

## Innovatív poliamidokkal szélesedik a fémek helyettesítése

Jelen cikk két vezető cég, a Lanxess és a BASF poliamid termékcsaládjainak fejlesztését, a legújabb Durethan és Ultramid típusokat mutatja be. A folyamatos fejlesztéssel egyre szélesedik a fémek helyettesítése poliamidokkal.

*Tárgyszavak: műszaki műanyagok; poliamidok; autóipar; körkörös gazdaság; fémek helyettesítése; hegeszthetőség.*

### A poliamidok termelése és felhasználása

A poliamidok világtermelése 2019-ben a Wood Mckenzie piackutató cég szerint 8,3 millió tonna volt. Ennek mintegy negyede volt PA66, 2,1 millió tonna. Ennek több mint felét kompaundok gyártására használták. A PA66 harmadából műszaki célú fonalat gyártanak, a maradékból pedig textilszálat, szőnyegfonalat és fóliát. Éppen fordított a helyzet a PA6-nál, ahol a mennyiség nagyobb részét, kétharmadát a szálgyártás használja, főleg textilcélokra. A maradék egyharmad a kompaundok és a többrétegű fóliák között oszlik meg.

*A poliamid alapú kompaundok felét 2019-ben az autóipar használta fel.* Az alkalmazás tekintetében a második helyen az E&E (elektromos és elektronikai) ipar áll, amely az összes poliamid kompaund harmadát használja fel. 2020-ban a járvány miatt visszaesett az autóipar, és vele együtt a poliamidok világtermelése is 7,4 millió tonnára csökkent. 2021-re azonban már ismét a 2019-es szint elérését vagy kismértékű meghaladását prognosztizálják.

A Wood Mckenzie 2020 és 2025 között a poliamid felhasználás évi 2% növekedésével számolt. Jelenleg azonban nehéz megbízható előrejelzést adni, hiszen biztosat még nem lehet tudni a járvány lecsengéséről. Az is bizonytalan, hogy tovább tartanak-e a PA66 alapanyagánál, az adipinsavnál mutatkozó ellátási nehézségek. Végül, de nem utolsósorban, a poliamidoknál is napirenden van klíma- és környezetvédelem, az erőforrásokkal való takarékoság, valamint, a gazdasági előnyöket is kínáló körkörös gazdaság kialakítása. A Lanxess cég (amely a Bayer műanyag üzletágát viszi tovább) 2040-re tűzte ki a klímasemlegesség elérését, és ezt természetesen már most szem előtt tartja a fejlesztéseibenél.

A PA66-nál mutatkozó ellátási nehézségek miatt a korábbinál is jobban előtérbe került a PA66 helyettesítése PA6 kompaunddal. A fő kérdés a hőállóság, a szilárdság, amely a PA66-nál eredendően jobb, mint a PA6-nál. Ugyanakkor előnyöket is jelent a PA6, amelynek jobb a feldolgozhatósága, és előnyösebb az öregedés, a felületi minőség és a hegeszthetőség tekintetében.

## A különböző hegesztési technológiákhoz optimalizált típusok

A hegeszthetőség az utóbbi időben egyre fontosabb lesz, mivel a motortéri alkatrészek formája egyre komplexebb a rendelkezésre álló tér csökkenése és egyre újabb funkciók integrálása következtében. *A PA6 kompaundok általában könnyebben, szélesebb hőmérséklet-tartományban hegeszthetők.*

A poliamid kompaundoknál az utóbbi időben a *lézersugaras hegesztést* használják. Ezzel többek között jó minőségben tudnak házakat készíteni a kényes elektronikai elemek, szenzorok, stb. számára. Ma már minden kompaundáló cég választékához hozzátartoznak a lézeres sugarakat átengedő típusok. Ilyen például a Lanxess 30% üvegszálat tartalmazó *Durethan BKV30XWPLT* PA6 típusa, amely 4 mm vastagságig jó minőségben hegeszthető. Az IR-lézer transzparens típust natúr szín mellett feketében is kínálják. Ennek fejlesztése és gyártása kifejezetten igényes, mivel már a legkisebb szennyeződések is rontják az IR-áteresztést és ezáltal a hegesztési folyamat biztonságát. A DuPont hasonló PA66 típusa a *Zytel LT70G35EF*. Nehezebb az egyszerre lángálló és lézertranszparens típusok kifejlesztése, mert az éghetőséget csökkentő adalékok általában rontják a lézertranszparenciát. A Lanxess lángálló és lézertranszparens típusai: *Durethan AKV0FN04LT* (PA66) és a *Durethan BKV0FN04LT* (PA6), amelyek 0,4, illetve 0,75 mm falvastagságig teljesítik az *UL-94* kritériumait.

