

Vezetőképes és hővezető műanyagok

A műanyagok szerkezetükből adódóan általában szigetelők a villamos árammal szemben. Bizonyos alkalmazások – pl. az üzemanyagcellák – azonban vezető műanyagokat igényelnek. A műanyagok vezetővé tételére több módszer ismeretes, ezeket folyamatosan fejlesztik a vezetőképesség növelése és a költségek csökkentése érdekében.

Tárgyszavak: vezetőképes műanyagok; üzemanyagcellák; grafit; korom; műszaki műanyagok; szénnanocső; kompaundok; autóipar.

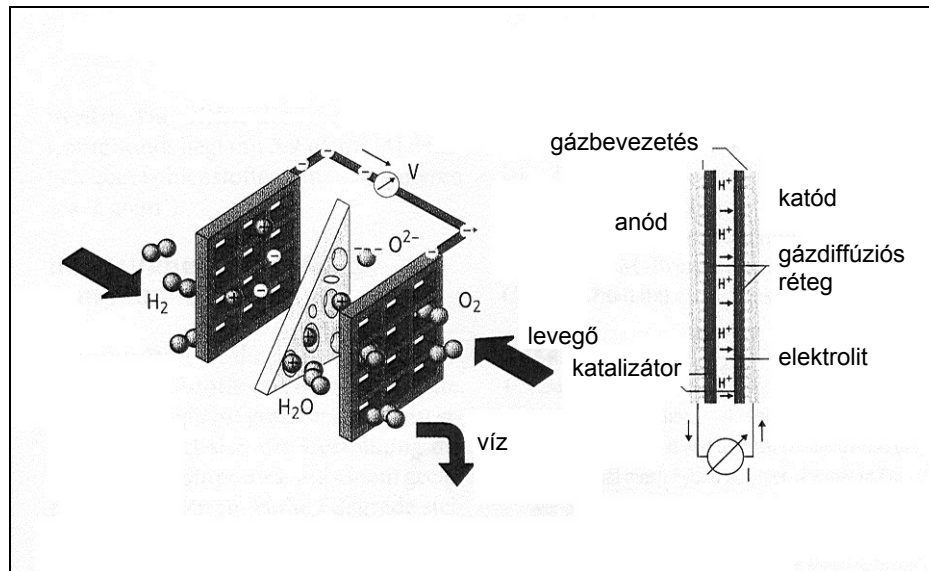
Bipoláris lemezek vezető műanyagból

Ha a jövőben komolyan akarják venni a villamos hajtású autók elterjedését, ki kell fejleszteni a megfelelő hatékonyságú áramforrásokat. Itt az akkumulátorok mellett az *üzemanyagcellák* jönnek elősorban számításba, mint amelyek nagyobb hatékonysággal alakítják át a kémiai energiát villamossággá. Az üzemanyagcellák elve, sőt alapvető konstrukciója is régen ismert, de korábban csak olyan területeken terjedtek el, ahol az ár nem volt döntő tényező: tengeralattjárókon és az űrhajózásban. Később megjelentek a szünetmentes áramforrásokban és a helyi energiaellátásban is. Az autóipar is hosszabb ideje foglalkozik ennek az ígéretes energiaforrásnak a fejlesztésével, ezen a területen a hidrogén-oxigén alapú, polimer-elektrolit membránnal (PEM) működő áramforrások jutottak a legmesszebb.

A Pfinztalban és a Wolfsburgban működő, kémiai technológiára specializálódott **Fraunhofer Intézet (ICT)** több innovatív megoldást fejlesztett ki ezen a területen. Az *1. ábra* mutatja egy ilyen üzemanyagcella elvi felépítését és működését. A tüzelőanyag (itt a hidrogén) az anódon elektronleadással hidrogénionokká oxidálódik, amelyek diffúzió útján jutnak át a katódhoz, ahol az oxigénmolekulákból képződő oxigénatomokat az áramkörön (tehát a másik ágon) mozgó elektronok oxigénionokká redukálják, és ezek egyesülnek a hidrogénionokkal vízképződés közben. Az elektronok eközben az áramkörben mozogva a fogyasztókon áthaladva hasznos munkát végeznek.

