

A sztatikus elektromosság és az elektromágneses sugárzás elleni védekezés a műanyagok alkalmazásának egyik kulcskérdése

A cikkben a sztatikus töltés levezetésére alkalmas műanyag kompaudok néhány példájával foglalkozunk, amelyek szén alapú töltőanyagokat (szén nanocső, korom stb.), nanoméretű alumínium töltőanyagot vagy szerves antisztatikumokat tartalmaznak. A töltőanyag méretétől és szerkezetétől függ, hogy milyen koncentrációnál lépe fel a vezetés, de keverék polimer mátrix alkalmazásával ez a koncentráció csökkenthető.

Tárgyszavak: fajlagos vezetőképesség, vezető adalékok, kompaundok

A sztatikus elektromosság elleni védekezés: 50 éves történet

Az elektrosztatikus jelenségek fizikája évszázadok óta nem változik, de ismereteink, a mérési módszerek és a hatásos védekezési eszközök folyamatosan fejlődtek. A sztatikus elektromosság elleni modern védekezés a hatvanas évek végén kezdődött. Ekkor kezdték alkalmazni a korommal töltött és a speciális szerves anyaggal kezelt vezetőképes műanyagokat az elektronikai alkatrészek csomagolására. A hetvenes évek közepén speciális munkafelületek és padlóburkolók jelentek meg, ami ugyancsak a sztatikus feltöltődésre irányította a figyelmet. 1979-ben tartották az első EOS/ESD (Electrical Overstress/ElectroStatic Discharge) konferenciát, 2021. szeptemberben pedig már a 44. kerül megrendezésre. Az első vonatkozó szabványt 1988-ban bocsátották ki az ESD-érzékeny elektronikai eszközök csomagolására.

Az 1982-ben alapított EOS/ESD (ESDA) szövetség szabványosítási bizottsága 1982-ben dolgozta ki az ESD védő csuklópánt szabványát, amelyet az azóta eltelt 40 év alatt természetesen továbbiak követtek. Elsősorban az automatizálás jelentett új igényeket a védelmi eszközök és a tesztek szabványosítása területén. Ez a munka a késői nyolcvanas évek és a kilencvenes évek vége között volt a legintenzívebb, de ma is folyik az ESDA vezetésével és mintegy 200 aktív tag részvételével. 1999-ben fogadták el az ANSI/ESD S20.20 szabványt, amely az ESD auditálási programok alapját adja. Mára már többszáz intézményt tanúsítottak világszerte, és közben több új tanúsítási program is született. A szabványok létrejötte és az antisztatikus anyagok alkalmazása szükségessé tette a sztatikus feltöltődés mérésére szolgáló műszerek – a szigetelési ellenállást mérő „meggerek” és az elektrosztatikus télerőmérők (mezőmérők) – kifejlesztését is.

Napjainkban az elektrosztatikus feltöltődés elsősorban az elektronikai eszközök és alkatrészek automatizált rendszerekben történő előállításánál jelent kihívást. Egyértelmű, hogy az érzékeny tárgyakkal dolgozó személyzetnek a munka teljes idejében földelve kell lennie. Ez elsősorban a cipők és a padlóburkolat megfelelő kialakításával érhető el megbízhatóan, de a több évtizede kifejlesztett védő csuklópántot ma is milliószámra használják az 1982-es szabvány megszületése óta. A modern üzemekben az elektrosztatikusan védett területek (Electrostatic

protected area – EPA) értékelésében a cipőkre és a padlóra vonatkozó tesztek jelentősége főleg azóta nőtt meg, mióta az automatizált munkamódszerek mobil személyzet alkalmazását igénylik a korábbi ültetett munkarend helyett.

