

Hogyan zabolázható meg a mai műanyagok éghetősége?

A kétségtelenül leghatásosabb halogéntartalmú égésgátlókat negatív környezeti hatásuk miatt fokozatosan kiszorítják az égésgátlók közül, ezért új utakat kell keresni a műanyagok éghetőségének csökkentésére. A legnagyobb mennyiségben alkalmazott szervesen Al- és Mg-oxidok mellett jelenleg a szerves foszforvegyületek kutatása-fejlesztése a legintenzívebb, és vörösfoszforsal csökkentett éghetőségű poliamid is megjelent a piacon. A vegyi gyárak újdonságaikkal az éghetőség csökkentése mellett igyekeznek kielégíteni a feldolgozók és a környezetvédők igényeit is.

Tárgyszavak: műanyagok tulajdonságai; éghetőség; égésgátlók; poliamidok; műszaki műanyagok; villamosipar.

A műanyagok természetüknél fogva könnyen égnak, de számos helyen alkalmazásukhoz – az épületekben, a járművekben, a villamos és elektronikus berendezésekben, a bútorokban, a háztartási eszközökben és számos más termékben – éghetőségüket meg kell zabolázni. Erre szolgálnak az ún. égésgátlók, azaz az olyan adalékok, amelyekkel éghetőségük csökkenthető. A fejlett országokban az egyes iparágakban éghetőségük mértéke szerint szigorúan szabályozzák a műanyagok alkalmazását.

Minősítőrendszerek és vizsgálati eljárások

Az Európai Unióban 2013 júliusában lépett életbe az *építőipari termékek éghetőségére* vonatkozó új szabályzat, a korábbi egyúttal hatályát veszítette. Emiatt megváltoztak a CE jelzés használatának feltételei is. Az éghetőség szerinti minősítés (osztályba sorolás) alapvetően nem változott, de kiegészült további követelményekkel. A kábeleket pl. 2014 óta egy ezekhez rendelt módszer szerint kell lángterjedésük, hőfejlésük, esetleges égő olvadékcseppjeik, füstképzésük, savas égésgázaik figyelembevételével az EN 13501-6:2014 szabvány szerint osztályba sorolni,

Az ugyancsak 2013-ban megjelentetett és a *sínjárművek tűzbiztonságára* vonatkozó EN 458545 szabvány 2. részét (amely a járművekben alkalmazott anyagok és építőelemek éghetőségére meghatározott követelményeket tartalmazza) hamarosan kiegészítik az égésgázok toxicitására és az ülések éghetőségére előírt kritériumokkal.

A *vízi járművekben* alkalmazott anyagokra vonatkozó és 2002 óta hatályos szabályozás (Solas, Convention of Safety of Life at Sea) 17. pontja megengedi, hogy a járművek korábban acélból gyártott építőelemei helyett csökkentett éghetőségű könnyű kompozit szendvicselemeket alkalmazzanak, ha azok kielégítik az ilyen elemekre

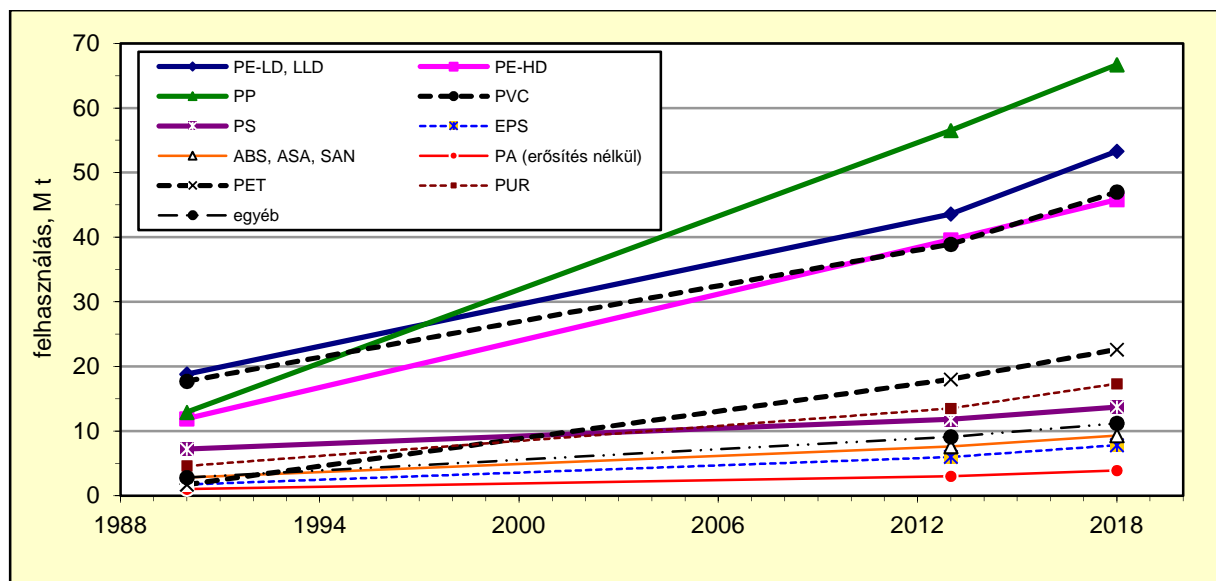
[Fire Tests Procedures (FTP) der International Maritime Organization (IMO); azaz a Nemzetközi Tengerészeti Szervezet éghetőségi vizsgálatok kódjában] előírt éghetőségi és tűzállósági követelményeket. Gyorshajóba ma már gyakran építenek be ilyen szendvicselemeket.