A lézeres hegesztés mellett alkalmazzák a *vibrációs és a fűtőelemes* hegesztést. Erre a módszerre optimalizált típus a *Durethan BKV30XWPHV*. Ennek a PA6 kompaundnak a jellemzői: a kisebb kristályosodási sebesség, a nagyobb ömledékszilárdság és a kisebb ragadás a forró felületekhez, ami kedvező a vibrációs és a fűtőelemes hegesztéshez.

## Speciális, javított tulajdonságokkal bíró típusok

A *hőálló Durethan BKV30XWPXT* és a *BKV35XWPXT* PA6 alapú kompaundok 200 °C-ig alkalmazhatók tartósan anélkül, hogy a hegesztések szilárdsága csökkenjen. Ezeket a típusokat a motortérben a légvezetékekben és az olajrendszerben használják. 200 °C feletti hőmérsékletekre a PA66 alapú *AKV30XWPXT* típust javasolják.

A hűtőkörökben alkalmazott anyagoknál fontos követelmény a *hidrolízissel szemben* tanúsított ellenállás. A PA6 kompaundok hidrolízissel szembeni ellenállása kisebb, mint az azonos PA66 típusoké. Egyelőre laboratóriumi kísérletekben sikerült 35% üvegszáltartalommal a 30% üvegszálal PA66 kompaunddal azonos hidrolízisállóságot elérni. Ez a PA6 alapú kompaund 125 °C-ig a PA66 kompaund alternatívájaként használható.

Nagy és növekvő az igény a hővezető poliamidok iránt az elektromobilitás, a digitalizálás és a miniaturizálás területén. Az ilyen kompaundoknál a fejlesztők igyekeznek a drágább bórnitrid (BN) helyett a hővezetést olcsóbb ásványi adalékokkal elérni. A hővezető kompaundoknál a célérték 1–2 W/mK, amely általában elég a használat közben fellépő csúcshőmérsékletek hatékony csökkentéséhez. A cég a hővezető kompaundok fejlesztésénél arra koncentrált, hogy megtartsa és optimalizálja az ásványi anyagot tartalmazó kompaundok jó folyóképességét és feldolgozhatóságát. A közelmúltban került a piacra két új hővezető kompaund, a *Durethan BTC67ZH3.OEF* és a *BTC77ZH3.OEF*, amelyek a korábbi hővezető típusokat lényegesen felülmúlják az ütésállóság tekintetében. Nagyobb a deformálhatóságuk a húzó és a hajlító igénybevételnél, vagyis a belőlük készített alkatrészek jobban bírják a terhelést törés nélkül.

Az elektrokorrózió elkerülése érdekében egyre több felhasználási területen keresik az *alacsony, 100 ppm alatti halogenid ion koncentrációval* rendelkező típusokat. A *Durethan* típusok között a *H3.0* és az *XTS3* típusú hőstabilizátorokat tartalmazó típusok már kielégítik ezt a követelményt, de ezen felül a Lanxess *LHC* (low haloid content) jelzéssel új termékcsoporthoz is fejlesztett. Ennek első tagja a jó folyóképességű *Durethan BKV30H3.OEF.DUSLHC*, ezt követte két ugyancsak *LHC* lángálló típus, mindkettő szintén *PA6* alapú. A Lanxess mellett természetesen a konkurens *BASF* és az *Akroplastic* cégek is rendelkeznek hasonló típusokkal.

## Speciális feldolgozási technológiák

A műanyag és a fémlemez kombinációja, a *hibridtechnika* ma már standard eljárás a nagyméretű szerkezeti elemek, például a gépkocsik homloklemezének gyártására. A Lanxess cég újabb speciális eljárást fejlesztett ki, ahol a műanyagot üreges fémprofillal építik össze. Az új *HPH* (*Hohlprofilhybridtechnik*) eljárás bemutatására egy műszerfalat tartó elemet gyártottak, amely az eddigi klasszikus hibrid eljárásoknál jobb terhelhető, és az utómunkálatok feleslegessé válásával mindössze 70 s ciklusidővel gyártható. A hibridkonstrukció a tisztán acélkonstrukcióhoz képest 20–30% súlymegtakarítást tesz lehetővé. A *HPH* eljárásban előállítható fém-műanyagkötések torziós szilárdsága és merevsége olyan nagy, hogy például a kormányoszlop felfüggesztésekor alig lép fel rezgés, ami lehetővé teszi rezgésérzékeny elemek beépítését is.

