

## **Innovációk: bazaltszállal erősített biopoliamid és szénszállal erősített PTFE kompaundok**

A chemnitzi egyetem kutatói bazaltszál erősítésű poliamidot fejlesztették ki, amelyet sikeresen alkalmaztak ipari célokra is. A poli(tetrafluor-etilén) kompaundoknál problémát okoz az adalék és a mátrix közötti rossz adhézió. Szén mikroszálakat tartalmazó adalékkal sikerült az adhéziót növelni.

*Tárgyszavak: műanyag kompaundok; bazaltszál; biopoliamid; PTFE;  
szén; mikroszál; adhézió; tömítések.*

Rendkívül nagy az erősítő- és töltőanyagot tartalmazó műanyagok választéka, de továbbra is intenzív a fejlesztés ezen a területen is. A fejlesztések célja egyrészt a tulajdonságok optimalizálása a megcélzott alkalmazásnak megfelelően, másrészt a fenntarthatóság növelése.

### **Bazaltszállal erősített biopoliamid**

A bazaltszál erősítésű poliamidot a chemnitzi egyetem kutatói fejlesztették ki egy elektromos alkatrészeket gyártó céggel együttműködve. A vulkanikus eredetű bazaltszálát 1450 °C feletti hőmérsékleten olvasztásos szálgyártással állítják elő. *A bazaltszál húzó- és nyomószilárdsága, merevsége nagyobb, mint az üvegszálé.* Hőálló, valamint ellenálló a savakkal, bázisokkal és a korrózióval szemben. Kiemelkedő a rezgés-csillapító hatása. Mivel számos területen használják már, gyártása és ezzel együtt a hozzáférhetősége is folyamatosan növekszik.

Biobázisú poliamid a PA1010, amelyet ricinusolajból állítanak elő. A PA1010 biopoliamid tulajdonságai megfelelnek a műszaki alkalmazásokban használt PA6 és 66 tulajdonságainak, és a kisebb nedvességfelvétel miatt a tulajdonságok kevésbé érzékenyek a klímára. Egyelőre a PA1010 széleskörű alkalmazására még nem került sor. Ennek oka elsősorban az ára, de még hiányoznak az alkalmazás szempontjából fontos vizsgálatok is.

A fejlesztési projektben az új kompaundot egy viszonylag nagyméretű hengeres kapcsolóelem gyártásához használták, amely a kommunális gáz- víz és szennyvízhálózatok földalatti működtető egységének alkatrésze. A hengeres kapcsoló elem belseje egy cinköntvény, amelyet körülvesz a szál erősítésű műanyagköpeny. Ennek feladata a korrózió és a kopás elleni védelem. Ezen kívül megakadályozza az alkatrész befagyá-

sát és elektromosan is szigetel. A köpeny anyagaként a fenti követelményeket figyelembe véve a 20% bazaltszálat tartalmazó PA1010 kompaundot találták optimálisnak. A projekt részeként ennek a kompaundnak a tulajdonságait vizsgálták a hagyományosan használt hosszú vagy rövid üvegszállal erősített poliamidokkal összehasonlítva.

A megcélzott funkcióknak megfelelően elsőként a torziós igénybevétellel szembeni ellenállást vizsgálták. A PA1010 BF 20% bazaltszálat tartalmazó kompaunddal elérhető maximális forgatónyomaték 427 Nm, ami a 60% hosszú üvegszálat tartalmazó PA66-tal mérhető, 532 Nm és a 30% rövid üvegszálat tartalmazó PA6 371 Nm értéke közé esik. *Vagyis az új kompaund teljes értékű alternatívája a korábban használt típusoknak.*

A fejlesztés második lépéseként az előállítási technológia optimális paramétereinek meghatározása következett. Alapanyagként kereskedelmi termékeket használtak. A PA1010 az Evonik Industries AG terméke, a *Vestamid Terra DS 16* volt. Bazalt szálat kétféle formában is használták, vágott szálként vagy végtelen roving formájában. Több típus megvizsgálása után a német Incotology GmbH 2400 dtex rovingját és vágott szálat választották, amelyeket a cég kifejezetten a poliamidhoz fejlesztett ki és felületi kezeléssel ajánl.

