

## Műanyagok fémbevonattal vagy fémtartalmú töltőanyaggal

*Tárgyszavak: vezető műanyag; szórt fémbevonat; árnyékolás; fémszál; fémbevonatú akrilszál; fémbevonatú akrilszálpaplan.*

Műanyagokra gyakran visznek fel fémbevonatot. A bevonat számos esetben díszítő célzatú, de egyre többször funkcionális szerepe van: elektronikus eszközökön vezető pályákat képez, vagy árnyékolja egy villamos berendezés műanyag házán áthatoló elektromágneses hullámokat. Emellett sokszor elvárják a műanyagoktól, hogy „alaptermészetüktől” idegen módon vezetőképesek legyenek, és nem csak a felületükön. Ilyenkor fém vagy fémtartalmú vezető töltőanyagokat kevernek a polimerhez. A következőkben az ilyen műanyagok gyártásának néhány újabb módszerét mutatjuk be.

### Szórt fémbevonatok műanyagokon

Műanyagokra fémbevonatot általában elektrokémiai (galvanikus) vagy vegyi folyamattal visznek fel. Ezek a módszerek elsősorban teljes felületbevonásra vagy maszkolással kombinálva szelektív bevonásra alkalmasak – akár díszítő, akár a funkcionális célú a fémréteg. Még *kevésbé kiforrottak* azonban az *olyan eljárások, amelyekkel szelektíven bevont termékek nagy számban gyorsan elkészíthetők.*

*Kétkomponensű fröccsöntéssel gyárthatók olyan termékek, amelyeken az egyik komponens galvanizálható, a másik nem – ez bővíti a konstrukciós lehetőségeket, de nehézkessé teszi magát a műanyag-feldolgozást. A lézeres felületkezelés* ugyancsak alkalmas arra, hogy egyes felületrészeket szelektíven tegyenek alkalmassá a fémmel való bevonásra, de ehhez különleges, *fémképző csírákat tartalmazó műanyagra van szükség.*

A funkcionális fémbevonatoktól elvárják, hogy a rétegvastagság elég nagy legyen, ugyanakkor finom szerkezeti részleteket lehessen kialakítani rajtuk. Vastag bevonatot eredményező némelyik eljárás, mint pl. a keménykrómozás vagy a ráforrasztás viszont csak műszaki műanyagokon alkalmazható a viszonylag erős termikus igénybevétel miatt. *Alternatívaként felmerül a fém-szórás, amelynek technológiája már meglehetősen kiforrott. Helyigénye és be-*

*ruházásigénye is jóval kisebb, mint a galvanikus eljárásoké, és jól automatizálható.*

*Meleg fémszóráskor a felhordandó fémet megolvasztják, és cseppjeit akár 1000 m/s sebességre is felgyorsítják. A nagy sebességgel repülő fémcseppek fölöslege visszapattan a műanyag felületéről, és a megdermedt részecskék összeporszívózva újra felhasználhatók. Ugyancsak a nagy sebességnek köszönhető, hogy a szórt műanyagfelület nem károsodik – ilyen körülmények között ugyanis olyan kicsi a hőáram, hogy az alatta marad a hőre lágyuló műanyagok károsodási határértékének.*

Ha a műanyagfelületet előzőleg megfelelően érdesítették, a felületi egyenetlenségekbe szelektíven fémrészecskéket lehet ültetni, amelyek később egy szelektív rétegvastagság-növelés gócai lehetnek. Ez az eljárás más szerkezeti anyagokra (papír, fa, kő, kerámia) is átvihető. A műanyagok felületkezeléséhez alkalmazható a homokszórás, a fémrészecskék felragasztása, a fémporok hőfixálása vagy akár a fémszórás is. 2 mm-nél nagyobb részletek maszk nélküli felvitele fémszórással már a mai technológiával is lehetséges.