A feszültség növelése érdekében több cellát sorba kapcsolnak egy „rakatot” készítve belőle. Ebben fontos szerepet játszanak az ún. *bipoláris lemezek*, amelyek anyagukban elválasztják egymástól a cellákat, ugyanakkor lehetővé teszik a villamos kapcsolatot a két szomszédos cella között. A reagáló gázoknak jól el kell oszlania a felület menti katalizátorrétegen, és a felületnek el kell vezetnie a képződő vizet és vízgőzt. A bipoláris lemez gondoskodik a hő elvezetéséről is. A bipoláris lemez alapanyagával szemben számos követelmény áll fenn: a kis tömeg, a jó villamos vezetőképesség, a kis hőkapacitás, a jó megmunkálhatóság, a nagy kémiai stabilitás és a megfelelő ár. Az

egyik hagyományosan felhasznált alapanyag a grafit, amelynek kitűnő a villamos vezetőképessége (10^4 S/cm), a korrózióállósága és kicsi a sűrűsége. Hátrányt jelent viszont, hogy a grafit rideg, ezért nehéz benne kialakítani az áramlási csatornákat, amelyek a gázok oda- és elvezetéséhez szükségesek. Készíthető a bipoláris lemez fémről is, de ehhez korrózióálló, erősen ötvözött acélok kellene, amelyek vezetőképessége és mechanikai tulajdonságai nem a legkedvezőbbek, és sűrűségük is nagy.



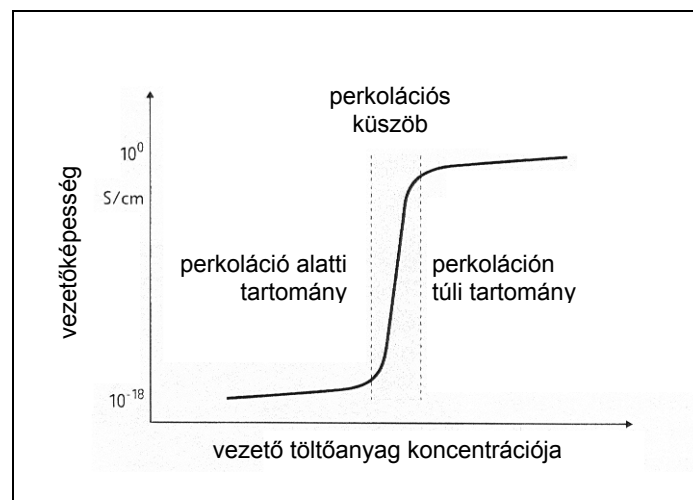
1. ábra A polimer-elektrolit membrán felépítésű üzemanyagcella működési elve

Jó alternatívát kínálnak a vezetőképes műanyag kompaundok, amelyek könnyen, jól alakíthatók, itt a legnagyobb problémát a megfelelő vezetőképességi szint elérése jelenti. A polimerek ugyanis önmagukban szigetelő anyagok, a bipoláris lemezek gyártásához pedig minimum 10^2 S/cm fajlagos vezetőképesség kell. *A polimerek kétféle módon tehetők vezetővé: vagy vezető adalékok hozzáadásával (ún. extrinsic v. külső vezetők), vagy szerkezetéből adódóan vezető polimerek (ún. intrinsic vagy belső vezetők) felhasználásával.* A műanyagmátrix megválasztásakor figyelembe kell venni az üzemanyagcella működési hőmérsékletét, a korrózióállósági és a mechanikai követelményeket. Alacsony hőmérsékleten működő üzemanyagcellák esetében elegendő az olyan hagyományos műanyagok alkalmazása, mint amilyen a polipropilén, ha azonban magas hőmérsékleten (pl. 160 °C) működő üzemanyagcelláról van szó, akkor hőálló műszaki műanyagokat kell felhasználni. Erre a célra a legkülönbözőbb hőre lágyuló (pl. PA), hőre keményedő (pl. fenol-formaldehid) és nagy teljesítőképességű hőre lágyuló (pl. folyadékkristályos) polimerek jönnek szóba.

Töltőanyagok hatása a vezetőképességre

A legtöbbször szénalapú vezető adalékokat használnak, például grafitot vagy vezető kormot. Számításba jönnek még fémporok, fém- és szénszálak. A felhasználandó

töltőanyag mennyisége az ún. *perkolációs küszöbtől függ*, ami az a térfogattört (vagy tömegtört) érték, ami felett a szigetelő műanyag vezetőképessége nagyságrendekkel nőni kezd (2. ábra). E fölött a küszöbérték fölött további töltőanyag hozzáadása már nem emeli meredeken a vezetőképességet. Azt is figyelembe kell venni, hogy a hozzáadott töltőanyag megváltoztatja (többnyire rontja) az anyag feldolgozhatóságát és mechanikai jellemzőit. Ezért általános alapelv, hogy egyensúlyt kell találni a szükséges szintű vezetőképesség és a mechanikai jellemzők között. *A különböző töltőanyagok keverékeivel sokszor jobb vezetőképességet lehet elérni*. Ha például egy grafittal töltött rendszerhez vezető kormot adnak, az elágazó koromrészecskék hidat képezhetnek a grafitrészecskék között, ezzel csökkentve a perkolációs küszöböt vagy adott grafitkoncentrációnál növelve vezetőképességet.



