

Hőre lágyuló elasztomerek alkalmazása az elektronikától és a sínjárművektől a háztartási cikkekig

A hőre lágyuló elasztomerek sokféleségük és széles tulajdonságtartományuk miatt nagyon sokféle alkalmazási területen lehetnek hasznosak. Legnagyobb sikerük a hőre lágyuló olefinelasztomereknek van, őket követik a sztirolalapú elasztomerek, a harmadik helyet a poliuretánalapú elasztomerek foglalják el.

Tárgyszavak: termoplasztikus elasztomerek; elektronika; TPU alkalmazások; halogénmentes égésgátlás; vezetőképes TPE.

Halogénmentes és villamosan vezető hőre lágyuló elasztomerek az elektronikában

A Müller Kunststoffe GmbH (Lichtenfels) kompaundálással nagy választékban állít elő hőre lágyuló elasztomereket. TPV típusú EPDM/PP elasztomerjeit *Lifoflex-V*, poliuretánalapú elasztomerjeit *Lifoprene-PU* márkaneven forgalmazza; az utóbbiakat kifejezetten a cipőipar számára fejlesztette ki. Ezeknek van habosítható változata is (a belőle készített hab sűrűsége 45 g/cm^3). Ezt is a cipőgyártáshoz ajánja, de extrudálható és fröccsöntető, az autógyártás is érdeklődik iránta. A cég nagy választékban gyárt SEBS (sztirol-butadién-sztirol) és SEPS (sztirol-etilén-propilén-sztirol) alapú elasztomereket is (TPS), ezek márkaneve *Lifoflex (GA, GB vagy GC)* megkülönböztető jelöléssel). Újabb *Lifoflex* családja a *Lifoflex UV FLAM*, amely halogénmentes égésgátlót tartalmaz, és kielégíti az elektronikus ipar éghetőségre vonatkozó követelményeit. Másik újdonsága a korommal töltött, villamosan vezető TPE.

Csökkentett éghetőségű hőre lágyuló elasztomerek az elektronikus ipar számára

A villamos- és elektronikai iparban fontos követelmény, hogy az alkalmazott anyagok ne gyulladjanak és ne égjenek könnyen, mert a potenciális gyújtóforrás mindig jelen van. A műanyagok legtöbbje jól ég, ezért éghetőségüket megfelelő adalékokkal csökkenteni kell. Erre a célra még ma is a legjobb hatásfokú adalékok a halogénvegyületek, de ezek használatát mérgező és korrozív égésgázaik, továbbá erős füstképzésük miatt fokozatosan korlátozzák, előbb-utóbb pedig betiltják alkalmazásukat. Németországban a villamos és elektronikus berendezések hulladékának újrahasznosítására vonatkozó rendelet (WEEE irányelvek) szerint a hasznosítás előtt el kell különíteni a halogénes égésgátlókat tartalmazó műanyagokat, a villamos és elektronikai berende-

zésekben alkalmazható anyagokra vonatkozó rendelet (RoHS irányelvek) szerint *az új berendezésekben polibrómozott bifenileket és difenil-étereket nem szabad alkalmazni.* A Müller cég ezért nagy erőfeszítéseket tett annak érdekében, hogy a halogéntartalmú égésgátlók hatásfokához hasonló hatású halogénmentes égésgátlókkal teljesítse az elektronikai ipar elvárásait.

Az égésgátlók fizikai vagy kémiai hatással csökkenthetik az égést, és legtöbbször az égés kezdeti szakaszában avatkoznak be a folyamatba. Fizikai hatás lehet az éghető anyag koncentrációjának a csökkentése (hígítás), az árnyékolás vagy a hűtés. Kémiai hatással a lángban (szabad gyökök keletkezésének gátlása) vagy a szilárd fázisban (kokszos záróréteg képződése, ún. karbonizálás) akadályozhatják az égés kiterjedését.

A halogénmentes égésgátlók között valamennyi típus megtalálható. A halogénmentes szervesetlen anyagú fizikai hatású égésgátlók a szilárd fázisban és a gázfázisban is kifejthetik hatásukat, de ezeknek a környezetbarát anyagoknak a teljesítménye a műanyagokban és különösen a hőre lágyuló elasztomerekben nem kielégítő. A foszfortartalmú készítményeknek karbonizáló hatásuk van, megfelelő szinergetikus adalékokkal együtt pedig a felületet lezáró duzzadó réteget képeznek. Ez a réteg nem ereszt át a hő hatására fejlődő éghető gázokat és az oxigént is elzárja a polimer felületétől, amivel megszakítja az égés folyamatát. A nitrogéntartalmú halogénmentes égésgátlókat főképpen poliamidokhoz ajánlják, ezek melamin-cianurát képzésével gátolják az égést, de hatásfokuk TPE-kben nem kielégítő.

