

## Extrém nagy töltöttségű műanyag kompaundok

A műanyagok olyan mértékben tölthetők fémmel, hogy az ólom és más nehézfémek szerepét is átvállalhatják a nagy energiájú elektromágnes sugárzás árnyékolásában. A vezetőképes műanyag kompaundokat is fejlesztik, amelyek ugyancsak fémeket helyettesítenek. A kormot, grafitot, szénnanocsövet tartalmazó kompaundokat, ill. termékeket elsősorban akkumulátorokban, üzemanyagcellákban alkalmazzák.

*Tárgyszavak: műanyag-feldolgozás; fémek helyettesítése; kompaundok; korm; grafit; szénnanocső.*

## Sugárvédelem volfrámtartalmú kompaunddal

A nagy energiájú elektromágneses sugárzások elleni védelem hagyományos eszköze az ólom és más nehézfémek. Ezeket alkalmazták eddig a sugárzást használó orvosi műszerekben, például a CT készülékekben. Az ólom azonban jelentős környezeti kockázatot jelent: részben mérgező, részben pedig a természetben vagy nem, vagy rendkívül lassan bomlik el. Ezért egy EU irányelv 0,1 %(m/m)-ban maximálja az elektromos és elektronikai készülékekben az ólom használatát, sőt várható a teljes betiltás is. Ráadásul az ólom és a többi nehézfém megmunkálása a műszergyártás céljaira meglehetősen drága, mivel ezek a fémek csak lemez vagy rúd formájában kaphatók.

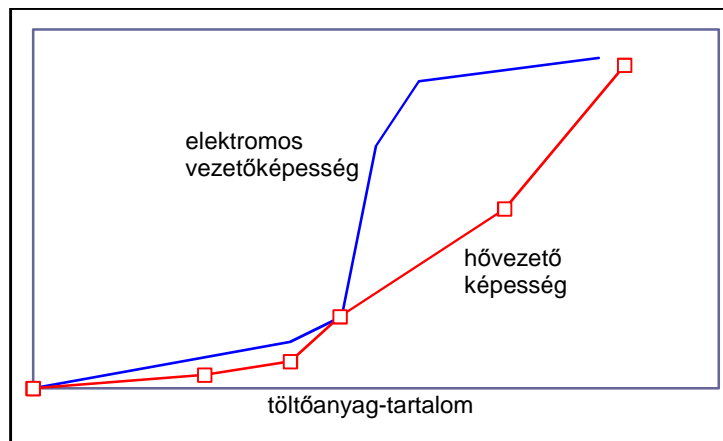
Egy új fejlesztés eredményeképpen a Reiter HG Geiger Kunststofftechnik GmbH a PolyOne sugárvédelmet biztosító speciális termékét felhasználva fröccsöntéssel állítja elő az orvosi műszerekben igényelt árnyékoló alkatrészeket. Az alapanyagként használt terméket „Trillant healthcare radiation shielding compound” megnevezéssel forgalmazzák. *Összetétele: 90% volfrámmal töltött PA 12.* Ez az anyag 140 keV energiáig képes a röntgensugárzást árnyékolni, ami megegyezik az ólom árnyékoló hatásával. Mivel a kompaundban a fémrészecskék eloszlása teljesen homogén, nem állnak elő ún. hot-spotok, amelyeknél a védelem gyengébb.

A rendkívül nagy mennyiségű fém persze nagyon megnehezíti a kompaund feldolgozását. Az anyag sűrűsége extrém nagy:  $11,0 \text{ g/cm}^3$ , és folyóképessége is korlátozott. Figyelemmel kell lenni a volfrám koptató hatására is. Ez utóbbi miatt a szerszámokat 1.2343 ötvözött krómacélból készítették, amelyet még elektrosalakos átolvasztással (ESU) is kezeltek a szívósság növelése, valamint a megfelelő szerkezet és tisztaság elérése érdekében. A szerszámokon kívül a fröccsgép további részeit is kopásálló szerkezeti anyagból készítik. Az alkatrészek tervezésénél is figyelembe vették a fenti-

eket, kerültek az éleket és sarkokat, hogy az olvadék tökéletesen ki tudja tölteni a szer-  
számüreget, aminek eredményeképpen sikerült a komplex formákat precízen legyártani  
anélkül, hogy mechanikai utómunkára lenne szükség. A fröccsöntés nemcsak na-  
gyobb szabadságot jelent az alkatrészek formájának kialakításában, hanem 30-50%-kal  
olcsóbb is a forgácsolással készített ólom alkatrészeknél.