*Szórással ma még nem érhető el a galvanikus réteg vagy a tiszta réz vezetőképessége, hiszen a szórt fémréteg mindig tartalmaz bizonyos mértékű porozitást – és ez még előnyös is lehet a hajlékonyság szempontjából. A kisebb vezetőképességet szélesebb vagy vastagabb vezető sávok felhordásával lehet ellensúlyozni.*

## **Igény az árnyékolásra**

*Az egyre több és egyre nagyobb teljesítményű elektronikus berendezés megköveteli az egyre hatékonyabb árnyékolást. A kisugárzott és elnyelt elektromágneses sugárzás komoly meghibásodásokat okozhat. Régen elsősorban magát a berendezést óvták más készülékek hatásától, ma viszont egyre inkább előtérbe kerül az adott berendezést használó ember egészségének védelme – akár valós, akár vélt ez a veszély. A **Kereskedelmi Világszervezet** az **IEC 6100** szabvány szerinti védelmet írja elő, amelynek alkalmazásában azonban vannak különbségek az USA és az EU között. Ehhez járulnak még további speciális előírások az autóiparban, a távközlésben, az orvosi műszergyártásban stb. Itt is két kategóriát különböztetnek meg: az ún. „A” kategóriát általános ipari használatra és az ún. „B” kategóriát, amely kb. 20 dB-lel magasabb árnyékolást ír elő.*

Azt, hogy mekkora sugárzást kell leárnyékolni, befolyásolja az áramkörök kialakítása, a földelés jósága, az alkalmazott szűrők stb., de mindig van egy maradék sugárzás, amelyet a villamos és mágneses tér erőssége, frekvenciaeloszlása stb. befolyásol, és amelyet a készülékháznak elfogadható mértékűre kell csökkentenie.

A műanyag házak árnyékolására többféle megoldás áll rendelkezésre: legkevésbé igényes a vezető lakk, igényesebb a vákuumbevonás és legigé-

nyesebb a galvanikus bevonás, amelyek azonban mind másodlagos megmunkálást igényelnek, és nem is minden műanyag esetében alkalmazhatók.

Ma már több cég kínál fröccsöntéssel feldolgozható, hőre lágyuló mátrixot és vezető szálat tartalmazó kompaundokat, amelyekből árnyékoló készülékházat lehet gyártani. Ezáltal a teljes gyártásköltség kisebb darabok esetében akár felére is csökkenthető.

## Árnyékolás fémszálakkal vagy fémbevonatú szénzálakkal

A vezető műanyagokat és a szálerősítésű kompozitokat előnyös tulajdonságaik miatt a repülőgépgyártás és az űrhajózás már régen alkalmazza. Egyre inkább betörnek azonban az autógyártás, az orvosi műszerek és a hordozható számítógépek gyártásának területére is. A villamos vezetőképesség (az ellenállás reciproka) és az árnyékolóképesség közti összefüggés jól ismert. *Ha a fajlagos térfogati ellenállás kisebb mint  $1 \text{ ohm} \cdot \text{cm}$ , azaz a vezetőképesség meghaladja az  $1 \text{ ohm}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$  értéket, az árnyékolóképesség jelentősen megnő. Az ehhez szükséges vezetőképességet műanyagokban eddig rendszerint hosszú fémszálak (pl. rozsdamentes acélszálak), szénzálak vagy fémbevonatú grafitzálak, esetleg részben fémlemezek hozzáadásával biztosították.* Ahhoz, hogy a vezetőképesség kialakuljon, a fémadaléknak összefüggő vezető hálózatot kell képeznie a mátrixban, amihez egy bizonyos határkoncentrációt kell elérnie. Minél nagyobb a hossz/átmérő arány (szálas adalékok), annál kisebb ez a kritikus koncentráció, ahol a vezetőképes hálózat kialakul. A koncentráció mellett a vezető töltőanyag-részecskék közötti kontaktellenállás is befolyásolja a kialakuló vezetőképességet: minél kisebb a kontaktellenállás, annál nagyobb a vezetőképesség.