A különböző iparágakban eltérő vizsgálati módszereket alkalmaznak az éghetőség megítélésére és az Európai Unión belül még az egyes tagállamokban sem azonosak ezek a módszerek.

Az építőiparban Németországban a *DIN 4102* az alapvető vizsgálati szabvány, amelyet több tagállam átvett. Ebben az iparág jellegzetességének megfelelően nagyméretű próbatestet és nagyméretű gyújtóforrást alkalmaznak.

Sínjárművekben alkalmazott anyagok éghetőségét Németországban a *DIN 5510-2* szabvány, Franciaországban az NF F 16-101 szabvány szerint kell minősíteni.

A villamos- és elektronikai iparban kezdettől fogva nemzetközi méretekben ugyanazokat a vizsgálati módszereket alkalmazzák. Ebben az iparágban kisméretűek a próbatestek és kisebb energiájúak, gyakran pontszerűek a gyújtóforrások, mert ez felel meg a berendezések veszélyforrásainak. Az alapanyagok éghetőségét legtöbbször az USA Underwriter's Laboratories *UL 94* szabványa szerint minősítik *HB*, *V-0*, *V-1*, *V-2* vagy *5V* fokozatúnak. Ugyancsak az alapanyagokat minősítik az *oxigénindexszel (LOI, limiting oxygen index) ISO 4589-2 45* szabvány szerint. Kifejezetten a villamos és elektronikai anyagok és termékek éghetőségének ellenőrzésére szolgál az *EN 60695-2 (IEC 60695-2)* szerinti *izzóhuzalos vizsgálat (GWFI, GWIT érték)*, az *EN 60112 (IEC 60112:2003)* szerinti *kúszóáram-szilárdság (CTI érték)* mérése és az *ASTM D95* szabvány szerinti ívállóság meghatározása.

A Müller cég a halogénmentes csökkentett éghetőségű *Lifoflex UV FLAM* elasztomerek két sorozatát fejlesztette ki. A 600-as sorozat 3,0 mm-es vastagságban, a 700-as sorozat már 1,6 mm-es vastagságban kielégíti az *UL94* szabvány *V-0* fokozatának követelményeit, (azaz a vízszintes próbapálca gyújtás után rövid idővel kialszik, és az

esetleg lehulló ömledékcseppek nem gyűjtják meg a próbatest alatt elhelyezett vattát). Valamennyi típus kiállja az izzóhuzalos próbát. A sorozaton belül az egyes típusok Shore A keménysége 40–90 között változik (1. táblázat). Az elasztomerek színe a fehértől a feketéig bármilyen lehet. Valamennyi típus jól tapad polipropilénhez, sőt poli-
etilénhez is.

1. táblázat

A Lifoflex UV FLAM elasztomerek 600-as és 700-as sorozatának tulajdonságai

Tulajdonság	Egység	UV FLAM	UV FLAM	UV FLAM	UV FLAM	UV FLAM	UV FLAM
600-as sorozat		40600	50600	60600	70600	80600	90600
Keménység	Shore A	40	50	60	70	80	90
Sűrűség	g/cm ³	1,05	1,05	1,03	1,03	1,03	1,03
Húzószilárdság	MPa	2,7	3,9	5,5	6,6	7,5	9,0
Szakadási nyúlás	%	650	740	835	835	770	725
Maradó összenyomódás, 23 °C/72 h	%	24	19	21	29	37	46
Maradó összenyomódás, 70 °C/22 h	%	54	51	49	55	63	72
UL 94 fokozat	–	V-0	V-0	V-0	V-0	V-0	V-0
Izzóhuzalos próba 3,0 mm 650 °C-on	–	megfelel	megfelel	megfelel	megfelel	megfelel	megfelel
Izzóhuzalos próba 3,0 mm, 850 °C-on	–	megfelel	megfelel	megfelel	megfelel	megfelel	megfelel
700-as sorozat		40700	50700	60700	70700	80700	90700
Keménység	Shore A	40	50	60	70	80	90
Sűrűség	g/cm ³	1,10	1,10	1,07	1,07	1,06	1,05
Húzószilárdság	MPa	1,4	2,2	3,6	4,2	5,3	6,4
Szakadási nyúlás	%	460	525	700	730	680	625
Maradó összenyomódás, 23 °C/72 h	%	12	13	16	19	31	42
Maradó összenyomódás, 70 °C/22 h	%	39	39	36	40	48	58
UL 94 fokozat	–	V-0	V-0	V-0	V-0	V-0	V-0
Izzóhuzalos próba, 1,6 mm 650 °C	–	megfelel	megfelel	megfelel	megfelel	megfelel	megfelel
Izzóhuzalos próba, 1,6 mm, 850 °C	–	megfelel	megfelel	megfelel	megfelel	megfelel	megfelel
DIN 5510-2							
-éghetőségi fokozat	–	S3	S3	S3	S3	S3	S3
-csepegési fokozat	–	ST2	ST2	ST2	ST2	ST2	ST2
-füstképzés	–	SR2	SR2	SR2	SR2	SR2	SR2