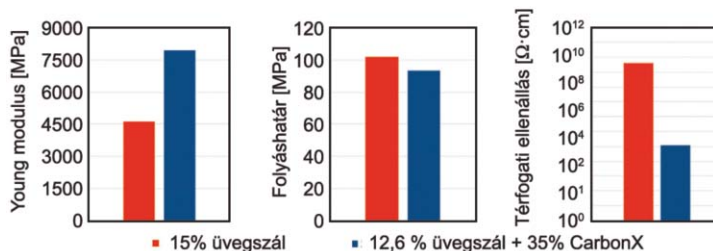
A szabványosítási tevékenység további lépéseként létrejött egy harmonizált szabvány az emberi testtel kapcsolatos követelményekre (human body model – HBM), valamint egy minősítési rendszer a gépekre és a készülékekre (machine model – MM). Az utóbbi 5–8 évben a fejlesztések iránya a készülék tesztek és az érzékenységi szintek összekapcsolása az adott üzemben folyó gyártással. A szabványos gyakorlatokat bemutató dokumentumok és az új mérőeszközök – pl. a nagy impedanciájú voltmérők és a sztatikus elektromosság-érzékelők – jelentősen segítik az automatizált berendezések értékelését a sztatikus feltöltődés szempontjából.

A műanyagok módosítása az elektromos vezetőképesség növelése érdekében

Az elektronikai eszközök, az elektromos gépkocsik és a gyártásukhoz alkalmazott műanyagok mennyiségének folyamatos növekedése egyre fontosabbá teszi a sztatikus feltöltődés és az elektromágneses sugárzás elleni védekezés kérdését. Az elektronikai eszközök házaként a fémek alternatívájaként a kis súlyú vezetőképes műanyagok jelentik az adekvát megoldást. Hasonlóan az elektronikai eszközökben használt alkatrészek anyagaként csak olyan műanyag használható, amely védve van a környezetből jövő elektromágneses sugárzás káros hatásától. Az antisztatikus piac évenkénti átlagos növekedését 2019–2024 között évenként 6,3%-ra prognosztizálják.

Módosítás széntartalmú adalékokkal

Az adalékok nagy csoportjában a vezetőképességet az elemi szén biztosítja. Az adalékokban a szén különböző formáit használják. Leggyakrabban a kormot (carbon black) használják, de egyre inkább terjed a szén nanocsövek és legújabban a porózus szén használata. Ez utóbbit tartalmazák a holland **CarbonX** cég hasonló nevű adalékanyagai, amelyekben a porózus szerkezetet kémiaiilag kötődő nanoszálak háromdimenziós hálójá adja. A korommal szemben ennél a formánál nem lép fel a széntartalom növelésével fellépő viszkozitás növekedés. A jó diszperzióknak köszönhetően a *CarbonX* adalékkal nagyon homogén kompaundok állíthatók elő, amelyek a jó vezetőképesség mellett jó mechanikai tulajdonságokkal is rendelkeznek, sőt a CarbonX kifejezetten erősítő hatással bír. Az 1. ábrán látható, hogy amennyiben egy PA6 alapú kompaundban az üvegszál egy részét a CarbonX-szel helyettesítették, a szilárdsági tulajdonságok javultak, és a folyáshatár csak kismértékben csökkent. A CarbonX-et tartalmazó kompaundok jó elektromágneses árnyékoló képessége alapján nagyon alkalmasak az akkumulátorok körüli és a motortéri alkatrészek gyártására. Készítenek ebből a kompaundból csomagoló eszközöket is elektronikai eszközök, vagy gyúlékony anyagok szállítására.



1. ábra. Üvegszálat és CarbonX-t tartalmazó PA6 kompaundok mechanikai tulajdonságainak összehasonlítása

A belga **Nanocyl** cég szén nanocsövet (carbon nanotube – CNT) tartalmazó mesterkeverékeket forgalmaz *Plasticyl* néven. A szén nanocsövek hatásossága a hosszirányú hengeres szerkezettel függ össze. A Nanocyl a többfalú szén nanocsövek (multiwall – MWCNT) vezető gyártója. A cég a saját többfalú nanocsövét, az *NC 7000 MWNCT*-t használja. Ennek az adaléknak a

