

Vezető műanyagok kombinált töltőanyagokkal

Az eredetileg szigetelő műanyagokat vezetőképessé lehet tenni, akár a fémeket megközelítő mértékben (102–104 S/m). A műanyagok vezetésének növelésére eddig fémszálakat, szénszálakat, kormot adagoltak. Új módszernek számít a töltőanyagok – köztük a szénnanocsövek – kombinálása, valamint alacsony olvadáspontú fémötvözetek keverése a polimermátrixhoz.

Tárgyszavak: elektromosan vezető műanyagok; töltőanyagok; nanokompozitok; szénnanocsövek; perkoláció; műanyag-feldolgozás; fémötvözetek.

Vezető műanyagok

A műanyagokat többnyire villamos szigetelőként alkalmazzák, de jó feldolgozhatóságuk miatt sokszor olyankor is alkalmazásra kerülnek, ha vezető, elektromágnesesen árnyékoló vagy antiszztatikus alkatrészekre van szükség. Bizonyos esetekben megfelelnek a fémbetétek vagy az utólagos fémbevonás, más esetekben viszont *az az előnyös, ha a feldolgozott kompaund maga is vezetőképés.* A leggyakrabban alkalmazott töltőanyagok, amelyekkel vezetőképessé teszik a műanyagokat, a mikrométeres fém és szénszálak, valamint a nanométeres koromrészecskék és a szénnanocsövek. Az utóbbi időben sokat kísérleteznek e két töltőanyagosztály kombinációjával. Az újabb megoldások között szerepelnek olyan fémek vagy ötvözetek is, amelyek a fröccsöntés hőmérsékletén megolvadnak és finom vezető hálózatot alkotnak. Az aacheni **Institut für Kunststoffverarbeitung – IKV** (Műanyag-feldolgozó Intézet) kiterjedt kutatásokat végzett annak megállapítására, hogy a különböző mérettartományba eső töltőanyagok együttes alkalmazása milyen szinergikus hatásokat eredményez. A vizsgálatokban felhasznált alapanyagok adatait az *1. táblázat* tartalmazza. *Az egyik legfontosabb jellemző az, hogy milyen kritikus térfogattörtnél (az ún. perkolációs küszöbnél) alakul ki a folyamatosan vezető hálózat, ahol a kompozit vezetőképessége nagyságrendekkel a szigetelőmátrix vezetőképessége fölé nő.* A perkolációs küszöb értékét az dönti el, hogy milyen a töltőanyag alakja, milyen gyakran alakul ki érintkezés a töltőanyag-részecskék között. A mikrométeres vagy rövid szálak töltőanyagokból viszonylag sok kell a folyamatos vezető hálózat kialakításához. Minél nagyobb a töltőanyag hossz/átmérő (L/D) aránya (Aspektverhältnis = nyúlánkság), annál kisebb a perkolációs küszöb, amint az *1. ábráról* is leolvasható. A vezető kormoknál a fajlagos felület és a strukturáltság határozza meg a perkolációs küszöb nagyságát. Az említett vizsgálatosorozatban közepes fajlagos felületű (250 m²/g) kormot használtak, amelynek perkolációs küszöbértéke összemérhető a használt szénszáléval. A szénnanocső (CNT) nyúlánksága nagy, mérete kicsi, ezért fajlagos felülete összemérhető a koroméval, a

perkolációs küszöb alacsony. A lemezirányra merőlegesen mért vezetőképességnek is jelentősége van, mert az nemcsak az anyag belsejében fennálló viszonyokat írja le, hanem a kontaktellenállást is a minta felületén. Ez a hatás különösen erős a szállal töltött műanyagokban, ahol kialakul egy szállban szegény felületi zóna, amelynek vezetőképessége három nagyságrenddel is kisebb lehet, mint a minta belsejében; korommal töltött anyagokban az effektus lényegesen gyengébb.