Az építőiparban és a járműgyártásban a gyújtóforrás esetlegesen és ritkábban fordul elő, de az éghető anyagból készített elemek nagy méretűek, egy kiterjedő tűz pedig emberéleteket fenyeget és nagy anyagi kárral járhat. Az alkalmazott anyagok éghetőségét itt is kisebb méretű próbatestek laboratóriumi vizsgálatával ellenőrzik, a belőlük kialakított építőelemek minősítését azonban legtöbbször valódi, de legalábbis nagy méretű darabok alkalmazáskor fennálló körülményekhez hasonló szabványos vizsgálataival végzik el.

A villamosiparban és az elektronikában a feszültség alatt bármikor kialakulhat a gyújtóforrás, amely kezdeti szakaszában legtöbbször gyenge, és ha közvetlen környezetében nincs könnyen égő anyag, a tűz nem tud kiterjedni. Ezért itt elsősorban a felhasznált anyagok minősítésére és szabályozására koncentrálnak. A minősítést (elsősorban a készülékgyártásban) kis méretű próbatesteken, laboratóriumi vizsgálatok alapján végzik. Általánosan alkalmazzák az Underwriter's Laboratories (UL) vizsgálati módszereit, elsősorban az UL-94 módszert (ebben kis méretű vízszintes vagy függőleges pálcát Bunsen-éggő lángjával gyújtanak meg); az International Electrotechnical Commission (IEC) módszereit (legnépszerűbb közülük az *IEC 60695-2-10* szabvány szerinti izzóhuzalos vizsgálat, jelzése GWT, glow wire test); a minősítést végezhetik az európai szabványrendszer (EN) és a német elektrotechnikusok szabványrendszere (VDE, Norm des Verbands deutscher Elektrotechniker) alapján is, amelyek tartalmazzák az UL és az IEC említett módszereit is. Elektromos berendezések bizonyos alkatrészeit számos esetben csak *UL-94* szabvány szerint V-0 éghetőségi fokozatú és 960 °C hőmérsékletű izzóhuzalnak ellenálló (GWT 960 °C minősítésű), helytelenül „önkioltó”-nak nevezett anyagból szabad készíteni. Az éghetőségi jellemzők között gyakran szerepel a kúszóáram-szilárdság (CTI, comparative tracking index) értéke is. Ez az a feszültség, amely mellett a felületen két elektróda között áramátvezetés következik be.

Növekedő műanyag-felhasználás, növekedő égésgátlói igény

Egy 2015-ben megjelent felmérés szerint 2013-ban a világon mintegy 250 millió tonna műanyagot használtak fel, 2018-re ez a mennyiség várhatóan 303 millió tonnára növekszik. Az egyes műanyagfajták felhasználásának növekedését 2000 és 2018 között az *1. ábra* mutatja. A 2013-2018 közötti átlagos növekedést 3,9%-ra becsülik. A leggyorsabban a habosított polisztirol (EPS, 5,3%), a poli(etilén-tereftalát) (PET, 5,2%), a poliuretán (PUR, 4,8%), a leghalványabban a polipropilén (PP, 3,4%) iránti igény bővül. A növekedő polimer mennyiséghez elő kell állítani a megfelelő égésgátlókat is. Az égésgátlók közül különösen fontosak azok, amelyekkel a villamos és elektronikai iparban felhasznált műszaki műanyagok, mindenképp a poliamidok (PA) és a lineáris poliészterek [PET; poli(butilén-tereftalát), PBT], továbbá az ugyancsak gyorsan növekedő EPS és PUR éghetőségét csökkentik.