Az erősebben csökkentett éghetőségű 700-as sorozat tagjai vasúti kocsikban is alkalmazhatók. A DIN 5510-2 szabvány szerint az 500x10x6 mm-es próbatesteknek nemcsak az éghetőségét, hanem a füstképződését és a csepegését is minősítik. A *Lifoflex UV FLAM 70700* jelzésű elasztomerből készített próbatesteket éghetőségük alapján az S3, füstképzésük alapján az SR2, csepegésük alapján az ST2 osztályba sorolták. Égégázainak elemzése is nagyon kedvező eredményeket adott. A *Lifoflex UV FLAM* elasztomert az UL-nél is bevizsgálták és már 1,5 mm-es vastagságban V-0 éghetőségi fokozatba sorolták.

A *Lifoflex UV FLAM* elasztomerek kielégítik a RoHS irányelvek követelményeit is, és összhangban vannak az európai 2003/11/EG direktívával, amely a brómozott bifenilek és difenil-éterek korlátozásáról rendelkezik. .

Koromtartalmú elasztomerek

A műanyagok és a hőre lágyuló elasztomerek is többnyire jó villamos szigetelőanyagok, és az elektrotechnikában általában ezt a tulajdonságukat használják ki. Könnyű feldolgozhatóságuk és formázhatóságuk, jó mechanikai tulajdonságaik, kis sűrűségük és olcsóságuk miatt azonban néha szükség volna arra, hogy vezessék az elektromos áramot.

Vezetőképes TPE-t korom töltőanyag bekeverésével lehet előállítani. Ez jobban összefér az alappolimerrel és olcsóbb is, mint a hasonló célra használt más töltőanyagok (grafit, szénnanocsövek, fémhelyek vagy -szálak). A vezető korom azonban csak akkor tölti be feladatát, ha homogén az eloszlása a polimerben. Bekeverésekor a polimer vezetőképessége nem változik arányosan a bevitt mennyiséggel, ha viszont elér egy kritikus koncentrációt, az ún. perkolációs küszöböt, a vezetőképesség ugrásszerűen megnő. Ennek a koncentrációnak a közelében igen kis koncentrációváltozás igen nagy különbségeket okoz, felette a keverék ellenállása aszimptotikusan közelíti a tiszta adalék ellenállását. Emiatt nagyon nehéz a keverék ellenállását 10^6 - 10^{14} ohm között beállítani, ezért a keverékek legtöbbször a perkolációs küszöbnél több kormot tartalmaznak.

A TPE és más műanyagkeverékek gyártásakor a korom bevitele még ma sem könnyű feladat. A korom általában növeli a viszkozitást és csökkenti a rugalmasságot. Főleg az utóbbi hátrányos az elasztomerek esetében, amelyeket elsősorban a rugalmasságuk miatt alkalmaznak. Korommal különösen nehéz lágy TPE receptúrákat összeállítani, mert a töltőanyag a keménységet is megnöveli.