1. táblázat

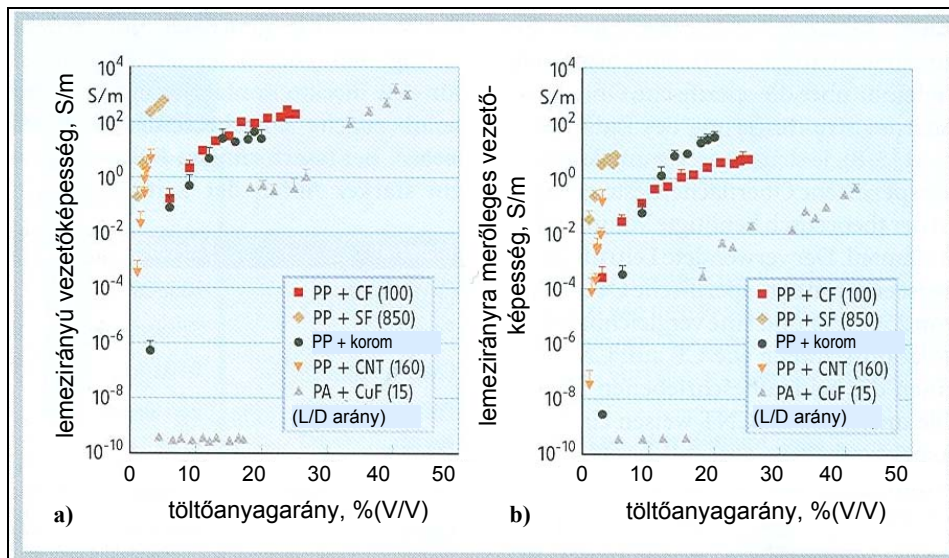
Polipropilén- és poliamidmátrixok és a mátrixban alkalmazott különböző vezető töltőanyagok jellemzői

Anyag	Márka	Gyártó	Rövidítés
Polipropilén	R352-08R	Dow Europe GmbH	PP
Poliamid	Schulamid 6 NV 12	A. Schulman GmbH	PA
Szénszálak	Tenax A HT C493	Toho Tenax Europe GmbH	CF
Rozsdamentes acélszálak	Beki Shield	Bekaert SA	SF
Rézsálak	Cu99	Deutsches Metalfaserwerk	CuF
Szénnanocsövek	NC 7000	Nanocyl SA	CNT
Vezető korom	Printex L6	Orion Engineered Carbons	Korom
Fémötvözet	MCP 200	MCP-HEK	MCP

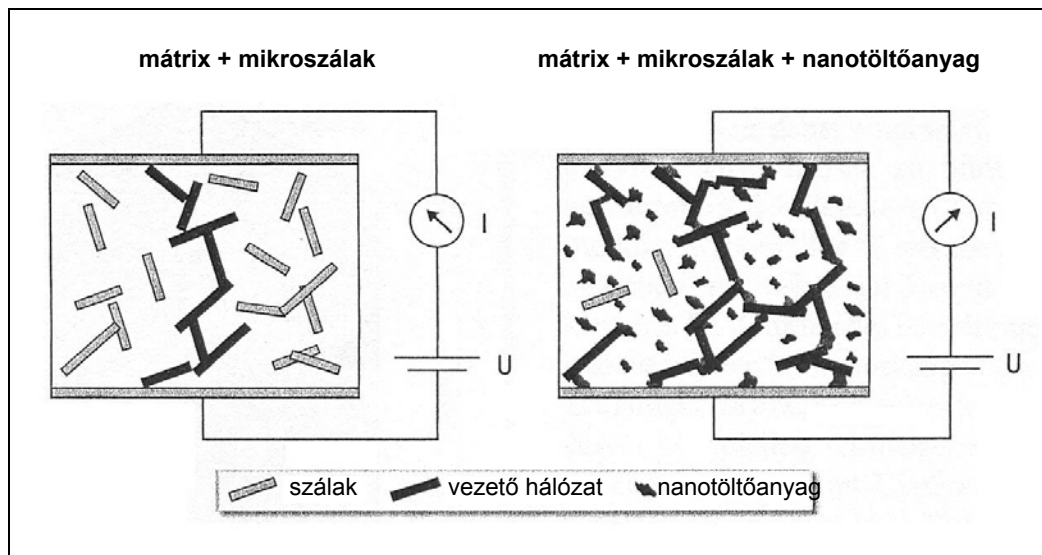
Kevert töltőanyagot tartalmazó hibrid kompozitok