1. ábra A különböző műanyagfajták felhasználásának növekedése a világon 1990 és (várhatóan) 2018 között

A világon 2015-ben kb. 2,2 millió tonna égésgátlót gyártottak; ez évi 4,6%-kal növelve 2018-ig eléri a 2,8 millió tonnát.

2018-ban is az *alumínium-hidroxid* lesz a legnagyobb mennyiségben alkalmazott égésgátló, amelyből 2014–2020 között évente átlagosan 7,1%-kal többre lesz szükség.

Leggyorsabban a foszforalapú készítmények iránti igény növekszik. Egy tanulmány 7 milliárd USD-re becsüli a világpiacra 2014-ben eladott égésgátlók értékét, ez évi 5,7%-os növekedéssel 2019-ig elérheti a 10 milliárd USD-t. Ezen belül a *szerves foszforvegyületek* forgalma évi 7,5%-kal bővíthet. A leggyorsabban növekedő felhasználás jelenleg és a következő években is Kínában lesz.

Halogénmentes égésgátlókból világszerte 2011-ben 1,08 millió tonnát használtak fel 1,26 milliárd USD értékben. A 2018-ra becsült eladások értéke 2,15 milliárd USD, ami évi 8,1% növekedést feltételez.

Égésgátlót gyártók termékei, terveit, újdonságai

A Nabaltec AG (Schwandorf, Németország) a lecsapással előállított finom alumínium-hidroxidjai iránt az USA-ban várható igénynövekedés kielégítésére 40%-kal növeli a Sherwin Alumina Company, LLC-vel (Gregory, USA) közös vállalata, a Nashtec (Corpus Christi, USA) kapacitását. Cél az évi 30 000 t elérése. A kapacitásbővítést 2016-ban fejezik be.

Az Albemarle Corp. (Baton Rouge, USA) átszervezi égésgátlógyártását. Szűkíti németországi leányvállalatánál, a Martinswerk GmbH-nál (Bergheim) az ásványi égésgátlók választékát, 2015 végétől leállította a *Martinal ON, ON-310, ON-313 és*

ON-4608 kiszállítását. Ezeket a típusokat elsősorban kábelköpenyek gyártásához használták. Sajtóhírek szerint az Albemarle el akarja adni a Martinswerket, és teljesen feladja az ipari ásványi anyagok gyártását. Mint globális vegyipari gyártó ezentúl fő üzletágainak fejlesztésére és bővítésére akar koncentrálni.

A Dow Global Technologies (Midland, USA) a közelmúltban vezette be a piacra új, szabadalommal védett *PolyFR* márkanévű polimer égésgátlóit, amelyekkel a habosított polisztirolokban (EPS, XPS) világszerte nagy mennyiségben használt hexabromciklododekánt (HBCD) lehet helyettesíteni. Utóbbinak használatát 2015 augusztusától kezdve betiltották, miután az ENSZ Környezetvédelmi Programjában „nehezen lebomló szerves szennyezőnek” (POP, persistent organic pollutant), az EU vegyipari törvénye, a REACH keretében pedig „erős aggodalomra okot adó anyag”-nak (SVHC, substance of very high concern) minősítették.

A Laxness AG (Köln, Németország) Rhein Chemie Additives nevű üzletágát innovatív halogénmentes foszfortartalmú égésgátlók gyártására hozta létre, amelyeket egy közelmúltban kifejlesztett új foszforkémiára alapozott technológiával szintetizálnak. Az új égésgátlók nagyon kevésbé párolognak ki a polimerekből, így bevonatot (fogging) sem képeznek. Emiatt elsősorban a bútortiparban és a gépkocsigyártásban használt műanyagok éghetőségének csökkentésére ajánlják őket. Az új *Disflamoll TP LXS 51092* elsősorban lágy PUR habok, a *Levagard TP LXS 51114* lágy PUR habok és elasztomerek éghetőségét csökkentheti. Mindkét gyártmány alkalmas poliészter- és poliétertípusú lágyhabokhoz is. A *Levagard TP LXS 51114* égésgátlót tartalmazó habok kielégítik a gépkocsigyártásban alkalmazott nemfémes anyagok minősítésére szolgáló VDA 278 autóiipari szabvány szigorú követelményeit is. A gyakorlatban jól bevált reaktív égésgátlót, a *Levagard 4090 N*-t gyártásoptimalás után most jobb minőségben forgalmazzák: a terméknek kisebb a savszáma és a víztartalma, ezért könnyebben dolgozható fel pl. keményhabok készítésekor.