A vezető töltőanyagokkal elért „integrált” árnyékolás sokkal védettebb a karcolásokkal, rétegleválással szemben, mint a bevonásos technológiák, és könnyebb a használt berendezések újrahasznosítása is. A fémbevonatos készülékeknél először ugyanis a bevonatot kell eltávolítani, és ennek során fémtartalmú iszapok képződnek.

Az **LNP** cég *Faradex* márkanévű termékcsaládja 1–2% rozsdamentes acélszálat tartalmazó műszaki műanyagokra [ABS, PC, ABS/PC, PP, PA6, TEEE (termoplasztikus éter-észter elasztomer)] épül. A kis mennyiségben alkalmazott fémszál a mátrixpolimerek tulajdonságait alig befolyásolja, egyedül az ütésállóság csökkent mintegy 50%-kal. A fémszálak felületminőséget módosító hatása megfelelő felületi strukturálással és színezéssel lefedhető. Ezekkel az anyagokkal 20–60 dB nagyságú árnyékolás érhető el az ún. távoli tértartományban, ami eleget tesz a legtöbb távközlési alkalmazásban megkövetelt 30–40 dB-es értéknek. Ahhoz, hogy ezek az értékek valóban ki is alakuljanak, bizonyos további tervezési elveket kell követni (nyílások, áttörések, illesztések elkerülése, amelyek résantennát képezhetnek).

Az LNP mellett, amely kifejezetten kompaundáló cég, és a GE műszaki műanyagokra szakosodott cégével áll szoros kapcsolatban, alapanyaggyártók is kínálnak vezetőképes keverékeket. Az **Atofina** pl. *Rilsan* poliamidjaiból készít vezetőképes változatokat. A *Rilsan M-BESN P 212 CTL* pl. vezetőképes PA 11, amely megfelel az észak-amerikai autógyártók antisztatikus tulajdonságokra vonatkozó ( $10^6$  ohmnál kisebb fajlagos felületi vezetőképeséget előíró) *SAE 2260* szabványának. Az anyag könnyen feldolgozható, antisztatikus jellege hosszú időn át, mechanikus igénybevétel mellett is megmarad, és a PA 11 alacsony hőmérsékleten is kitűnő ütésállóságát is megtartja.

## Árnyékolás fémbevonatú szintetikus szálakkal és szálpaplanokkal

Kiderült, hogy a lágyabb (kisebb modulusú) töltőanyagok kontaktellenállása kisebb, vagyis ezekkel jobb vezetőképeséget lehet elérni. Ezért fémbevonatú műszálak hozzáadásával nagyobb vezetőképeség érhető el, mint azonos térfogattörtű rozsdamentes acél vagy fémbevonatú szénszálakkal.