Többféle töltőanyag alkalmazásával speciális vezetőképességi jellemzőket lehet elérni, pl. 25 %(V/V) rézszállal töltött rendszerhez 19 %(V/V) MCP (alacsony olvadáspontú) ötvözetet adva 10^6 S/m vezetőképességű kompozit is előállítható, ami 3 nagyságrenddel nagyobb, mint amelyet csak rézzel töltött rendszerekkel lehetett elérni azonos töltöttségi fok mellett. A **Schulman** cég *Sculatec TinCo 50* nevű kompaundja olyan jól vezet, hogy többkomponensű fröccsöntést alkalmazva integrált LED elemek vezetősávjai előállítására is felhasználható. A nanotöltőanyagok kedvező hatását a hibridkompozitok vezetőképességére a 2. ábra mutatja. Az IKV-ben elvégzett vizsgálatokban *nanotöltőanyagként kormot, szénnanocsövet és alacsony olvadáspontú fémötvözetet használtak, amelyet szén, rozsdamentes acél és rézszállakkal kombináltak polipropilén- vagy poliamidmátrixban.* A 2. táblázatban bemutatott hibridkompozitokat egy **Coperion ZSK26MC** gyártmányú, egy irányban forgó kétcsigás extruderrel (3. ábra) állították elő. Először a nanotöltőanyagokat adagolták a mátrixhoz, hogy minél jobban elkeveredjen, és csak később következett a hagyományos mikroszál, hogy az utóbbi viszont lehetőleg kevésbé törjön össze a keverés során. A granulálás előtt kigázósításra van szükség, mert a töltőanyaggal sok levegő is bejut a kompaundba. A kapott granulátumokból fröccsöntéssel lemezeket állítottak elő magas ömledék- és szerzőhőmérsékleten, hogy a szálak lehetőleg kevésbé tördelődjenek. A folyásirányban öt különböző helyen vettek mintát és azokon mérték a hossz- és keresztirányú vezetőképességet, hogy lássák az orientáció és a szétválás hatását a villamos jellemzőkre. Az eredményeket a 4. ábra foglalja össze. A nanocső hozzáadása a kisebb értékek felé

tolja el a perkolációs küszöböt. Azonos töltőanyag-tartalom mellett a szénnanocsövet is tartalmazó rendszerek majdnem egy nagyságrenddel nagyobb vezetőképességet mutatnak, mint a csak szénszálat tartalmazók. A keresztirányú vezetőképesség esetében ez a tendencia kevésbé kifejezett. A korom hozzáadásakor mind hossz- mind keresztirányban javul a vezetőképesség, de a perkolációs küszöb nem csökken lényegesen. A fémötövet hozzáadásakor sem következett be lényeges javulás. A korom és a fémötövet hozzáadásakor viszont homogénebb az anyag, és a vezetőképesség eloszlása izotróp jellegű. Egyes esetekben szinergikus hatás is megfigyelhető, például a szénszálak és a szénnanocsövek egyidejű alkalmazásánál.



1. ábra Vezető töltőanyaggal töltött különböző műanyagokban a lemez irányában (a) és arra merőlegesen (b) mérhető vezetőképesség a töltőanyag-tartalom függvényében

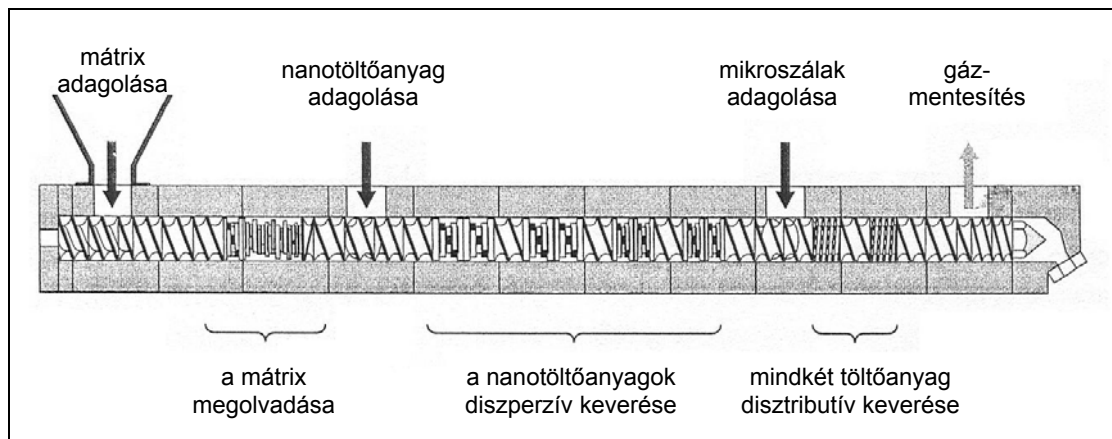


2. ábra A mikrométeres és nanométeres töltőanyagok kombinációja javítja a kompozit vezetőképességét