A Tejin Ltd. (Tokió, Japán) megkezdte *FCX-2100* jelzésű új foszfortartalmú égésgátlójának forgalmazását. Ennek az adaléknak a gyártási jogát a tajvani Chitec Technology (Tajpej) vásárolta meg, és egy 1000 t/év kapacitású reaktorban fogja szintetizálni. Az *FCX-210* égésgátlót elsősorban a villamos- és elektronikai ipar, továbbá az autógyártás számára ajánlják olyan akrilnitril/butadién/sztirol kopolimerek (ABS), polisztirol (PS), poliamidok (PA) éghetőségének csökkentésére, amelyekben a hagyományos égésgátlók hatása nem kielégítő.

Az Adeka Palmarole (Mulhouse, Franciaország) foszfortartalmú égésgátlói közül újdonság az *ADK STAB FP-800* jelzésű nagy molekulatömegű foszfátészter, amely 65-85 °C között olvad meg. Ezt a hőálló, hidrolízisre nem hajlamos, könnyen bedolgozható adalékot főképpen polikarbonát (PC) és ennek ötvözetei (PC+ABS, PC+HI-PS keverékek) éghetőségének csökkentésére javasolják.

A Clariant International Ltd. (Muttens, Svájc) foszfináttípusú égésgátlóinak választékát új szinergetikus készítményekkel bővítette. Az *Exolit OP 1400* az első olyan foszfinálat alapú égésgátló, amely hatását a foszfor-foszfor szinergetikusnak köszönheti. Poliamidokban különösen előnyös lehet, mert elviseli a magas hőmérsékletű feldolgozást, ezért az éghetőség csökkentése mellett a polimer alakadását optimális paraméte-

rekkel lehet elvégezni. *Exolit OP 1400* égésgátlóval már 0,4 mm vastag próbatesteken is elérhető az *UL 94* szabvány szerinti V-0 éghetőségi fokozat és a 600 V kúszóáram-szilárdság.

A Tolsa S.A. (Madrid, Spanyolország) *Adins* márkanévű adalékai ugyancsak szinergetikus hatásúak, és módosított szerves szilikátokon alapulnak. Az alumínium- és magnézium-hidroxiddal vagy a poliolefineket tűzforrás hatására felhabosító rendszerekkel megfigyelt szinergetikus hatás mellett kiderült, hogy ha *Adins* agyagokat gócképzőként a hőszigetelő képesség növelésére extrudált polisztirolhab (XPS) ömledékébe adagolnak, kevesebb égésgátlóval lehet elérni ugyanakkora éghetőséget csökkentő hatást.

Az LKAB Minerals Ltd. (Flixborough, Egyesült Királyság) ásványi eredetű *Ultracarb* nevű terméke, huntit (magnézium/kalcium-karbonát) és hidromagnezit (magnézium-karbonát-hidrát) keveréke. Jól helyettesítheti az alumínium- és magnézium-hidroxidokat, mert azoknál 10–20%-kal olcsóbb és jobb hatásfokú, emellett 250 °C-on is feldolgozható. PVC-be, etilén–vinil-acetát (EVA) és etilén–butil-akrilát (EBA) kopolimerekbe, polietilénekbe (PE), polipropilénekbe (PP) és kaucsukokba ajánlják; bevihető habokba; autóalkatrészek, kábelek és vezetékek, építőelemek, bútorok alapanyagaiba. Tűz esetén az ilyen adalékot tartalmazó műanyag felületén koksztaréteg képződik, amely hatásosan gátolja az alatta lévő réteg égését.