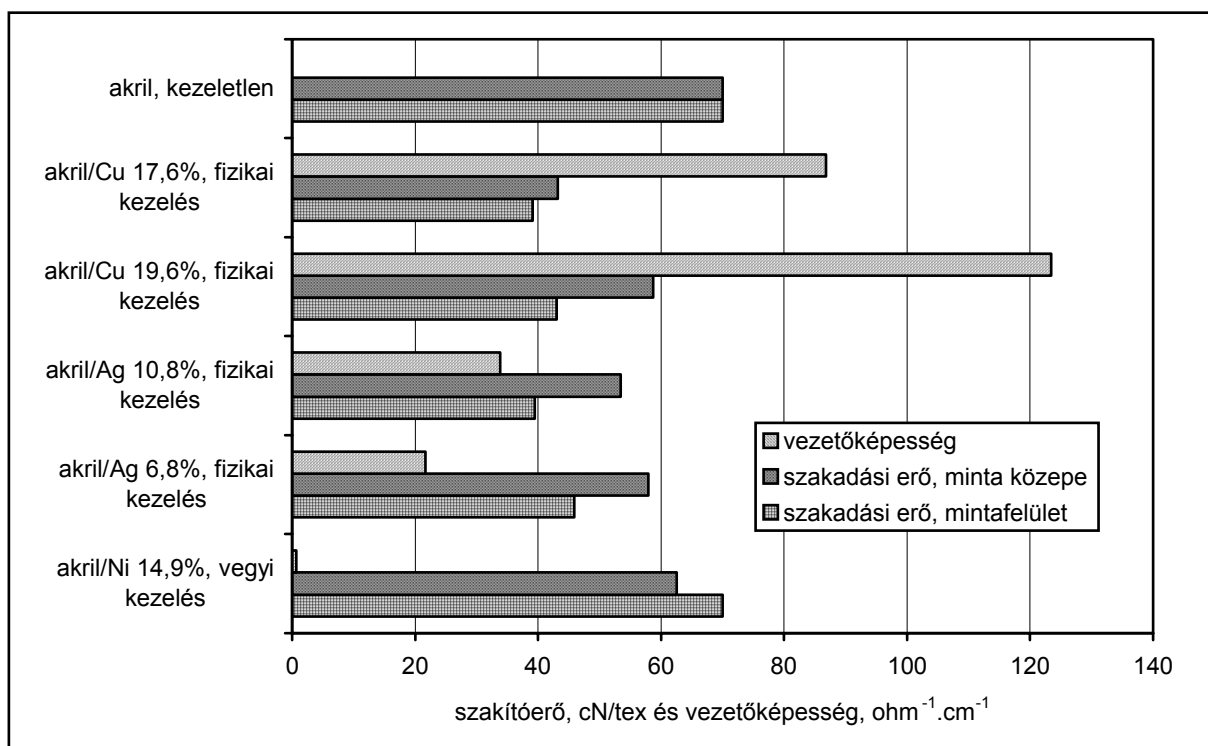
1. táblázat

Különböző, hőre lágyuló műanyagok vezetőképesé tételére szolgáló szálak főbb jellemzői

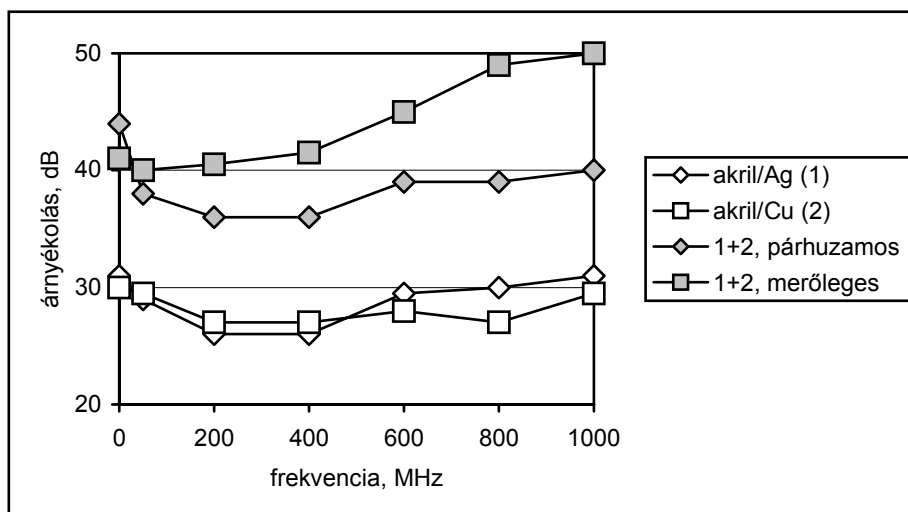
Száltípus	Fajlagos térfogati vezetőképeség, $\text{ohm}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$	Árnyékoló hatás	Sűrűség, $\text{g/cm}^3$	Szakítószilárdság, MPa	E-modulus, GPa
Nagy modulusú (HM) szénszál	$10^2-10^3$	csekély	1,8–2,0	1750–3000	300–500
Fémbevonatú HM szénszál	$>10^4$	nagy	2,0	$>2000$	300–500
Fémszálak V4A acélszál	$10^5-10^6$	nagy	7,98	2400–3800	180–210
Bevonat nélküli akrilszálak	$<10^{-14}$	nincs	1,18	800	23
Fémbevonatú akrilszálak	$10^2-10^4$ $>10^3$	nagy	1,3-2	750	19