Az autópárhazban egyre bővül a Lanxess által kldolgozott *Tepex dynalite termoplasztikus kompozitok*, a „szerves bádogok” alkalmazása a nagyfelületű szerkezeti elemek gyártásában. A *Tepex dynalite* egy vagy többretegű végtelen üvegszállal erősített *PA* mátrixú prepreg, amelyben minden egyes szálát fed a termoplasztikus mátrix. A legújabb példa egy teljesen műanyag fékpedál, amelyet egy elektromos sportautóhoz gyártottak. A műanyag pedál megfelelő teherbírását a gondosan tervezett rétegfelépítés, és bizonyos helyeken további lokális erősítés biztosítja. A *Tepex* kompozitokat eredményesen lehet alkalmazni az elektromos gépkocsiknál a nagyfeszültségű akkumulátor szerkezeti elemeinek és házának gyártására, mivel a nagy üvegszáltartalomnak köszönhetően ezek a kompozitok összetételükből adódóan lángállóak. Ilymódon a *Tepex dynalite kompozitok az alumínium gazdaságos alternatíváját jelentik*. Ráadásul a hibridszerkezetekben sokkal olcsóbban oldható meg az egyes funkciók integrálása.

## Poliamidok a körkörös gazdaságban

A fenntarthatóság jegyében a poliamidok gyártói is arra törekszenek, hogy a növekedésükhöz minél kisebb mennyiségű erőforrást használjanak fel. Ennek eszközei a hulladékok csökkentése, a termékek élettartamának növelése és a legfontosabb a felhasznált műanyagok körforgásban tartása, ami természetesen nemcsak a feldolgozás során keletkező hulladékok visszavezetését jelenti, hanem a termékek használat utáni újra hasznosítását is. A *PET* palackoknál az újra felhasználás kifejezetten sikeres, de a *poliamidoknál eddig nem sikerült nagyban megoldani a poliamid visszanyerését*. Már a nyolcvanas években próbálkozott a *Bayer* a reciklálást megoldani, de végül nem bizonyult gazdaságosnak, mivel a friss granulátum olcsóbb volt, mint a reciklátum. Ráadásul a poliamid hulladékok zöme szálformájú, és ennek a minősége különösen ingadozó, és gyakran tartalmaz pigmenteket, titándioxidot, cinkszulfidot,

amelyek általában zavarják a kompaundálást, mivel dezaktiválják a réz tartalmú hőstabilizátorokat. A fenti nehézségek miatt a körforgásos technológiát PA6-nál a kaprolaktámon keresztül valósítják meg. A hulladékokból a kaprolaktám visszanyerését kémiai úton az ezredfordulón több cég is megoldotta, de gazdaságossági okokból nem használták. *Jelenleg csak az olasz Aquafil cég használja a hulladékból saját eljárása szerint visszanyert kaprolaktámot.* Az Aquafil a saját gyártási hulladékain kívül elhasznált halászhálókat, szőnyegeket is hasznosít. Az így visszanyert kaprolaktámból gyártott szálat *Econyl* márkanéven forgalmazza. A poliamidoknál tehát a körkörös folyamat iparilag csak a kémiai reciklálással valósítható meg. Ennek során vagy a monomereket nyerik vissza, vagy – mint a BASF cég ChemCycling eljárása szerint – ún. pirolízis olajat állítanak elő, és ebből benzolt, amelyből pedig a kaprolaktám intermediert, a ciklohexánt nyerik ki.