A Trovotech GmbH (Bitterfeld-Wolfen, Németország) üveghabból és boroszilikátüvegből magas hőmérsékleten járatott extruderben üveghab profilokat készít. Ezeket a porózus, amorf profilokat megőrli, a kapott port *Trovopowder B* márkanéven forgalmazza, és bekeverését műszaki műanyagokba szinergetikus adalékként ajánlja. A melamin-cianuráttal gátolt éghetőségű erősítetlen PA6, PA66, PA12 és PBT ilyen adalék jelenlétében 1,5 mm vastagságban eléri az UL94 V-0 éghetőségi fokozatot és a 825 °C GWIT értéket, emellett javulnak a polimerek mechanikai tulajdonságai és minimálisra csökken a migráció. Ugyanezeknek a polimereknek fém-foszfinátokkal égésgátló és szállal erősített változatai az üvegporszerű hatás révén már 0,8 mm-es vastagságban kielégítik a V-0 éghetőségi fokozat követelményeit, és gócképző hatásuk következtében fröccsöntéskor növelik a temelékenységet.

A csökkentett éghetőségű műanyagok új generációi

A csökkentett éghetőségű műanyagok gyártásában nincsenek kiemelkedő újdonságok, a folyamatos fejlesztés nyomán azonban számos érdekes és jelentős megoldás született; a legújabb típusok a korábbiaknál jobb hatásfokkal állnak ellen az égésnek, és gyakran egyéb tulajdonságaik is felülmúlják elődeikét. A fejlesztők elsősorban a villamosipar számára fontos poliamidokra koncentráltak, de más műszaki műanyagok között is vannak kevésbé égő változatok.

A BASF néhány új csökkentett éghetőségű PA-ja

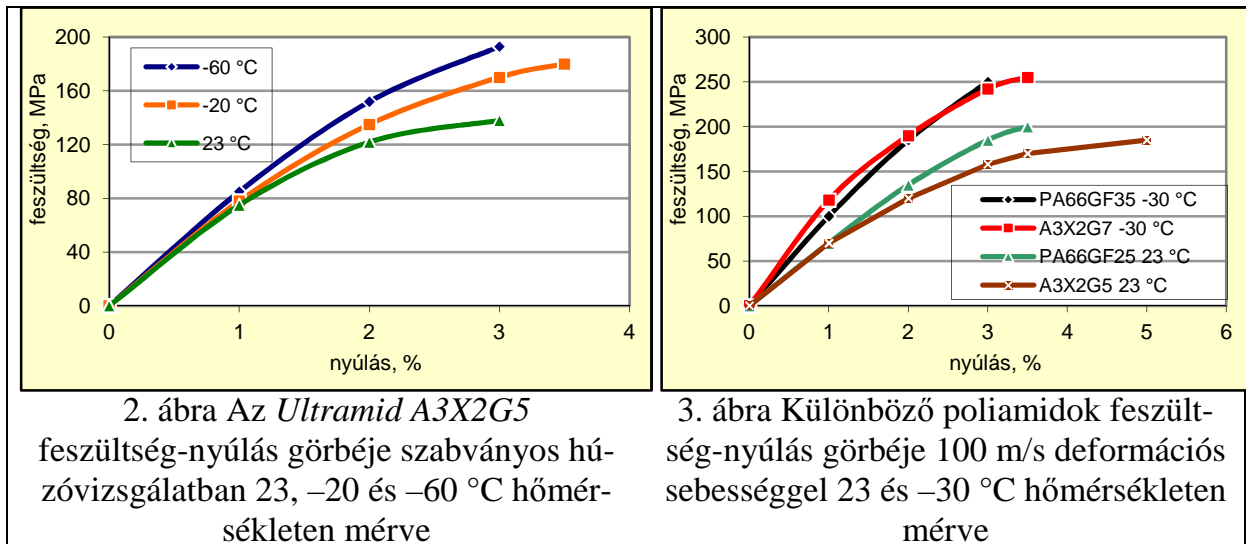
A BASF SE (Ludwigshafen, Németország) egyik új csökkentett éghetőségű üvegszálas poliamidjának márkanéve *Ultramid A3U42G6*, amelyet világos színekben

is kínál és amely nagyon könnyen feldolgozható (gyorsan plasztikálható, rövid ciklusidővel fröccönthető), csekély a kipárolgása, emiatt a bevonatképzése és a korrozív hatása. Fekete változata lézerrel írható. A kompaund 30% üvegszálat és foszfortartalmú égésgátlót tartalmaz; halogén vagy antimonvegyület nincs benne. Füstképzése és füstgázainak mérgező hatása kielégíti a WEEE és a ROHS (elektromos és elektronikus hulladéka, ill. a veszélyes anyagokra vonatkozó EU direktívák; WEEE = Waste electrical and electronical equipments, ROHS = Restriction of Hazardous Substances) követelményeit. UL 749 szabvány szerint mért RTI értéke (relativer Temperaturindex, relatív hőmérsékletindex, magasabb hőmérsékleten hőöregedésre utaló jellemző) vilamos átütési szilárdsággal mérve 0,4 mm vastagságban 140 °C. 0,75 mm-es vastagságban 150 °C. Ez a poliamid különösen alkalmas konnektorok, hőterhelésnek kitett ipari automaták kapcsolóberendezéseinek, védőkapcsolóinak gyártására.