Az 1. táblázat foglalja össze a kereskedelmi forgalomban kapható szálak főbb villamos és mechanikai jellemzőit (szénszál, acélszál, vezetőképes bevonatú PAN szál stb.). *Villamosan vezető szintetikus szálakat eddig főként csak textilekben használtak. Ezeknél a szabadalmi leírások szerint  $10^2-10^4 \text{ ohm}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$  fajlagos vezetőképeség mellett jó árnyékolóképeséget lehetett*

*elérni.* Eddig nagyon kevés adat jelent meg azonban vezető akrilszálak alkalmazásáról műanyag mátrixban. A különböző fémbevonási eljárásokkal kapott *akrilszálpaplanok* villamos és mechanikai tulajdonságait az *1. ábra* mutatja. A fémtartalom növelésével természetesen nő a vezetőképesség is. A legnagyobb fajlagos térfogati vezetőképességet ( $100 \text{ ohm}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ ) rézbevonással érték el. Az árnyékolóképességet egy TEM (transzverzális elektromos) üzemmódban dolgozó mikrohullámú cellával távoltéri üzemmódban vették fel és dB egységben (árnyékolási hatásfok =  $20 \log E/E_0$ ) adták meg (*2. ábra*). Az árnyékolási értékeket egy paplanrétegen 100 kHz és 1 GHz között mérték. Az árnyékolóképesség Ni<Ag<Cu sorrendben nő, ami közvetlen összefüggésben van a vezetőképesség szintjével. Ha több paplanréteget alkalmaznak, a paplanok gyártástechnológiából adódó anizotrópiájának kiküszöbölésére azokat felváltva gyártásirányban és arra merőlegesen rétegezik. A szálak erős anizotrópiája vagy pl. egy hosszirányú hegedési varrat következtében az árnyékolóképesség helyileg erősen lecsökkenhet. A különböző irányban orientált vezető és adott esetben vezető–nem vezető filcek kombinációinak sok változata létezik a megkívánt villamos és mechanikai tulajdonságok függvényében. Ha szükséges, a vezető rétegek közötti összeköttetés is megoldható, vagy a *paplanokban egyszerre alkalmazhatók vezető és szigetelő szálak, és így háromdimenziós vezető hálózat alakul ki.* Más esetekben, pl. vezető és szigetelő paplanrétegek váltakozó alkalmazásával a vezető rétegekre merőlegesen elég nagy ( $10^6 \text{ ohm} \cdot \text{cm}$  nagyságrendű) fajlagos térfogati ellenállás érhető el.



1. ábra Különböföle akrilszálpaplanok mechanikus és villamos tulajdonságai



2. ábra Két fémmel bevont akrilpaplan áryékolóképessége a frekvencia függvényében külön-külön és két rétegben egymásra helyezve párhuzamos, ill. merőleges szálakkal

## Kompozitok vezető szálpaplan és hőre lágyuló műanyag kombinációjával

A vezető rétegek irányában hőre lágyuló mátrix alkalmazása esetén is  $100\text{--}200 \text{ ohm}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$  fajlagos térfogati vezetőképesség érhető el, ami nem különbözik lényegesen a vezető paplanon önmagán mért értékektől – vagyis a *feldolgozás nem rontja, sőt a sajtolás során alkalmazott nyomás következtében javuló érintkezés miatt még javítja is a vezetőképességet*. Ilyen vezetőképességi szintet 19,6% Cu vagy 6,8% Ag hozzáadásával lehetne elérni, a paplanokkal bevitt fémtartalom pedig mindössze 1–4%. A kompozitok áryékoló hatása az alkalmazott kombinációtól függően 40–70 dB, ami legalább olyan jó vagy jobb, mint a fröccsöntött, rövid vezető szálat alkalmazó hőre lágyuló kompozitoké (30–40 dB).