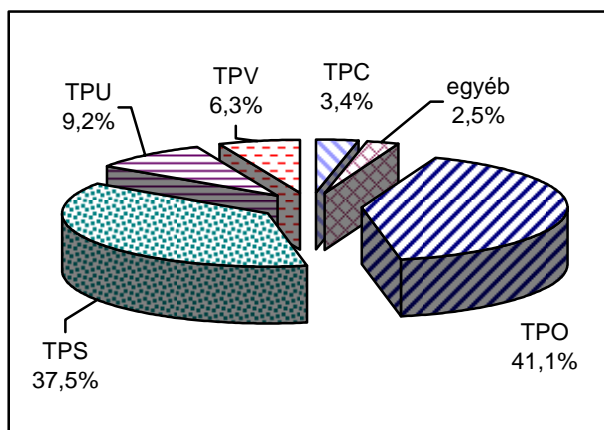
A vezetőképes *Lifoflex* TPE kompaundok térfogati ellenállását 10^1 és kb. 10^5 ohm·m között lehet méretre szabva beállítani. A cég fejlesztőinek sikerült egészen lágy keverékeket is készíteni a jó vezetőképesség megtartása mellett. Ezért a vezetőképes TPE típusok keménysége az alacsony Shore A értékektől a magas Shore D értékekig terjed. Ezek a típusok nemcsak lágyak, hanem rugalmasak és jó a visszaalakulási képességük. A keverékek viszkozitását az igényeknek megfelelően állítják be, ezért jól fröccsenhető és jól extrudálható típusokat is képesek szállítani a megrendelőknek. Bizonyos módosításokkal sikerült a csökkentett éghetőségű és a villamosan vezető

keverékek tapadását növelni, ezért azok a kétkomponensű fröccsöntésben is jól beváltak.

Termoplasztikus poliuretánelasztomerek

A hőre lágyuló poliuretánelasztomerek piaci részesedésük alapján a termoplasztikus elastomerek között a harmadik helyen állnak, de ha figyelembe vesszük a hasonló kémiai felépítésű ömledékragasztókat is, ez a vegyületsorozat évente a világpiacra kb. 1 millió tonnával van jelen. Az alacsony olvadáspontú TPU-kat elsősorban a cipőgyártó ipar és a fóliagyártás használja fel, a keményebb típusokat többféle fóliák tapadórétegeként dolgozzák fel.

Alig van olyan iparág, amelyben nem alkalmaznak TPU-t. Népszerűségét annak köszönheti, hogy rugalmassága, szilárdsága és kopásállósága a saját árkategóriájában a legjobb. További előnye a kellemes fogás. Alkalmazása nélkül a sporteszközök és a sportcipők ma már elképzelhetetlenek. A TPU bevonatok növelik a gépkocsi értékét és tartósságát. A mindennapi életben használt eszközökben is gyakran előfordul (1. ábra).



1. ábra

A világon előállított hőre lágyuló elastomerek (2010-ben 4,1 millió tonna) megoszlása fajták szerint. (TPO olefinalapú, TPS sztirolalapú, TPU poliuretánalapú, TPV térhálósítható, TPC észteralapú hőre lágyuló elastomer)

TPU a háztartásban

Ha valaki kora reggel használja a fogkefét, kemény sztirolkopolimerből készített nyelet tart a kezében, amelynek felületét bársonyos tapintású fedőréteg borítja. Ennek az eszköznek a puha felületét semmiféle koptató hatás nem fenyegeti. Azok a kis spatulák, amelyekkel a kozmetikumokat viszik fel a bőrre, már keményebb, ellenállóbb anyagot igényelnek; az ajakfény felviteléhez használt eszközt pl. 60 Shore A keménységű *Elastollan-poliészter-TPU-ból* készítik (gyártja BASF Polyurethanes GmbH, Lemförde). Ez a TPU típus ugyanis ellenáll az izododekánnak, amelytől számos műanyagot megduzzad. Egy lézeres epilátor fogantyúját halvány színű 90 Shore A keménységű *Elastollan-poliészter-TPU-val* vonták be nagyon vékonyan. A nagyon diszkrét színt csak színező mesterkeverékkel tudták egyenletesen beállítani.

TPU az épületgépészetben

A lágy TPU-t a cipőgyártásban és az autógyártásban (pl. a kellemes tapintású autókulcs fedőrétegeként) azért alkalmazzák, mert nagyon jól tűri a dinamikus fárasztást. De az épületgépészetben is fontos szerepet kap.

Az áruházak mozgólépcsőit kísérő gumikorlát is készülhet TPU-ból. Ez nemcsak a kéznek okoz jó érzést, hanem a szemnek is, mert a megszokott fekete helyett bármilyen színű lehet, sőt átlászó is, és a mozgó korlát alá bármilyen felirat felvihető. A hőre lágyuló anyag felújításkor is előnyös, mert míg egy gumikorlát cseréje 6-8 óráig is eltarthat, a TPU korláté legfeljebb 2-3 óra. A hőre lágyuló elasztomert végtelenítéskor ugyanis össze lehet hegeszteni, a gumit viszont vulkanizálni kell.