A BASF 25% üvegszálat tartalmazó *Ultramid A3X2G5* márkanevű PA66-jában vörösfoszfor az égésgátló. A vörösfoszforról 40 éve tudják, hogy jó hatásfokkal csökkenti a poliamidok éghetőségét, de ennek az elemnek a „rossz híre” és erőteljes vörös színe miatt a foszfortartalmú vegyületekkel égésgátolt műanyagokat néha azzal reklámozzák, hogy „vörösfoszfort nem tartalmaznak”. (A fehérfoszfor erősen mérgező hatású, és levegőn bekövetkező öngyulladás miatt csak víz alatt tárolható; a vörösfoszfor viszont gyenge oldhatósága miatt nem mérgező, de 400 °C-on ez is meggyullad; erőteljes színe miatt viszont az ilyen adalékot tartalmazó műanyagok világos színben nem állíthatók elő.) A BASF a vörösfoszfor előnyeit emeli ki. Közülük a legfontosabb, hogy sokkal kisebb mennyiségben fejt ki az elvárt hatást, mint a különböző más égésgátlók. A 25% üvegszálat tartalmazó PA 66-hoz pl. 27% halogéntartalmú vagy 20% szerves foszforvegyületet tartalmazó égésgátlót kell hozzákeverni, hogy elérje az *UL94 V-0* éghetőségi fokozatot, vörösfoszforból mindössze 5% szükséges ehhez. Ha az alappolimerhez nagy tömegű égésgátlót adnak, az óhatatlanul befolyásolja annak tulajdonságait, megnehezíti a feldolgozást, merevvé, törékennyé teszi a terméket. Emiatt a fröccsöntött termékek egy része kidobáskor megsérül (vagy több kidobót kell a szerszámba építeni, ami megdrágítja a szerszámot), és szereléskor is több lesz a selejt. A vörösfoszfor csekély mennyisége kevéssé befolyásolja a mechanikai tulajdonságokat, az *Ultramid A3XZG5* szakadási nyúlása és hornyolt próbatesten mért ütve-hajlító szilárdsága jóval magasabb, mint a piacon kapható más 25% üvegszálat tartalmazó *UL94 V-0* éghetőségi fokozatú PA66 típusoké, és rugalmasságát nagyon alacsony hőmérsékleten is megőrzi (2. ábra). További előnye, hogy egy rövidzárlat fellépésekor (amikor a kialakuló ívfény hőmérséklete eléri az akár 10000 °C-t, az érintett berendezésben igen nagy sebességű deformáció és emiatt nagy nyomás keletkezik, ami szétrepesztheti a berendezést) a vörösfoszfort tartalmazó PA-ban kisebb feszültség képződik, mint versenytársaiéban. Ezt egy nagy (100 m/s) sebességgel végzett húzóvizsgálattal igazolták (3. ábra).

Az üvegszállal erősített műanyagokban az üvegszálak hossza többnyire 0,15-0,25 mm között van. Ha 25% ilyen üvegszállal nem érhető el a kívánt merevség és szilárdság, növelik az üvegszálak arányát, pl. 35 vagy 50%-ra. Ha ez sem elegendő, ún. hosszú üvegszálak technológiát alkalmaznak, amelynek eredményeképpen az üvegszálak

hossza (a granulátummérettől függően) 5–10 mm. 50% hosszú üvegszálat a szokásos égésgátlók mellett nem lehet a hőre lágyuló polimerekbe homogénen bekeverni. A vörösfoszfor azonban ezt nem gátolja meg, ezért a BASF *Ultramid A3X2G7* márkanevével 35%, *A3X2G10* márkanevével 50% üvegszálat tartalmazó UL94-V-0 éghetőségi fokozatú PA66-ot is forgalmaz. Hosszú üvegszálat tartalmazó *Ultramid A3X2G10 LF* márkanevű termékének pedig nemcsak extrém alacsony hőmérsékleten van magas ütve-hajlító szilárdsága, de mechanikai terhelés alatt is igen csekély a kúszása.