A Lanxess cég mind a két eljárással foglalkozik és a reciklásba az üvegszálat is bevonja. A cég koncepciója szerint valamennyi termékénél törekszik a reciklátum arányának növelésére, és az *ISO 14021:2016* szabvány szerinti *ecoloop* tanúsítványt ad a termékeihez. A Lanxess a reciklátum felhasználáson kívül a CO<sub>2</sub> lábnyomot oly módon is tervezi csökkenteni, hogy a piacon kapható fenntarthatóbb kaprolaktámból indulnak ki. A holland Fibrant, amely a kaprolaktám világtermelés negyedét adja, kétféle csökkentett CO<sub>2</sub> lábnyomú kaprolaktámot is fejlesztett. Az *Ecolactam Circulart* a használat utáni (post-consumer) hulladékból nyerik, az *Ecolactam Bio-t*, pedig a feldolgozás és cellulózgyártás melléktermékeiből gyártják. A BASF *Ccycled* névvel jelöli azokat a PA termékeket, amelyek alapanyaga a műanyag-hulladékokból kinyert pirolízis olajból gyártott kaprolaktám.

## Ultramid XP – nagyobb teljesítményű PA kompaundok a fémek helyettesítésére

Az *XP* technológiát a BASF először PA6-ra dolgozta ki. A 35% üvegszállal erősített új XP PA6, az *Ultramid B3WG7 XP* mechanikai tulajdonságai, az E-modulus és a húzószilárdság, a teljes hőmérséklet-tartományban egyértelműen felülmúlják a vele azonos üvegszál tartalmú standard PA típusét, és eléri az azonos mennyiségű üvegszálat tartalmazó PA66 tulajdonságait.

A PA6 alapú XP egyesíti a kétféle PA előnyeit: az új típus mechanikai tulajdonságai eléri a PA66 szintjét, de annál nagyobb az ütésállósága. A PA6 alapú *Ultramid XP* típus teljesítményét nagyobb, 50, illetve 60% üvegszál-tartalomnál hárompontos *hajlítási* kísérletben hasonlították össze. Az *1. táblázatban* bemutatott adatok – különösen az igénybevételnél a maximális törési munka az *XP* típusnál a legnagyobb, felülmúlja a PA66 50% üvegszálat tartalmazó típust is.

1. táblázat

Különböző erősített poliamid típusok tulajdonságai

Tulajdonság	PA-6-GF 50	Ultramid B3WG10XP	PA-/-GF-50	PA-6-GF 60
Áthajlás, %	5,4	5,8	5,2	4,7
Maximális erő, kN	9,5	9,8	9,2	9,8
Összes munka, J	28,8	32,0	25,8	25,8
Súly, g	138	139	138	152

Az 50% üvegszálás PA66 alternatívájaként gyakran használják a 60% üvegszál tartalmú PA6-ot, amellyel elérhetők a kívánt mechanikai tulajdonságok, de több hátrányos tulajdonsággal együtt. Az extranagy üvegszál-tartalom ugyanis nagyobb súlyt, kisebb deformálhatóságot, kisebb rezgési szilárdságot és rosszabb feldolgozhatóságot is jelent. Mivel ezek a hátrányok az *Ultramid B3WG10 XP* esetén nem jelentkeznek, az új módosított PA6 egyenértékűen helyettesítheti a hasonló PA66 típust. Az XP technológiát a PA66-ra is kiterjesztették. Az így előállított *Ultramid A3WG10XP SW23346* jobb eredményt ad a hasonló üvegszálás módosítatlan PA66 típusoknál.

Az XP típusok jó ütészilárdsága egyértelműen megmutatkozott az összehasonlító *törési* kísérletekben (crashtest), amelyekhez saját berendezést építettek. A tesztben a műanyag lemezt 8,5 m/s sebességgel ütköztették egy fémlemezhez. A teszt azt mutatta, hogy mindkét PA-nál az azonos üvegszál tartalmú XP típusok mintegy 20%-kal magasabb energiát tudtak elnyelni az azonos standard típusoknál.

Az XP típusok nemcsak a szilárdság, a merevség és az ütészilárdság szempontjából jobbak, hanem jobbak az öregedési kimerülési tulajdonságai is. Mindezek alapján a BASF az új XP típusokkal a korábbinál is jobb fémhelyettesítő anyagokat kínál a felhasználók számára.

Összeállította: Máthé Csabáné dr.

Bienmüller, M., Joachimi, D., Margraf, G., Plaggenborg, H.: Verbesserungen bei Materialien und der Verarbeitung = Kunststoffe, 110. k. 2020. 10. p. 45–51.

Cremer, J., Stockheim, A.: Metallersatz durch verbesserte Polyamide = Kunststoffe, 110. k. 2020.12. p. 48–50.