2. ábra Zsinórokból felépített szállítószalag egy élelmiszeripari üzemben

Különösen értékelendő a TPU kopásállósága a hajtószíjakban. Az erős hajtószíjak acélsodronyait ezért ilyen elasztomerbe ágyazzák, hogy megvédjék őket a korróziótól és a sérüléstől. Korszerű felvonók hajtásához többnyire lapos szíjakat alkalmaznak, amelyek a nagyobb felület miatt nagyobb biztonságot adnak. A felvonótechnikában alkalmazott kenőolaj a TPU-ra nincs hatással, a TPU jobb siklása miatt ehhez a gumival összehasonlítva kevesebb olajra van szükség.

A TPU szállítószalagokat az élelmiszeripar is használja, mert bizonyos *Elastollan* típusok megkapták az erre feljogosító engedélyt. A típusok nagy választéka szabad kezet ad a szállítórendszer tervezőinek a rendszer kialakításában. Egy 90/95 Shore A keménységű *Elastollan TPU-ból* készített rekeszes rendszerrel pl. apró töltött tésztaféléket, tortellinét szállítanak a gyártási helyen úgy, hogy sem a szállítószalag, sem a szállított áru nem sérül meg útközben.

A tervezők fantáziáját alig korlátozza bármi. Fényálló, nagyon lágy (Shore D keménységű) átlászó *Elastollannal* pl. kávéautomatát vontak be kívülről, amelyet egy

fényforrás teljes felületén világítóvá tesz. Ilyen hatást eddig csak merev anyagokkal és több fényforrással lehetett elérni. A felhasznált TPU nagyon jól átlátszóságát gyenge kristályosodásának köszönheti, amit izocianát adagolásával értek el. A gyakorlatilag amorf TPU a fény hatására nem sárgul el.

TPU a szabadidő- és sporteszközökben

A TPU-t gyakran alkalmazzák fólia formájában, elsősorban a ruházat vízgőzát-eresztésének érdekében. A sportdzsekik jól védenek a szél és az eső ellen, de az izzadásgból eredő vízgőzt át kell engedniük. A Gore-Tex cég (Newark, Delaware, USA) ezt erősen megnyújtott és emiatt pórúsossá vált poli(tetrafluor-etilén) (PTFE, *Teflon*) fólia textilfelületre vitelével oldotta meg. Ez a fólia azonban nem elasztikus, csak vékonysága miatt hajlékony és emiatt követi a kelme mozgását. A TPU is vízgőzát-eresztővé tehető, és nagyobb szakítószilárdsága, továbbá hegeszthetősége révén megszünteti az esőkabátok gyenge pontjait a varrásoknál és a cippzárnál. A TPU-val laminált textilek moshatósága javul, a ruhadarabok élettartama megnő, és az ilyen textilek hordás közben nem zizegnek. Emiatt sportolás közben kellemesebb a viselésük.

A TPU fóliák ugyanolyan jó légzáróak is lehetnek, mint a butilkaucsuk fóliák. Mivel a levegő apoláris, a poliészter-TPU poláris, a TPU membránok megakadályozzák a légcserét. Ezért az Uhlsport GmbH (Balingen, Németország) futball-labdáit TPU bevonattal látja el. Emiatt a labda hosszú ideig megőrzi ruganyosságát.

A sportsérülések ellátásában is szerepe van a TPU-nak. A 80 Shore A keménységű vízgőzát-eresztő sebtapaszkok gyorsítják a gyógyulást és megvédik a sebet a külső hatásoktól. Ilyen tapasztalatokat használnak bőrátültetéskor is. Ugyancsak sebkezeléshez TPU-ból gyártanak rugalmas nem szőtt kelméket és pólyákat ömledékfúvással (meltblow technology) vagy finom extrudált szálak „fonásával” (spunbond technology).

Összeállította: Pál Károlyné

Berg, CH.: Elektrisch leitfähig und flammgeschützt = Kunststoffe, 103. k. 2. sz. 2013. p. 38–41.

Müller Kunststoffe – a Hexpol company = www.mueller-kunststoffe.com

Scholz, G.: Verborgen im Alltag = Kunststoffe, 103. k. 5. sz. 2013. p. 70–73.

Volta belting technology = www.boltatechnik.com