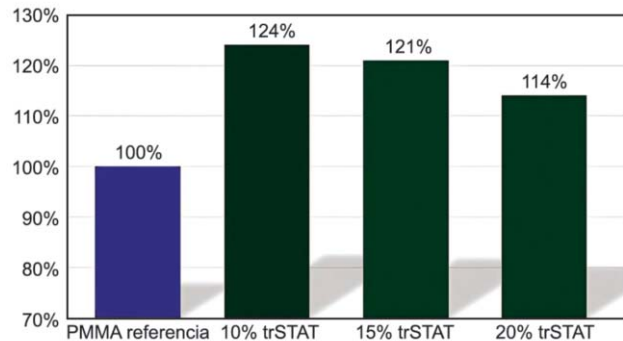
nanocsövei a polimermátrixban rugalmasan összekapcsolódva hálószerű szerkezetet alkotnak. A jó diszpergálódásnak köszönhetően az adalék már kis koncentrációban (3% körül) is lehetővé teszi az elektrosztatikus feltöltődés megelőzését anélkül, hogy a mechanikai tulajdonságok romlanának. A szén nanocsövekkel vezetőképessé tett műanyag a cég szerint alkalmas az elektrosztatikus porfestésre is.

A fenntarthatósági és a gazdasági szempontok alapján egyre nő az igény ezen a területen is a reciklált szénszál iránt, amelynek erősítő és vezető tulajdonságai hasonlóak a primer száléhoz, de mind az ára, mind pedig a környezeti lábnyoma jóval alacsonyabb. Az ugyancsak belga **Procotex** cég franciaországi leányvállalata, az **Apply Carbon** elsősorban a jobb minőségű gyártási hulladékból alakította ki termékcsaládját, amelyben őrölt, vágott és granulált reciklált szénszálakat kínál. A termékek felületi kezelését az erősítendő mátrixhoz igazítják. Legújabb fejlesztésük a mm méretű hosszú szálú reciklált szénszál jól adagolható pellet formában. A szénszálak mellett a cég más műszaki szálakból is kínál reciklált termékeket.

A koromra specializálódott amerikai **Cabot Corporation** is több új, kormot tartalmazó vezetőképes terméket fejlesztett ki, adalékokat, koncentrátumokat és kompaundokat elsősorban a sztirolból készülő ipari csomagolóeszközökhöz, ahol követelmény a vezető-képesség. Két új termékét, a *Cabelec CA6483* és *CC6532* nevű koncentrátumokat ABS termékekhez fejlesztették ki. Ezeken kívül nanoszerkezetű korom koncentrátumot is gyártanak, amely alacsony koncentrációban ér el jó vezetőképességet, így használatakor kisebb a porképződés.

A brit **Colloids** cég standard *E-TEC* termékeik mellett egyre több vevőigényre fejlesztett új típust gyártanak. Partnereikkel együttműködve együtt végzik a fejlesztést a felhasználás igényeit kielégítő kompaundig.

Az angliai székhelyű **Croda Polymer Additives** cég a közelmúltban lépett piacra legújabb permanens antisztatikus hatást adó *Ionphase trSTAT* termékét, amelyet többek között átlátszó PMMA-hoz javasolnak. Az adalékkal 10^9 – 10^{11} Ω fajlagos felületi ellenállás érhető el, ami elegendő védelmet ad az elektrosztatikus feltöltődés ellen. A cég adatai szerint az *Ionphase trSTAT* pozitív hatással van a mechanikai tulajdonságokra is, amint ez a 2. ábrán jól látható.



2. ábra. Az *Ionphase trSTAT* adalék hatása a PMMA ütésállóságára. A 100% a nem adalékolt PMMA-ra vonatkozik (2,9 kJ/m², Charpy „A” horony, ISO 179).

A japán **Adeka** cég új permanens antisztatikumot fejlesztett ki *ADKStab AS-302* néven. Az új termékkel 106 Ω fajlagos felületi ellenállást lehet elérni. A porképződés megelőzéséhez 5–10%, ESD tulajdonság eléréséhez (elektrosztatikus feltöltődés megelőzése –ESD) 10–20% adagolás szükséges. Az adalékot pellet formában szállítják, ami biztosítja a jó adagolhatóságot akár közvetlenül a fröccsöntésnél is. Az *ADKStab AS-302* hőstabilitása megfelelő a műszaki műanyagokban – PA, PET és POM-ben való használatra is, és többször is reciklálható. Korábbi *ADKStab AS-301* típusukról kimutatták, hogy nemcsak PP-hez használható. Kiderült, hogy PC fóliában és lemezben az antisztatizálás mellett a konkurens termékekkel összehasonlítva kevésbé rontja az átlátszóságot.