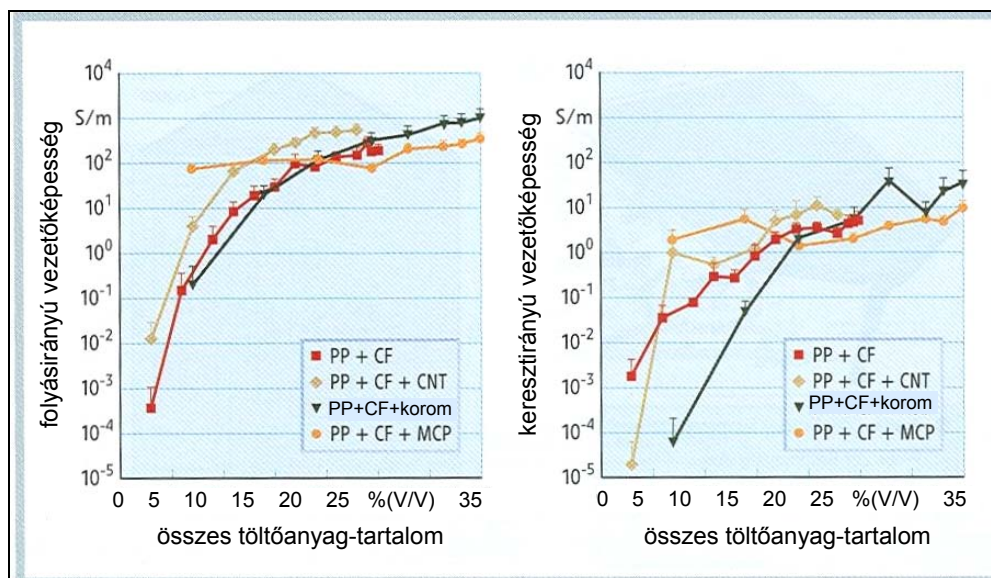
Néhány hibrid töltőanyagot tartalmazó vezető kompozit összetétele

Szénszáltartalom, %(V/V)	Nanotöltőanyag-fajta	Nanotöltőanyag-tartalom, %(V/V)
20	CNT	1,2,3*
20	korom	5,10,15*
20	MCP	5,10,15*

*A perkolációs viselkedés tanulmányozása.



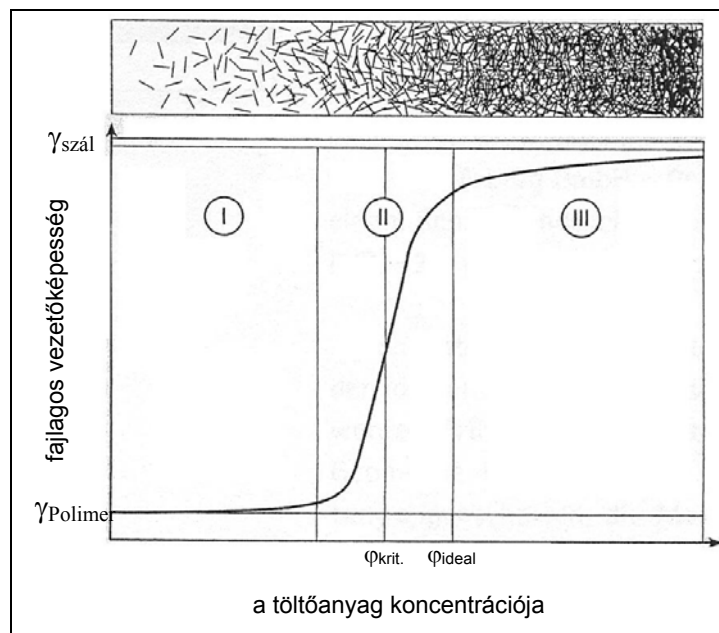
3. ábra A vezető kompozitok előállításához használt csigakonfiguráció



4. ábra Polipropilénalapú, kevert töltőanyagot (szénszálat és nanotöltőanyagot) tartalmazó kompozitok perkolációs viselkedése az összes töltőanyag-tartalom függvényében

Újszerű fémtartalmú műanyagok

Az elektronikában gyakran van szükség vezető és szigetelő szerkezeti részek kombinációjára, ahol a vezető alkatrészek bevitele sokszor csak drága vagy bonyolult módszerekkel lehetséges. Vezető műanyagkompaundok és kétkomponensű fröccsöntés alkalmazásával ezek a problémák könnyebben megoldhatók. A vezetőképesség növelésének hagyományos módszere a szilárd vezető töltőanyagok hozzáadása, azonban az aacheni IKV (Műanyag-feldolgozó Intézet) a **Siemens AG**-vel együttműködve olyan kompaundokat fejlesztett ki, amelyekben a feldolgozás hőmérsékletén megolvadó fémötvözeteket alkalmaznak vezető adalékként.