## Töltőanyag-tartalom minden határon túl

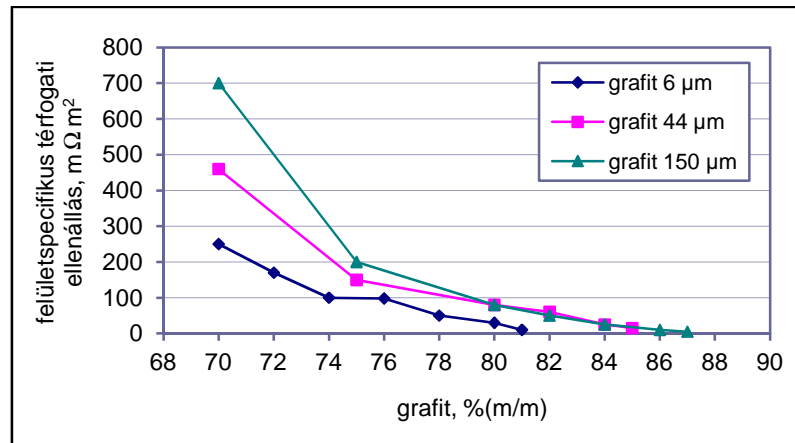
Az eddigi több évtizedes gyakorlat szerint a vezetőképes műanyagokban az al-  
kalmazott adalék mennyiségét az ún. *perkolációs küszöb* fölött már nem emelték to-  
vább. Ez az az érték, amelynél az adalék részecskéiből összefüggő és ezáltal elektro-  
mosan vezető hálózat jött létre. Ez alatt a töltőanyag mennyiségének növelése csak  
lassan emeli a vezetőképességet, de a perkolációs küszöbnél a vezetőképesség gyorsan  
emelkedik, amint ez az 1. ábrából jól látható. Az ily módon vezetőképesé tett mű-  
anyagokat antisztatikus (ESD) kikészítéshez vagy az elektromágneses árnyékoláshoz  
(EMI) használják.



1. ábra Az elektromos vezetőképesség változása a töltőanyag-tartalom függvényében

Az utóbbi években az üzemanyagcellák fejlesztéséhez kapcsolódó kutatások so-  
rán tovább növelték a töltőanyag koncentrációját: 80%-nál is több töltőanyagot tartal-  
mazó kompaundokat állítottak elő, amelyek vizsgálata a várakozásoktól eltérő ered-  
ményeket adott. Azt találták, hogy a töltőanyag mennyiségének emelésével a  
perkolációs küszöb felett is tovább növelhető a vezetőképesség. A 2. ábra ezt az össze-  
függést mutatja be polipropilénmátrixban három különböző szemcsenagyságú grafit  
70-88% közötti adagolása esetén. Az ellenállás csökkenése exponenciális görbe szerint  
megy végbe, a grafitmennyiség 1%-os növelése 17,5%-kal csökkenti az ellenállást. Az  
eredmények azt mutatják, hogy a perkolációs küszöb felett is érdemes növelni a veze-  
tőképes adalék mennyiségét, ha az elektromos vagy a hővezető képesség növelése a  
cél. Az ilyen erősen töltött kompaundok hővezető képessége elérheti a 40 W/mK érté-

ket, az ellenállásuk pedig 150 S/cm-re csökkenthető. A kontaktellenállás csökkentése érdekében azonban még arannyal is bevonják az RCA (cinch) csatlakozókat.



2. ábra Különböző szemcseméretű grafitot tartalmazó kompaundok ellenállása a töltőanyag-tartalom függvényében

## Nagy töltőanyag-tartalmú kompaundok feldolgozása és alkalmazása

A nagy mennyiségű töltőanyagot tartalmazó vezetőképese kompaundokat fémek helyett elsősorban akkumulátorokban, üzemanyagcellákban alkalmazzák, de alkalmazhatók hőcserélőkben, elektromos fűtésnél fóliaformában. A ma már ismert és a jövőbeni alkalmazások kulcskérdése, hogy sikerül-e az ilyen extrém tulajdonságokkal rendelkező kompaundok gazdaságos feldolgozási eljárásait kidolgozni.

Az üzemanyagcellák számára a rendszer legfontosabb elemét, a bipoláris lemezeket készítik nagy töltőanyag-tartalmú műanyagokból. Ezek rendszerint grafit, szénszállal, korommal töltött epoxi- vagy fenolgyanták, amelyekből a lemezeket magas hőmérsékleten préselik. A folyamat ciklusideje viszonylag hosszú, az eljárás költséges. A piacon azonban vannak a bipoláris lemezek gyártására alkalmas termoplasztikus kompaundok is, amelyek közül néhánynak az adatai láthatók az 1. táblázatban.