A kompaundálást egyirányban forgó kétcsigás extruderben végezték, amelyben három helyen lehetett beadagolni a bazalt szálat: vagy a csiga elején vagy a csiga mentén két helyen. A kísérletek szerint a vágott szálnál a volumetrikus adagolással jól lehetett tartani a megcélzott szálarányt, és ez nem függött attól, hogy hol történt a beadagolás. A roving adagolásánál azonban az elért szálkoncentráció nagymértékben függött a beadagolás helyétől.

A 10%-os arányt rovinggal egyáltalán nem sikerült megvalósítani, a magasabb koncentrációknál a csiga elején történő beadagolás esetén 20% helyett 11,8, 30% helyett 18,99%-ot mértek a kompaundálás után. Ennek az az oka, hogy ekkor a granulátum még nincs ömledék állapotban, ezért a szálak megcsúszhatnak a csigán, ami a roving adagolásának szaggatottságához vezet. Feltételezik, hogy a granulátum szállítása érdekében alkalmazott csigaelemek a roving adagolása szempontjából éppen kedvezőtlenek. A későbbi, az ömledékbe történő adagolásoknál is van eltérés, de ez lényegesen kisebb: 20%-nál 17,66, illetve 17,48%, 30%-nál 26,25, illetve 26,23% szálkoncentrációt mértek.

1. táblázat

A szálhossz és a modulus változása a beadagolás változtatásának hatására

Adagolás	Csiga eleje		Oldalról 1		Oldalról 2	
	Szálhossz mm	E-modulus MPa	Szálhossz mm	E-modulus MPa	Szálhossz mm	E-modulus MPa
10% szál	259	1980	284	2030	604	2720
20% szál	245	2640	347	3790	588	4300
30% szál	216	3700	350	5420	482	6150

*A beadagolás helye azonban minden esetben egyértelműen befolyásolja a kompaundban a szálak hosszúságát és ezáltal a kompaund mechanikai tulajdonságát. A szálak hosszúságát a kompaund pirolízise után mérték. Az égetés után visszamaradt hamut egy megfelelő folyadékban diszpergálták, majd szkennelték, és a felvételt digitálisan értékelték. A vizsgálathoz a német IDM Systems Fasep 3E Eco rendszerét használták. Kompaundonként a kiértékelést 13–15 000 szál alapján végezték. A várakozásoknak megfelelően adódott, hogy minél később kerül a szál az extruderbe, annál kisebb a száltörés, és nagyobb a maradó szálhossz. Ezzel együtt a mechanikai tulajdonságok is változnak, ahogy ez az 1. táblázatban jól látható.*

## **Erősített PTFE kompaund mechanikai tulajdonságainak javítása**

A poli(tetrafluor-etilén) – PTFE, vagy a módosított PTFE kompaundok hosszú idő óta a kiemelkedően nagy teljesítményű műanyagok közé tartozik. A keménység, a nyomószilárdság, a hővezetési és elektrosztatikus tulajdonságok tovább javíthatók erősítő vagy töltőanyagok hozzáadásával. A PTFE kémiai tulajdonságai miatt azonban rossz az adhézió a mátrix és a töltőanyag között, ami elsősorban a húzási tulajdonságok romlásában nyilvánul meg. Ez nemcsak a későbbi használat során, de már a formázás során is problémát okoz. A rossz tapadást különböző adalékokkal próbálják javítani, de sok esetben az elérhető javulás csekély, és az adalékanyag nehezíti a feldolgozást.

A fluortartalmú polimerek és az azokhoz használt adalékok gyártásával foglalkozó Dyneon GmbH (a 3M leányvállalata) egy újfajta adalékkal jelentősen növelni tudta az általa gyártott módosított PTFE kompaundokban a töltőanyag és a polimer közötti adhéziót. *Az új adalék szén mikroszálakat tartalmaz, amelyek hossza 60 µm, átmérője 13 µm. Ezt adagolták a 10% szénszálat tartalmazó módosított PTFE termékükhöz, a TFM 3262 típushoz. Az új adalékot tartalmazó kísérleti PDR 015/310 jelű termék tulajdonságainak vizsgálata igazolta az adalékanyag pozitív hatását. Megállapították, hogy a kísérleti termék sűrűsége 2,11 g/cm<sup>3</sup> az ugyanolyan összetételű termék 2,06 g/cm<sup>3</sup> értékével szemben. Ez egyértelműen bizonyítja, hogy kisebb a mátrixmolekulák és a töltőanyag közötti szabad tér a köztük levő tapadás erősítésének köszönhetően.*