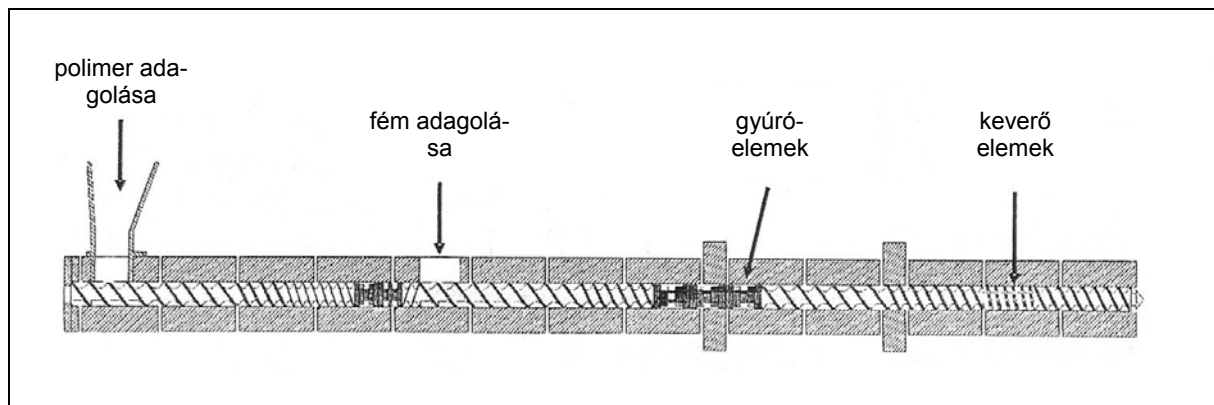


5. ábra Egy vezető szállal töltött rendszerben megfigyelhető perkolációs viselkedés (a vezetőképességi skála logaritmikus)

Szigetelő és vezető anyag keveredésekor a vezetőképesség nem lineárisan változik a vezető komponens koncentrációjával (5. ábra). Kis koncentrációnál a szigetelő anyag körülveszi a vezető részecskéket, a vezetőképesség alig különbözik a mátrixétól (I. terület). Amikor a vezető részecskék olyan koncentrációban vannak jelen, hogy összeérnek (a részecskék távolsága kb. 10 nm-re csökken) és vezető hálózat alakul ki, hirtelen elkezd nőni a vezetőképesség (perkolációs küszöb, II. terület). E fölött a koncentráció fölött már csak a kontaktusok száma nő és minősége javul, a vezetőképesség közelít a vezető komponens értékéhez (III. terület). A perkolációs küszöb értéke elsősorban a töltőanyag alakjától függ, de befolyásolják a mátrix jellemzői, a töltőanyag aggregációs és hálóképző jellemzői, a kialakuló hálózat geometriája és a feldolgozási viszonyok is. Szál alakú töltőanyagoknál a legjobb jellemző a hossz/átmérő arány, izometrikus részecskék esetén pedig a fajlagos felület. *Minél nagyobb az L/D érték*

vagy minél nagyobb a fajlagos felület, annál kisebb a perkolációs küszöb. A szálakat tartalmazó ömledékek hajlamosak bizonyos fokú szeparációra: a nagyobb viszkozitású elemek (szálak) az erősen nyírt külső rétegekből a nyírásnak kevésbé kitett belső rétegekbe vándorolnak. Ennek eredményeként ún. mag-héj szerkezet alakul ki, ahol a héj kevesebb szálakat tartalmaz, mint a mag. A héjréteg néhány század milliméter vastag és jóval nagyobb ellenállású, mint a minta belseje.

Az optimális töltőanyag-tartalom meghatározásakor bizonyos kompromisszumokat kell kötni, mert a nagy töltőanyag-tartalom ugyan nagy vezetőképességet eredményez, de rontja a mechanikai jellemzőket és a feldolgozhatóságot. Nagyobb töltöttségi fok mellett nehezebb elérni az egyenletes töltőanyag-eloszlást, és megnő a gépek kopása is. Ha a szálak mellett olyan, alacsony hőmérsékleten olvadó ötvözeteket alkalmaznak töltőanyagként, amelyek csak a műanyag megszilárdulása során szilárdulnak meg maguk is, a szállal töltött anyagok sok negatív jellemzője kiküszöbölhető, és egészen újszerű anyagok állíthatók elő.



6. ábra Az alacsony hőmérsékleten olvadó fémolvadékokat és fémszálakat tartalmazó kompaund előállításához használt kétszigás extruder felépítése

A fejlesztés során egy olyan, nagy vezetőképességű kompaundot alakítottak ki, amely *mindössze 15 % (V/V) PA66-ot, 33 % (V/V) alacsony hőmérsékleten olvadó fémötvözetet és 52 % (V/V) finom rézszálakat tartalmaz.* A kompaundáláshoz Coperion gyártmányú ZSK 25 kétszigás extrudert használtak, amely moduláris felépítése miatt különösen alkalmas speciális kompaundok előállításához (6. ábra). A fémötvözetet és a rézszálakat két külön helyen adják a műanyagömledékhez. A megcélzott autóiipari és villamosipari alkalmazások miatt mátrixként poliamidot választottak, de a polimerkomponens szinte tetszés szerint változtatható az igényeknek megfelelően. Ötvözetként ón, cink és bizmut különböző arányú rendszereit használják, amelyek olvadáspontja 50 és 250 °C közé állítható be. Szemben a polimerekkel, az ilyen fémötvözetek nagyon szűk hőmérséklet-tartományban olvadnak meg, ezért a folyási tulajdonságok is hirtelen változnak. A fémolvadékok térfogata enyhén nő (dilatáció), viszkozitásuk jóval kevésbé függ a feldolgozási tartományban a hőmérséklettől és a nyírási sebességtől, mint a polimereknél. *A fémolvadék viszkozitása a vízének mindössze 10–20-szorosa, a polimereké pedig annak legalább 100 000-szerese.* Ilyen nagy viszkozitás-