A villamos berendezések alkatrészeinek megbízható működése nemcsak anyaguk villamos ellenállástól és dielektromos tulajdonságaitól függ, hanem fontos annak kúszóáram-szilárdsága is. A CTI érték (maximális értéke 600 V) arról tájékoztat, hogy mekkora távolságot kell két áramvezető között biztosítani, hogy közöttük ne következhessek be átvezetés. A poliamidok kúszóáram-ellenállása a bekevert töltőanyagoktól és égésgátlóktól függően 150-600 V között változhat. A halogént és antimont tartalmazó égésgátlók jelentősen csökkentik a CTI értéket. A BASF vörösfoszforral égésgátlott valamennyi A3X2 jelzésű termékének CTI értéke eléri a 600 V-ot.

Nem vitatható azonban a vörösfoszfornak az a hátránya, hogy magas hőmérsékleten oxigén és nedvesség jelenlétében diszproporcionálódhat, ennek eredményeképpen különböző oxidációs fokú foszforsavak és gáz alakú foszfánok képződhetnek. A foszforsavak a poliamidot hidrolizálják és adipinsavat szabadíthatnak fel. Ez a jelenség a villamos berendezés vezetőin lerakódásokat és korróziót okozhat, aminek következtében a berendezés meghibásodhat. A BASF ezért folyamatosan dolgozik azon, hogy az égésgátlót stabilizálja, és minimálisra csökkentse a foszforsavak és a foszfánok képződését.

A jelenség vizsgálatára és a termékek minőségének ellenőrzésére többféle módszerrel használnak. A felszabaduló foszforsavak mennyiségének meghatározására jól bevált a műanyag minták 60 °C-s vízben tárolása alatti vízelemzés. 100 órás tárolás

után a stabilizálatlan első generációs mintákból 1000 ppm, a második generációból 400 ppm, a jelenlegi A3X2G típusú mintákból 100 ppm, a „következő generációs” A3X2G5 mintákból mindössze 10 ppm foszforsav oldódott be a vízbe. Ezt nagyon jó minőségű alapanyagok felhasználásával, kíméletes kompaundálással és az összetétel optimalizálásával érték el.

A foszfán erősen reaktív gáz, amely oxigénnel és nemesfémekkel könnyen reakcióba lép és az utóbbiak felületén bevonatot képez. A foszfánképződés kimutatására ezért réz- és ezüstfóliából kivágott csíkokat különböző égésgátlókat tartalmazó granulátumokba (szerves foszforvegyületekkel és melaminszámazékokkal, ill. halogéntartalmú égésgátlókkal készített granulátumokba, ill. a vörösfoszfort tartalmazó üvegszál-as PA66 legújabb típusának granulátumába) ágyazták, majd 100% nedvességet tartalmazó 70 °C-os térben tárolták. Egy hét múlva a fekete színű A3X2G5 23187 jelű granulátumba ágyazott fémlemezeken észlelt elváltozások jóval kisebbek voltak, mint az kereskedelmi forgalomban kapható granulátumokba ágyazott többi fémlemezén. A cégnél ennek ellenére tovább dolgoznak a stabilitás fokozására.

További csökkentett éghetőségű poliamidok és más műszaki műanyagok

Az Akro-Plastic GmbH (Niederzissen, Németország) *Akromid FR* márkanévű PA6 és PA66 poliamidjai halogénmentesek és vörös foszfort sem tartalmaznak, ezért bármilyen színárnyalatban gyárthatók. Az erősítetlen típusok összetételüktől függően akár 0,4 mm-es vastagságban elérhetik az UL94 V-0 éghetőségi fokozatot. A 10-30% közötti üvegszál-tartalmazó termékek ezt 0,8 mm-es vastagságban tudják teljesíteni. A költségtakarékosság miatt az üvegszál mellett ásványi töltőanyagot is tartalmazó termékek legmagasabb éghetőségi fokozata 0,8 mm-es vastagságban UL94 V-2. Alkalmazási területük: háztartási biztosítékházak, védőkapcsolók, automata biztosítékok. Viszonylag új polimer a halogénmentes *Akrotek PK* nevű alifás poliketon (ezt a Shell cég korábban *Carilon* márkanévvel forgalmazta), amely az UL94 V-0 éghetőségi fokozatot 1,6 mm-es vastagságban éri el. Égés közben csak kevés füstöt bocsát ki. Ez a polimer dinamikus terhelhető, záróképesége és tribológiai tulajdonságai jók, ellenáll a vegyszereknek és a hidrolízisnek, emellett könnyen feldolgozható.