A paplanok bedolgozása hőre lágyuló műanyagba alapvetően sajtolással lehetséges, de elképzelhető és megvalósítható a körülfröccsöntés is. 4 mm vastag körülfröccsöntött lemezekkel  $5\text{--}10 \text{ ohm}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ , 0,2 mm vastag lemezekkel  $100\text{--}200 \text{ ohm}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$  fajlagos térfogati vezetőképességű rétegek kaphatók, ami lényegesen jobb a 10% rozsdamentes acélszálat tartalmazó, azonos hőre lágyuló mátrixot (itt PP-t) tartalmazó kompozitokénál. Az adott alkalmazáshoz legmegfelelőbb áryékolási szintet a vezető rétegek számának és kombinációjának megválasztásával lehet kialakítani.

Az áryékolóképesség általában visszaverő és elnyelő tagokból tevődik össze, amelyek közül az első legtöbbször csökken, az utóbbi nő a frekvenciá-

val. A mérések szerint a vezető paplant tartalmazó kompozitok árnyékolóképessége többnyire csökken a frekvenciával, vagyis a visszaverési mechanizmusok vannak túlsúlyban az abszorpcióval szemben.

## **A hőmérséklet-változás és a klímaterhelés hatása az árnyékolóképességre**

*Hőmérsékletváltozások hatására a legtöbb vezető töltőanyagot tartalmazó műanyag vezető- és árnyékolóképessége irreverzibilisen csökken. Egy acélszállal töltött hőre lágyuló műanyag 20 és 80 °C közötti ciklusokat alkalmazva már az első 5 ciklus után elveszti vezetőképessége kb. négyötödét. Egy 30% Al-pelyhet és 20% vasport tartalmazó rendszer árnyékolóképessége 3 ciklus után az 1 GHz-es 23 dB-ről 11 dB-re esett le. Ennek legfőbb oka, hogy a vezető töltőanyag-részecskék közötti ohmikus kontaktusok egyre inkább kapacitív jellegűvé alakulnak át.*

A vezető töltőanyagokat tartalmazó műanyagkompozitok tartósságát a korróziós/kémiai folyamatok is veszélyeztetik. A levegővel/nedvességgel, esetleg más vegyszerekkel érintkezve a fémek felülete oxidálódik, hidroxid- vagy karbonátrétegek jönnek létre, amelyek megint csak a kontaktellenállás értékét növelik. *A Cu és Ag bevonatú akrilszálakat tartalmazó hőre lágyuló kompozitok árnyékolóképességét ezzel szemben a hőciklusok szinte egyáltalán nem, a klímaciklusok pedig csak kismértékben rontották.*

A fenti példák mutatják, hogy milyen sokféle technológia áll rendelkezésre a felület vagy akár az egész anyag vezetőképessé tételére, amelyek közül a sorozatszám, a konstrukció és az ár alapján lehet kiválasztani a legmegfelelőbbet.

**Dr. Bánhegyi György**

Reichinger, G.; Götz, K.; Ott, M. W.: Spritzen von Metall-Leiterzügen auf Kunststoff. = Kunststoffe, 94. k. 1. sz. 2004. p. 76–77.

Verheijden, A.: Integrierte Abschirmung. = Plasverarbeiter, 55. k. 4. sz. 2004. p. 64–65.

Atofina behauptet ihre Stellung auf dem Gebiet der leitfähigen Polyamide. = Gummi, Fasern, Kunststoffe (GAK), 57. k. 5. sz. 2004. p. 286.

Pflug, G.; Vorbach, D.; Reinemann, S.: Elektromagnetische Strahlung abschirmen. = Kunststoffe, 94. k. 1. sz. 2004. p. 81–85.