	9,50	9,66
Szakadási nyúlás	%	2,83	2,70	2,49	2,75
Hajlítószilárdság	MPa	287	270	249	261
Hajlítómodulus	GPa	9,20	9,29	9,01	9,14
Ütésállóság (hornyolatlan próbatestenen)	J/m	979	775	568	805
Ütésállóság (hornyolt próbatestenen)	J/m	130	135	139	134

2. táblázat

A szálatmére hatása az üvegszállal erősített, ütésálló PA 6 tulajdonságaira

Üvegszáltartalom	%(m/m)	25	25	35	35
Ütésállóságot javító adalék	%(m/m)	10	10	5	5
Szálatmére	µm	10	13	10	13
Szakítószilárdság	MPa	112	121	125	145
Hajlítószilárdság	MPa	167	199	181	254

A továbbiakban 25, ill. 35% 10 és 13 µm átmérőjű rövid üvegszállal erősített PA 6-ban vizsgálták az üvegszáltartalom és az ütésállóságot javító adalék együttes hatását a mechanikai tulajdonságokra (2. táblázat). Itt egyértelműen a nagyobb átmérőjű szállal kaptak jobb eredményeket, ami ellentmondani látszik a PA 66-tal kapott adatoknak. Mivel sem a szakirodalom adatai, sem az itt bemutatott eredmények nem voltak egyértelműek, további vizs-

gálatokat végeztek a szálátmérő hatásának kiderítésére erősen töltött [50 (%m/m) üvegszáltartalmú] HM-sorozathoz tartozó poliamidokkal. Itt 10, 13 és 16  $\mu\text{m}$  átmérőjű szálakat használtak. Mint az a 3. táblázatból látható, a szilárdsági értékek csökkennek a szálátmérővel, míg az ütésállóság kevésbé változik. Ennek alapján a HM-sorozatú poliamidokban a legcélszerűbbnek a 10  $\mu\text{m}$  átmérőjű szálak alkalmazása tűnik.

3. táblázat

A szálátmérő hatása rövid üvegszállal erősített nagy modulusú PA 6 (HM-PA) mechanikai tulajdonságaira

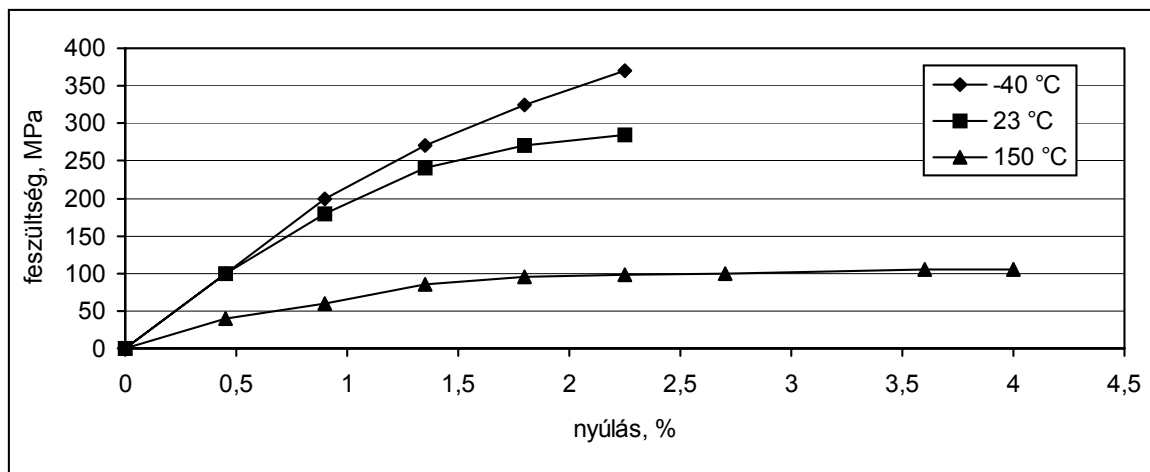
Szálátmérő	$\mu\text{m}$	10		13		16	
Üvegszáltartalom	%(m/m)	50	63	50	63	50	63
Szakítószilárdság	MPa	224	248	203	232	197	223
Hajlítószilárdság	MPa	337	407	313	346	301	337
Rugalmassági modulus	GPa	14,0	19,1	13,5	17,7	13,6	18,0
Ütésállóság (hornyolatlan próbatesten)	J/m	1240	1230	1016	1069	947	1016
Ütésállóság (hornyolt próbatesten)	J/m	133	139	121	139	129	134

#### *A mechanikai jellemzőket befolyásoló egyéb tényezők*

A szálerősítésű fröccsöntött tárgyak mechanikai tulajdonságaira az egyéb tényezők a következő módon hatnak:

- az üvegszáltartalom és a szakítószilárdság között lineáris összefüggés van,
- a növekvő száltartalommal nő az ütésállóság is a szálak közti erősebb kölcsönhatás miatt,
- a szálhossz a kezdeti 4,7 mm-ről 0,4–0,2 mm-re csökken,
- az átlagos szálhossz fordítottan arányos az üvegszáltartalommal.