A DuPont de Nemours (Genf, Svájc) *Zytel FR95G25V0NH* márkanévű csökkentett éghetőségű halogénmentes poliamidkompaundjából korábban hőre keményedő műanyagból készített fedeleket, dugaszolóaljzatokat, kapcsolókat lehet gyártani. UL746 szabvány szerint mért RTI értéke 160 °C. Kúszóáram-szilárdsága (CTI értéke) 600 V, 0,4 mm-es vastagságban kielégíti az UL94 V-0 éghetőségi fokozat követelményeit.

A Lanxess AG a fröccsönthető *Durethan BKV 20 FN01* PA6 módosításával – egyik új foszfortartalmú égésgátlójának bekeverésével – állított elő villamos hajtású gépkocsik akkumulátorának nagyfeszültségű komponenseihez egy új anyagot. Ez a szerves foszforvegyületet tartalmazó műanyag nagyon szívós és 0,75 mm vastagságban eléri az UL94 V-0 éghetőségi fokozatot.

A középületekbe beépített kábelekre vonatkozó tűzvédelmi előírások különösen szigorúak. Az Evonik Industries AG (Essen, Németország) optikai kábelekhöz fejlesztett ki csökkentett éghetőségű *Vestamid PA12*- és *Vestodur PBT*-alapú kábelanyagokat, amelyek közül néhányat az érszigeteléshez, néhány pedig kábelvédő csövek gyártásához ajánl. Egyik PA12 terméke a sínjárművekre vonatkozó *EN 45545-2:2013 szabvány* HL3 osztályba sorolásának szigorú követelményeit is kielégíti. A cég halogénmentes égésgátlót (HFFR = halogen-free flame retardant) tartalmazó *Vestodur X9426* márkanévű extrudálható PET-jének igen magas az oxigénindexe (LOI, limited oxygen index), égéskor csekély a füstgázképződése, égésgázai mérsékleten mérgezőek. A belőle extrudált termék rugalmas, nagy a kihajlási és nyomószilárdsága.

A BASF SE (Ludwigshafen, Németország) 2014 vége óta valamennyi habosítható polisztiroljában a Dow Global Technologies *PolyFR* égésgátlóit alkalmazza. A Lehmann & Voss&Co KG (Hamburg, Németország) *Luvobatch PS FR 0339* márkanévű XPS lapjaiban ugyancsak ez az égésgátló helyettesíti a HBCD-t. Megfelelő stabilizálással a végtermék elszíneződését minimálisra csökkentették. Az új égésgátló alkalmazása csak nagyon kis mértékben változtatta meg a hőszigeteléshez használt hab hővezető képességét.

A BASF Polyurethanes GmbH (Lemförde, Németország) a robotikában és a gépgyártásban alkalmazott vezérlőrendszerek vékony és szuperrugalmas vezetőkeihez fejlesztette ki halogénmentes csökkentett éghetőségű *Elastollan 1192 A FHF* márkanévű hőre lágyuló poliuretán-elasztomerjét (TPU), amely kielégíti a kábelekre vonatkozó *UL 1581* szabvány VW1 éghetőségi fokozat követelményeit. Ezzel a polimerrel a korábban alkalmazott, halogéntartalmú TPU-kat lehet helyettesíteni. Vasúti kocsikhoz az *Elastollan SP 3092 A 10 HFFR* TPU-t ajánlják, amely igen jó lángállósága mellett rendkívül kevés füstöt és mérgező gázt fejleszt.

Összeállította: Pál Károlyné

Troitsch, J.: Vorschriften, Märkte, Trends – Eine aktuelle Übersicht zu Flammenschutzmitteln = Kunststoffe, 105. k. 9. sz. 2015. p. 158–163.

Uske, K.; Roth, M.: Weniger bringt mehr – Mit rotem Phosphor flammgeschützte Polyamide = Kunststoffe, 105. k. 1. sz. 2015. p. 67–69.

Uske, K.; Roth, M.; Minges, Ch.: Kontaktkorrosion gezielt vermeiden – Stabilisierung flammgeschützter Kunststoffe gegen Belagbildung = Kunststoffe, 105. k. 9. sz. p. 171–173.