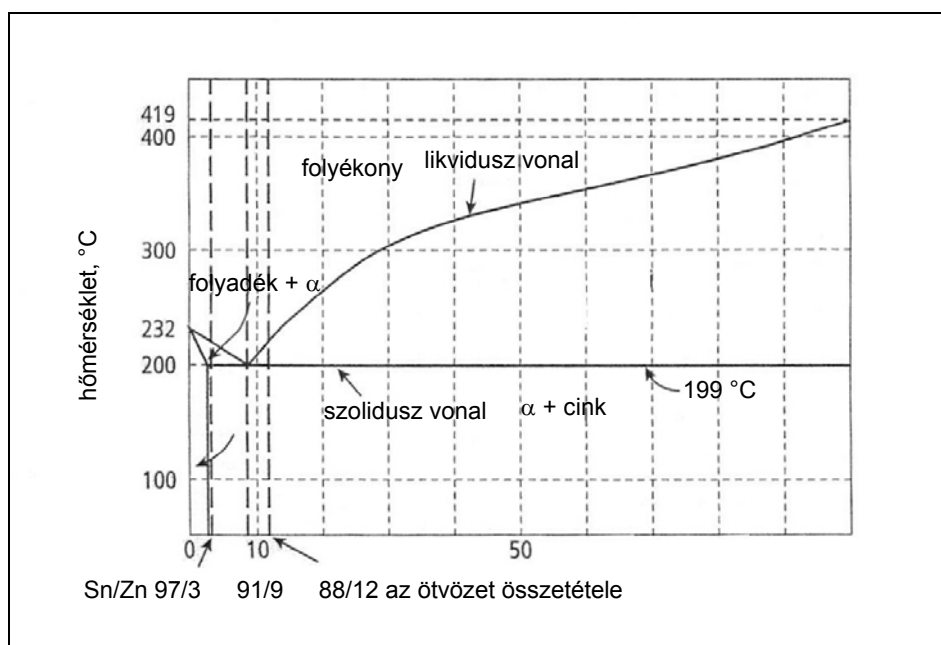
különbösnél a cseppek igen nehezen diszpergálódnak a polimermátrixban, ezért nagyon sokat kellett kísérletezni a megfelelő feldolgozási viszonyok beállításához. Annak érdekében, hogy a fémömladék és a polimerömladék szétválását meg lehessen akadályozni, rézszálakat is adnak a rendszerhez, amelyek átlagos hossza 0,65 mm, L/D értéke 15 körüli. Ezek a szálak rövidebbek, mint az általában alkalmazott rozsdamentes acélszálak, ezért nehezebben alakul ki a perkolációs hálózat, de kevésbé különbözik egymástól a mag/héj szerkezet is, és vékony falú termékek esetében is megmarad a vezetőképesség. A rézszálak ugyanakkor duktilisebbek (jobban alakíthatók) az acél- vagy a fémmel bevont üvegszálaknál, ezért kisebb a darabolódás a feldolgozás során. A kompaundáló extruderből kijövő „zsinórt” granulálják, hogy a kompaund fröccsönthető legyen.