A két kompaund erő-nyúlás diagramja azt mutatja, hogy egészen 350% nyúlásig a kísérleti termék húzószilárdsága jelentősen felülmúlja a standard termékét. A szakító szilárdság és a szakadási nyúlás is egyértelműen nagyobb. Széles hőmérséklet-tartományban (–50 °C–300 °C) vizsgálták a komplex rugalmassági modulust (E\*) szinuszos ciklikus terhelésben. A kísérleti termék modulusa valamennyi hőmérsékleten az összehasonlító termék értéke felett van. Az előbbieknél is jelentősebb javulást mértek a nyomó igénybevétellel szemben, aminek nagy jelentősége van a tömítéseknél, ami a PTFE kompaundok fő alkalmazási területe. Különböző hőmérsékleteken vizsgálták a 100 órás, 15 Mpa nyomás után 24 órával mérhető maradék deformációt. Azonos mennyiségű erősítő szál esetén, valamennyi hőmérsékleten kisebb maradék deformációt mértek a kísérleti adalékot tartalmazó termékénél.

A kísérleti terméket nemcsak a vele azonos mennyiségű (10%) szénszálat tartalmazó kompaunddal hasonlították össze, hanem az alkalmazhatóság bemutatása érdekében fontos összehasonlító méréseket végeztek a cég 25% szénszállal erősített termékével is.

Megállapították azt is, hogy a hidegfolyás szempontjából a kísérleti termék a teljes hőmérséklet-tartományban, vagyis 150 °C-ig egyenértékű a 25% szénszálat tartalmazó *TFM 4215* jelű kompaunddal. Ez azt is jelenti, hogy az új adalékanyag alkalmazásával kevesebb erősítő szállal is elérhető a kívánt mechanikai tulajdonságok. Ennek jelentősége az, hogy így kevésbé jelentkeznek a töltőanyagok beviteléből adódó hátrányok, pl. a vegyszerállóság és a húzószilárdság csökkenése, valamint a súrlódási állandó növekedése.

A Dyneon cég meglévő típusaival, a 10% szénszálat tartalmazó *TFM 3262*, és a 25% szénszálat tartalmazó *TFM 3215* típusokkal végzett összehasonlító vizsgálat sorozatban a húzási tulajdonságokat és a kopási viszonyokat vizsgálták. Az új adalékot tartalmazó *PDR 015/310* jelű kísérleti termék minden vizsgált tulajdonságban felülmúlta mindkét meglévő terméket. A tömítések élettartama szempontjából fontos kopási sebesség ( $\text{mm}^3/\text{Nm}$  – *ASTM-D 3702* szerint mérve) mindössze harmada a 10% szénszálat tartalmazó standard termékének. A kísérleti terméknél kapott meglepetésszerűen kedvező értéke is bizonyítja, hogy az új adalék hatásosan köti a szálrészecskéket a mátrixhoz.

A kísérleteket az új adalékkal a cég más PTFE kompaundjaira is kiterjesztették. Különösen jó eredményeket kaptak a cég *TF 8615* jelű termékénél, amely egy módosítatlan PTFE, 30% bronzporral és 10% szénszállal. Az új termékeknek nagy jelentőségük van az extrém magas követelményeket támasztó területeken, elsősorban a tömítéseknél. A magas követelmények részben a berendezés vagy a gép működéséből (tengelytömítések, magas fordulatszám stb.), részben a külső körülményekből (mélytengeri fűróberendezések, vegyszerek, hosszú élettartamra tervezett járművek) adódnak. A cég az új adalékanyag felhasználásával további javított tulajdonságú PTFE kompaundok fejlesztését ígéri a közeljövőben.

Összeállította: Máthé Csabáné dr.

Tautenhain, F., Buschbeck, S., Reichelt, C., Rinberg, R., Kroll, L.: Bio für die Technik = Kunststoffe, 109. k. 1. sz. 2019. p. 67–70.

Beul, G., Veendeldaal, R., Schlipf, M.: Starker Zusammenhalt = Kunststoffe, 108. k. 11. sz. 2018. p. 90–93.