A szálhossz változását mikroszkópos felvételeken vagy elhamvasztott mintákon, képanalízissel lehet megállapítani. A szálorientáció mértékét a fröccsöntött próbatestek keresztmetszeti felvételein lehet tanulmányozni. Magasabb hőmérsékleten az erősítő hatás még kifejezettebb, mint szobahőmérsékleten, ami a mátrixpolimer viszkoelasztikus tulajdonságainak megváltozására vezethető vissza (1. ábra). Az erősítő üvegszálak hossz/átmérő aránya egyre csökken a növekvő üvegszáltartalommal: 20%-nál 35:1, 35%-nál 28:1, míg 50%-nál már csak 20:1. Elméleti vizsgálatok szerint az ún. kritikus szálhossz alatt az erősítő hatás nő a szálhosszal, majd kb. 400:1 hossz/átmérő viszonynál megközelít egy aszimptotikus értéket. Ez már hasonló a végtelen szálas erősítéshez.



1. ábra A környezeti hőmérséklet hatása a nagy modulusú Capron HGM13 mechanikai jellemzőire. (A minta száraz és natúr színű.)

#### A szokásos és a nagy modulusú poliamidok összehasonlítása

A gyakorlati alkalmazás körülményeihez közelítő vizsgálatok között vannak rövid és hosszú időtartamú terhelések, kopási vizsgálatok stb. A rövid időtartamú vizsgálatokat elsősorban a nyersanyag és a késztermék minőségellenőrzése céljából végzik.

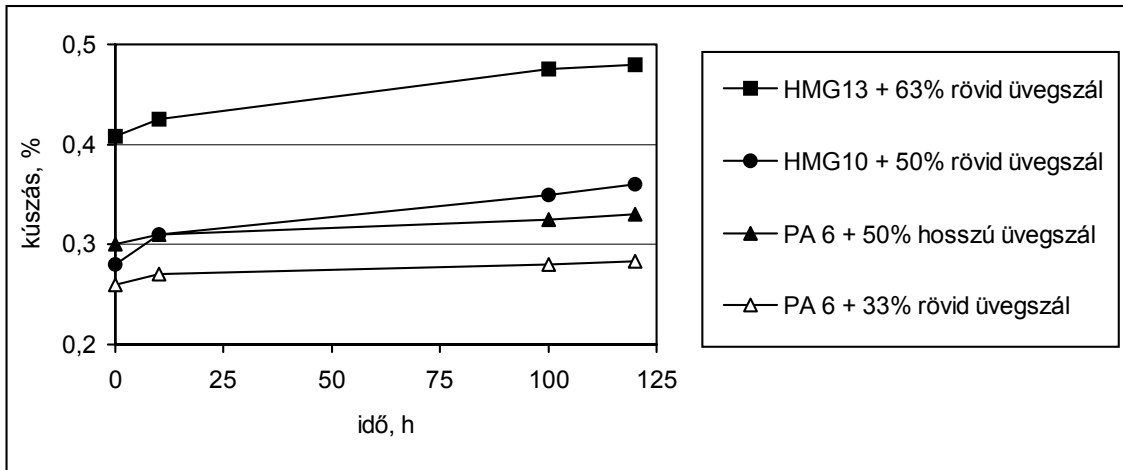
Az 50 és 63% rövid üvegszálal tartalmazó nagy modulusú minták rövid időtartamú mechanikai terhelésekor kapott jellemzők egy 50% hosszú üvegszállal erősített, hagyományos poliamidéival összehasonlítva a 4. táblázatban láthatók. A különbségek minimálisak.