Az új fémtartalmú kompozitok fröccsöntése

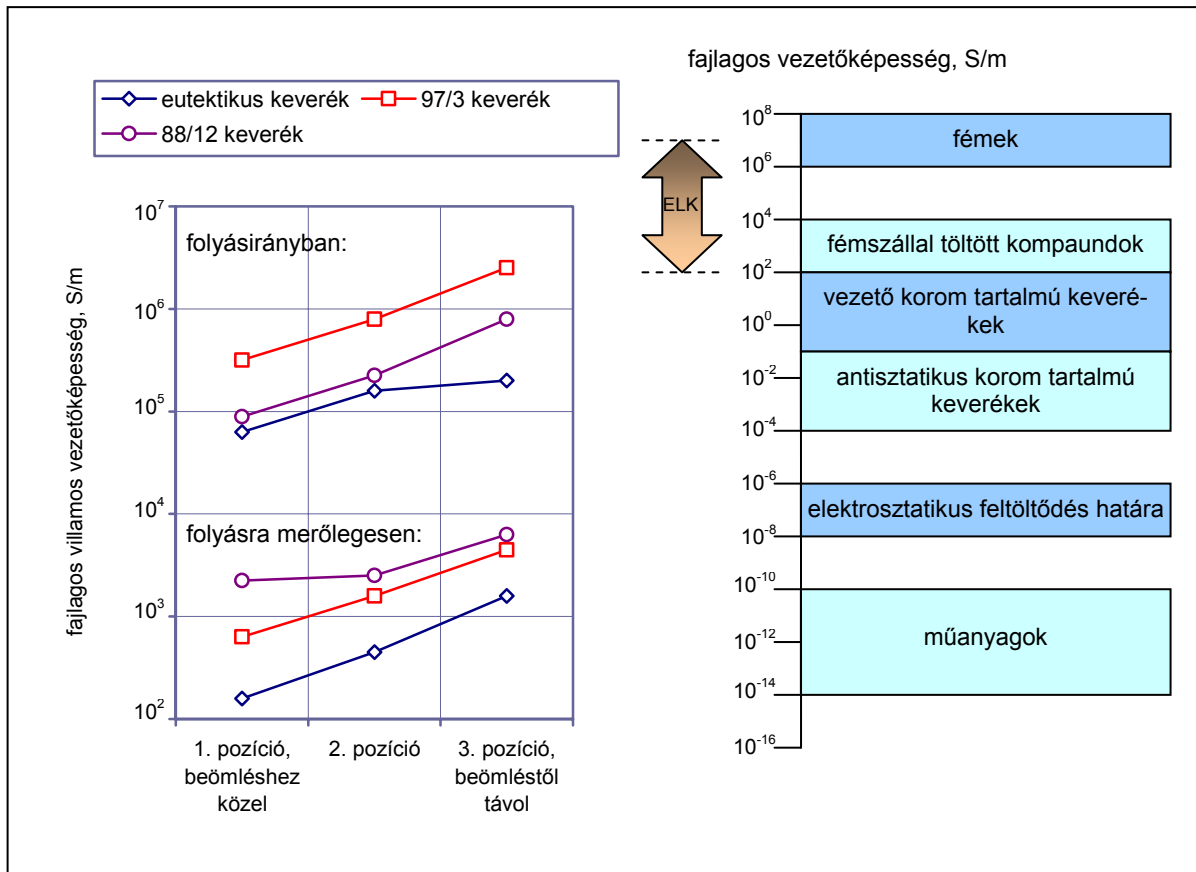
A fentebb leírt, újszerű kompozitból készült granulátumokat egy **Arburg 320 S 500–150** típusú fröccsgépen dolgozták fel (csigaátmérő 30 mm, L/D=20). Különböző geometriájú próbatetek készültek, hogy tanulmányozni lehessen a feldolgozási paraméterek és a morfológia hatását a tulajdonságokra. A próbatetek között voltak szakítópróbatetek, lapok és folyási tulajdonságot jellemző spirálok. A fémötvözet olvadási tulajdonságainak hatását úgy vizsgálták, hogy különböző ötvözeteket is kipróbáltak. Az egyik az ón-cink eutektikum 91 % (V/V) ónt és 9 % (V/V) cinket tartalmazott, olvadáspontja 199 °C. (Eutektikum: két vagy több összetevő elegye, amelynek az összetevőinél alacsonyabb az olvadáspontja – a szerkesztő megjegyzése). Ezen kívül két nem-eutektikus rendszert is alkalmaztak, amelyeknek (bizonyos fokig a polimerekhez hasonló módon) olvadáspont-tartományuk van. Az egyik Sn/Zn 97/3, a másik 88/12 összetételű. Az Sn/Zn fázisdiagram a 7. ábrán látható. A nem-eutektikus ötvözeteknél a szolidusz vonal felett, de a likvidusz vonal alatt még kb. 225 °C-ig meg nem olvadt ón- vagy cinkkristályok fordulnak elő az olvadékban. A feldolgozási körülmények hatásának vizsgálatára a befröccsöntési sebességet, az anyaghőmérsékletet és a szerszámhőmérsékletet egy központos, 2³ kísérletterv szerint variálták, hogy megbecsüljék, melyek a szignifikáns paraméterek és mekkora hatásuk van. A nagy hossz-átmérő arány változtatásával felvett folyási spirál adatok azt mutatják, hogy az erősen töltött kompozitok folyóképessége lényegesen kisebb a töltetlen mátrixpolimerénél. A legkisebb folyóképességet az eutektikusnál kisebb koncentrációjú ötvözettel töltött anyag mutatta, a legnagyobbat meg az eutektikusnál nagyobb koncentrációjú ötvözettel töltött polimer. Ez azonban nem magyarázható pusztán az ömladékviszkozitással, mert a megolvadt ötvözetek viszkozitása elég alacsony. *A rövid folyáshossz oka inkább a műanyagokhoz képest szokatlanul nagy hővezető képesség (>2W/mK), aminek eredményeként az anyag gyorsan lehül, és a nyomás a szerszámban leesik.* Ha az anyaghőmérséklet, a szerszámhőmérséklet vagy a befröccsöntési sebesség alacsony, a szerszám túl korán lepecsételődik, tehát a távoli szerszámrészek nem töltődnek ki és nő a nyíróigénybevétel. A gyors lehülés ugyanakkor azt jelenti, hogy lecsökken az utónyomási idő és a hűtési idő is. A nagy töltőanyag-tartalom miatt a rövid utónyomás ellené-