1. táblázat

Bipoláris lemezek gyártására alkalmas kompaundok tulajdonságai

Kompaund	Sűrűség g/cm <sup>3</sup>	Hajlító- modulus GPa	Hővezető képesség W/m*K	Térfogati ellenállás S/cm
PP-kompaund fröccstípus	1,77	15,6	15/25	110
PPS kompaund fröccstípus	1,89	16	11/n.a.	70
PPS kompaund meleg préselésre	2,01	18,5	20/n.a.	139

A hajlítómodulust és a hővezető képességet 23°C-on mérték.

Ezek fröccsöntéssel vagy extrudálással ugyan feldolgozhatók, de a feldolgozás egyáltalán nem szokványos. Legfőbb oka az, hogy a kompaundban a töltőanyag térfogata akár százszorosan felülmúlhatja a mátrixét. Tulajdonképpen nem annyira műanyag, inkább grafit feldolgozásáról van itt szó. Rendkívül nagy a viszkozitás, a reológiai tulajdonságok szempontjából ezek a kompaundok leginkább a nedves homokhoz hasonlíthatók. Nehezíti a feldolgozást az anyag nagy hővezető képessége is. Az ömledék nagyon gyorsan dermed meg a forma kitöltése során, így néhány tized másodperccel a szerszám kitöltése után a nyomás 3500 barra is felmehet. Ennek a problémának a megoldására vagy a fröccsgépet teszik alkalmassá a nagy nyomás elérésére, vagy újabban a szerszámhőmérséklet változtatásával az ún. *Variotherm fröccsöntési technológiával* dolgoznak. A fenti nehézségek ellenére A5-ös méretben sikerült már 0,8 mm lemezvastagságot elérni. A4-esnél nagyobb méretű lemezt azonban nem sikerült gyártani a folyamatok optimalizálásával sem. Ez a méret ugyan elegendő a legtöbb üzemanyagcellához, azonban az ún. *Redox-Flow (folyadékáramlásos) akkumulátorok (RFB)* az A4 méretnél lényegesen nagyobb bipoláris lapokat igényelnek. Ezek az akkumulátorok a megújuló energiák, a nap- és szélenergiák hasznosításának fontos elemei. Ugyancsak nagy méretű lapokra van szükség a lemezes hőcserélőkben. Ezeknél a méreteknél a fröccsöntés már nem alkalmazható, a piacon jelenleg meleg préssel vagy szinterézéssel előállított lemezek kaphatók, amelyek előállítási költsége azonban igen magas.

Az üzemanyagcellák fejlesztésére létrehozott intézet, a duisburgi ZBT (Zentrum für BrennstoffzellenTechnik) ipari partnereivel az eddigieknél nagyobb méretű lemezek előállítására szolgáló eljárás kifejlesztésén dolgozik. Céljuk, hogy az új, az eddigieknél gazdaságosabb eljárással is elérjék a kisebb méretekben elért vezetőképességet. Ez egyelőre nem sikerült, az első kísérleti lemezek 0,4 ohm.cm ellenállása lényegesen magasabb még a célkitűzésnél. Az így előállított lemezek mechanikai tulajdonságai viszont jobbak a helyettesítendő grafitlemeznél: hajlítási modulusuk (0,4% nyúlásnál) 8,4 GPa, hajlítószilárdságuk 21 MPa. Ezek a tulajdonságok a polimermátrix optimalizálásával még tovább is javíthatók.

A fentieknél is ambiciózusabb cél a lemezek és fóliák folyamatos hengerosor (roll-to-roll) előállítása extruder technológiával. A kompaund ömledékét ebben a technológiában fóliafűvőkán nyomják át, majd hengereken keresztül vezetik. Itt persze nem a szokványos ömledékről van szó, a leginkább nedves homokhoz hasonló anyag nem nyújtható. Ezért a hengerek azonos sebességgel dolgoznak, így a mennyiséggel és a sebességgel állítják be a kívánt vastagságot. Eddig már sikerült 800 µm vastagságú fóliákat előállítani. Az így kapott fóliák ellenállása az összetételtől függ. A csak grafitot tartalmazó kompaund térfogati ellenállása 2,118 Ωcm, míg grafittal, korommal és szénanocsővel sikerült 0,934 Ωcm értéket elérni. Ezeket a fóliákat ellenállás-fűtés céljaira ajánlják.

Összeállította: Máthé Csabáné dr.

Rummel, J.: Kostengünstiger Strahlenschutz = Kunststoffe, 104. k. 5. sz. 2014. p. 94–95.

Derieth, T., Gillmann, M.: Füllstoffgrenzen bewusst überschreiten = Kunststoffe, 104. k. 12. sz. 2014. p. 68–71.