4. táblázat

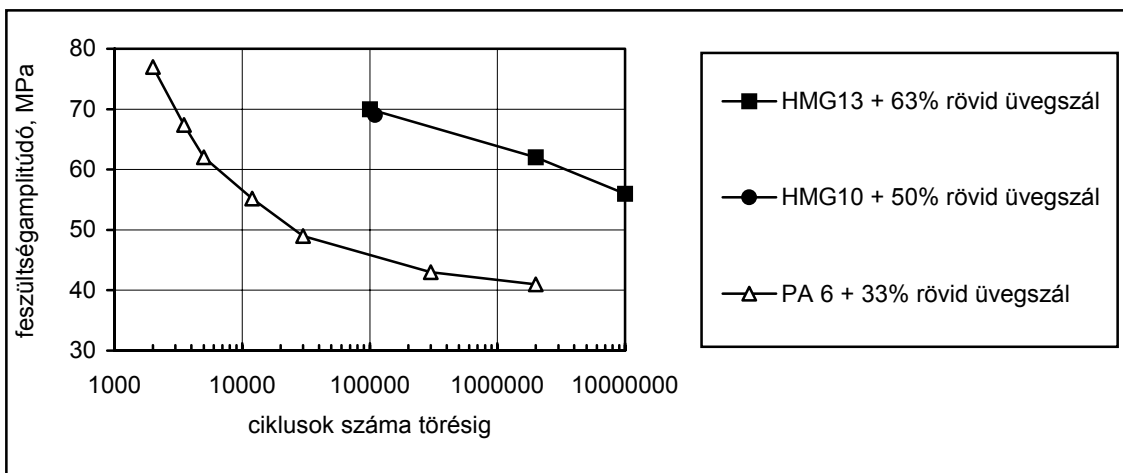
Capron HM termékek és egy hosszú szállal erősített PA6-LGF kompozit rövid idejű terheléssel mért (sztatikus) mechanikai jellemzői

Jellemző	Egység	HMG10	HMG13	Standard PA6
Erősítőanyag		rövid szál	rövid szál	hosszú szál
Száltartalom	%(m/m)	50	63	50
Sűrűség	g/cm <sup>3</sup>	1,56	1,74	1,56
Szakítószilárdság	MPa	262	280	248
Húzómodulus	GPa	17,4	22,4	17,2
Szakadási nyúlás	%	2,72	2,27	2,11
Hajlítómodulus	GPa	13,8	18,5	15,2
Hajlítószilárdság	MPa	326	370	365
Nyomószilárdság	MPa	234	262	228
Nyomómodulus (3%-os deformációnál)	GPa	20,2	20,8	20,3

A hosszú időtartamú vizsgálatokat azért végzik, hogy meg lehessen jósolni a fröccsöntött próbatestek viselkedését tartós terhelés hatására, különböző hőmérsékleteken. A 2. és 3. ábra ilyen tartós terhelési vizsgálatok eredményeit mutatja, amelyekben láthatók a nagy modulusú üvegszálal erősített PA 6 minták előnyei a hagyományos PA 6 kompozitokkal, ill. a hosszú üvegszállal erősített mintákkal szemben.



2. ábra Az üvegszál-erősítés hatása a tartós terhelés hatására bekövetkező kúszásra 23 °C-on



3. ábra Üvegszállal erősített nagy modulusú és szokásos poliamidok hosszú időtartamú dinamikus terhelés hatására bekövetkező törése (élettartama) a terhelési ciklusok számának függvényében

Az üvegszállal erősített műanyagok felülete általában viszonylag durva, nagy a súrlódási tényezője, ezért jobban ki van téve a kopás veszélyének. A

nagy modulusú poliamidok súrlódása kisebb, mert a nagyobb folyóképesség miatt a mátrix a szálakat jobban átítatja. Ennek eredményeként simább és fényesebb lesz a felület. A Capron HM termékek sztatikus súrlódási tényezője 0,24, dinamikus súrlódási tényezője 0,26 csúsztató adalék nélkül is.

### *A hegesztési és összezapási varratok szilárdsága*

A hegesztési és összezapási varratok geometriája igen hasonló. A hegedési varrat nagysága függ a hegesztőzsinór geometriájától is. Hossza megegyezik a hegesztett kontúr hosszával, vastagsága a hegesztőzsinór legkeskenyebb dimenziójával. A rövid üvegszállal erősített HM-poliamidok varratszilárdsága kisebb, mint más töltött vagy erősített poliamid típusoké, de nem rosszabb, mint a töltetlen poliamidoké, sőt annál valamivel jobb is. Ez az adott rendszer folyási tulajdonságaival magyarázható. A varratszilárdság is lényegesen jobb, mint a hasonló mennyiségű hosszú üvegszálat tartalmazó PA 6 rendszereké.

A natúr és színes Capron HM típusokat mechanikai tulajdonságaik elsősorban erős mechanikai igénybevételnek kitett autóalkatrészek (pl. akkumulátortálca, kuplungpedál, kapcsolóalkatrészek, kábelcsatornák, ajtófogantyú, záralkatrészek stb.) gyártására teszik alkalmassá, de sokféle sport- és villamosipari termék is készíthető belőle.

**(Bánhegyiné dr. Tóth Ágnes)**

Gut sehen und aussehen. Transparentes Spezial-Polyamid. = Plastverarbeiter, 53. k. 3. sz. 2002. p. 62.

Kagan, V. A.: Hochmodulige Polyamide. = Kunststoffe, 91. k. 12. sz. 2001. p. 66–69.