A kompaundáló cégek választékában is egyre fontosabb szerepet játszanak a vezetőképes kompaundok. A holland **Witcom Engineering Plastics** különböző polimerekkel kínál elektromosan vezető kompaundokat. Különösen sikeres a vezetőképes POM termékük, amely nagyon jól extrudálható, és jól használható elektronikai alkatrészek gyártására. Jó ár-érték arányú elektromágneses árnyékoló hatással rendelkező kompaundjaikat egyre nagyobb mértékben használják fém helyettesítésére. A török **Tisan Engineering Plastics** szénttartalmú adalékokkal (korom vagy szál) és más antisztatikumokkal gyárt PP, PE, PS és PET kompaundokat 10^3 – 10^{12} Ω fajlagos felületi ellenállás tartományban. A közelmúltban indult el *ProVinyl KCC* vezetőképes PVC termékcsaládjával a francia **Benvic** cég. A lágy PVC-vel a különböző speciális kábelek gyártóit célozzák meg.

Alumíniumtartalmú elektromosan vezető polimer blend

Egy viszonylag friss kutatásban nanoméretű alumínium lemezekkel tettek vezetőképesé egy 60/40 PBT/PET polimerblendet. A szerzők abból indultak ki, hogy vezetőképes töltőanyagok hatásosabban növelik a vezetőképeséget egy keverékben, mint egy homopolimerben. Ehhez a polimerblendnek „co-continuous” szerkezetűnek kell lenni (erre a magyar terminológiában a „háló a hálóban” szerkezet terjedt el), azaz mindkét polimer gyakorlatilag folytonos fázist alkot és így hoz létre egy egymásba fonódó hálószerkezetet. A kutatást végzők szerint ez a szerkezet nagymértékben támogatja a vezetőképeséghez szükséges összefüggő vezetőképes háló kialakítását az adalékból, jelen esetben az alumínium lemezekből.

A fémlamezkek adagolása előtt a polimer blendet 120°C -on szárították, hogy elkerüljék a hidrolízist. A polimer blend granulátumokat és az alumínium nanoméretű lemezeket fizikailag keverték össze 24 – 26°C -on 6 bar nyomáson mindössze 45 mp alatt.

Az eredmények szerint a homofób PET polimerben 25% alumínium adalékkal a fajlagos térfogati ellenállás 10^{14} $\Omega\cdot\text{cm}$ volt, vagyis a polimer szigetelő maradt. Ugyanezzel a mennyiséggel a PBT/PET blend fajlagos térfogati ellenállása $7,2\cdot 10^7$ $\Omega\cdot\text{cm}$ -re csökkent, vagyis a keverék képesé vált az elektrosztatikus feltöltődés eliminálására. Egyidejűleg a hővezetőképeség is kétszeresére nőtt. A mechanikai paraméterek közül a húzó modulus és szilárdság növekedett, a többi tulajdonság is elfogadható volt. A 150°C -ra történő melegítés hatására fellépő zsugorodás 1%-nál kisebb volt. A fentiek alapján egyértelmű, hogy a 60/40 PBT/PET mátrix alkalmasabb a vezetőképes kompaund előállítására, mint az amorf PET.

Összeállította: Máthé Csabáné dr.

Swenson, D., Kinneer, J.: Controlling Static Electricity: 50-Year History – In Compliance Magazine 2022. április

www.incompliancemag.com

Mapleston, P.: Innovative options to tackle static and ESD – COMPOUNDING WORLD 2021. február p. 17–25. és

www.compoundingworld.com

Alhamidi, A., Anis, A., Al-Zahrani, S.M. és mások: Conductive Plastics from Al-Platelets in a PBT/PET polyester Blend having Co.Continuous Morphology – Polymers 14(6), 1092

www.mdpi.com/2073-4360/14/6/1092