2. ábra A vezetőképesség növekedésének sematikus változása egy műanyagkeverékben a vezető adalék mennyiségének függvényében

A nanotechnológia alkalmazása további előnyöket jelent. Pl. 1–2% szénnanocső adagolása egy polimer-grafit kompaund vezetőképességét jelentős mértékben növeli. Szóba jöhet fémszálak (acélszál, rézszál, rézötvözet) alkalmazása is, amelyekkel akár 10^4 S/cm nagyságrendű vezetőképesség is elérhető – de ezeknek a kompaundoknak a sűrűsége 4 g/cm^3 körül van, szemben a széntartalmú kompaundok 2 g/cm^3 körüli sűrűségével.

Nagy töltöttségi fokú kompaundok előállítás és feldolgozása

A bipoláris lemezekben nagyon fontos a vezető adalék egyenletes eloszlása, amihez speciális extrudereket kell felhasználni. Ehhez többnyire egy irányban forgó, egymásra fonódó kétcsigás rendszereket használnak, mert ezekben jelentős öntisztító hatás lép fel, és kisebb az esélye, hogy agglomerátum képződjön. Az említett Fraunhofer Intézetben nemcsak a kompaundálással, hanem az erősen töltött műanyagok bipoláris

lemezekké történő feldolgozásával is foglalkoznak. Kisebb darabszám esetében az extrúziós és prézelési technológia kombinációja a gazdaságosabb, nagyobb sorozatoknál pedig a fröccsöntés a jobb megoldás.

Vezető műanyagok alkalmazása a motortérben

A műanyagok autóiipari alkalmazása évről évre nő, jelenleg autónként kb. 100 kg-t tesz ki. Ez nagyon sokféle alkalmazásra kiterjed, pl. kábelszigetelés, ütközők, armatúrák, fényszórólencsék, ülések, folyadéktartályok, borítások stb. A műanyagok könnyen és sokféleképpen feldolgozhatók, könnyűek és jó a térkitöltésük, szabadon tervezhető alakú termékeket lehet belőlük gyártani. Az üzemanyag és egyéb folyadéktartályokat meg lehet úgy tervezni, hogy éppen a rendelkezésre álló szabad teret töltsék ki. Funkcionális töltőanyagok, pl. szénnanocsövek (CNT) felhasználásával fém-szerű tulajdonságok érhetők el. A szénnanocsövek grafitjellegű monorétegből épülnek fel (egy vagy több ilyen réteg is lehet), amelyek nm nagyságrendű átmérőjű csöveket alkotnak, amelyek hossza sokkal nagyobb átmérőjüknél. Ezek a töltőanyagok egyszerre növelik a villamos és a hővezető képességet, valamint a mechanikai tulajdonságokat. A CNT és egyéb adalékanyagok változtatásával kompaundok széles köre állítható elő, amelyek tulajdonságai (akárcsak a mátrixpolimereké) a hőmérséklettől is függnék. *A szénnanocsövek alkalmazásának különös jelentősége van a hőállóságot is megkövetelő, motortérbeli alkalmazásokban.* Igen fontos a hosszú távú terhelhetőség növelése mind mechanikai, mind termikus értelemben. Az osztrák **C-Polymers** cég *széncsőtartalmú mesterkeverékeket (CPM) és kompaundokat (CPC)* is gyárt és fejleszt. Mérték a kompaundok sűrűségét (ρ), fajhőjét (c_p) és ún. hőmérséklet-vezető képességét (a), amelyből az alábbi egyenlet segítségével számítható ki a hővezető képesség:

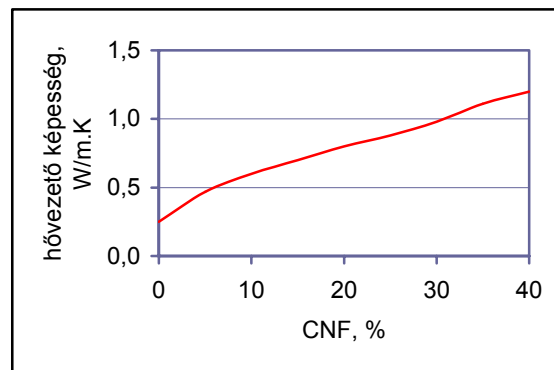
$$\lambda(T) = \rho(T)c_p(T)a(T)$$

Termikus és mechanikai stabilitás

A hőmérséklettől függő vezetőképességet és a fajhőt egy **Netzsch LFA 447** berendezéssel mérték, amely az *ASTM E-1461*, a *DIN 30905* és a *DIN EN 821* szerint méri ezeket a jellemzőket. Az úgynevezett flash (villanás) módszer segítségével 10 °C és 150 °C között öt hőmérsékleten mérik az adatokat. A fajhőt egy standard anyaghoz képest állapítják meg, a sűrűséget pedig egy hidrosztatikus mérleggel, a felhajtóerő és a levegőben mért tömeg összehasonlításával. A hőállóságot kétféle módszerrel is lehet mérni. Az egyik az ún. HDT (terhelés alatti behajlás) vizsgálata, ahol egy terhelt mintát fokozatosan növekvő hőmérsékletű fürdőbe merítenek és mérik azt a hőmérsékletet, ahol a behajlás egy előre meghatározott határértéket elér. A másik a Vicat féle lágyuláspont meghatározásának módszere, amely egy profil behatolását méri a próbatestbe a hőmérséklet függvényében.

A hagyományos műanyagok hővezető képessége általában 0,1 és 0,4 W/mK között van. Szénnanocsövek és egyéb (ásványi) anyagok hozzáadásával ez az érték meg-

sokszorozható, akár a 8 W/mK értéket is elérheti. A hővezető CPC kompaundokat olyan helyen alkalmazzák, ahol el kell kerülni a műanyag alkatrész túlmelegedését. *A nagyobb hővezető képesség javítja a hőleadást, ezért kisebb a túlmelegedés veszélye.* A fröccsöntés lehetővé teszi, hogy strukturált hőleadó felületeket alakítsanak ki az alkatrészek felületén. A nagy hővezető képességű anyagok alkalmasak siklócsapágyak készítésére is. A motortérben ilyen anyagokból szívesen készítenek alkatrészeket a levegőkezelő és a kipufogórendszerhez is, de használják a kormánymű és a meghajtás alkatrészei gyártására is. Szénszállal kombinált formában fémkiváltásra is alkalmasak különböző házelemek gyártásánál. A szénnanoszállakkal kombinált nagy teljesítményű műanyagok nemcsak villamos vezetőképességük tekintetében egyedülállóak, hanem kis sűrűségükkel, nagy szilárdságukkal és merevségükkel is kitűnnek. Ez alkalmassá teszi őket nagy dinamikus terhelésnek kitett alkatrészek gyártására, akár fémek kiváltására is. Az ilyen alapanyagokból olcsóbban lehet könnyebb elemeket készíteni, mint fémekből, amelyek kisebb hőtágulást és nagy méretpontosságot mutatnak. *330 MPa körüli szakítószilárdság és 30 GPa modulusértékek érhetők el.* A mérésekből kiderült, hogy a nanocső-töltőanyagokkal a magas hőmérsékletű tartós terhelhetőség jelentősen megnő.



3. ábra PA66 alapú szénnanocső-kompaund (CPC) hővezető képessége a töltőanyag-tartalom függvényében

A 3. ábrán egy PA66 alapú CPC kompaund vezetőképessége látható a töltőanyag-tartalom függvényében, amely a jelzett tartományban közel lineáris összefüggéssel írható le. Ma az autók motorterében több alkatrész (pl. motorház, hűtővízrendszer elemei) tipikusan 30% üvegszáltartalmú PA66-ból készül, mert a PA66 hidrolízis- és vegyszerállósága kitűnő. Az új, megnövelt hővezető képességű kompaundok a nagy teljesítményű turbómotorokban is sikerrel alkalmazhatók.

Összeállította: Dr. Bánhegyi György
www.polygon-consulting.ini.hu

Schmidt, K.: Leicht und kontaktfähig = Kunststoffe, 100. k. 6. sz. 2010. p. 63–65.

Eder, A.: Motornah im Einsatz = Plastverarbeiter, 61. k. 3. sz. 2010. p. 48–49.