re nem keletkeznek beszívódások a terméken. A folyáshossz mindhárom említett paraméter (anyaghőmérséklet, szerszámhőmérséklet, befroccsöntési sebesség) növelésével javítható. A szerszámhőmérsékletet a PA6-nál megszokott 80–100 °C helyett 160 °C-ra választva lényegesen megnő a lepecsételődési idő, ezért több lehetőség marad a többi feldolgozási paraméter optimalizálására. Az ilyen viszonylag magas szerszámhőmérsékleteket különösen az ún. variotherm módszerrel lehet elérni.

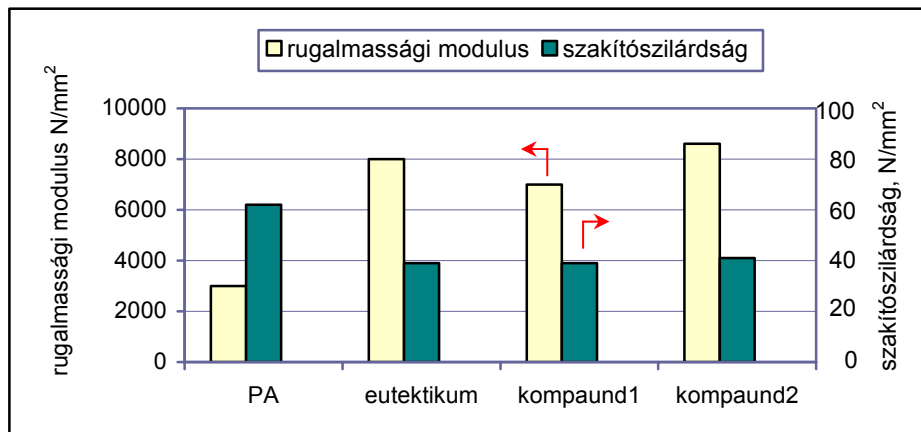
A fröccsöntött termékek morfológiai vizsgálata azt mutatta, hogy az *alacsony hőmérsékleten olvadó fémötvözet körülveszi a rézszálakat és tömör perkolációs hálózat alakul ki*. Az ötvözet nemcsak összeforrasztja a rézszálakat, de a felületet áttörve kontaktust biztosít a külvilág felé is. Az ilyen ötvözetet is tartalmazó kompozitok vezetőképessége jóval nagyobb, mint azoké, amelyek csak fémszálakat tartalmaznak. A 8. ábrán láthatók a különböző pozíciókban és különböző irányokban mért vezetőképességi értékek, összehasonlítva különböző keveréktípusok vezetőképességével. Az erősen töltött rendszerekben a lokális vezetőképesség függ a lokális orientációtól is, ezért a feldolgozást gondosan meg kell tervezni (ha lehet szimulációval alátámasztani). Érdekes módon a vezetőképesség (mind a folyásirányban, mind arra merőlegesen) a beömléstől távolabb nagyobb, mert itt megnő a töltőanyag aránya (ez más töltött kompozitok esetében is ismert). Az eutektikus ötvözetet tartalmazó kompozitok vezetőképessége kisebb, de itt kisebb a szilárd részecskék kiválásának valószínűsége is, ezért reprodukálhatóbbak az eredmények. Az ilyen próbatetek felülete kevésbé ezüstös, inkább szürkés. Fontos megjegyezni, hogy a feldolgozhatósági tartományban a kompozit vezetőképessége nem nagyon függ a feldolgozási paramétereiktől, ami azzal van kapcsolatban, hogy ha egyszer elérték a perkolációs küszöböt, a kialakuló szerkezet igen stabil.



7. ábra Sn-Zn fázisdiagram és a három MCP200 ötvözet összetétele



8. ábra A folyásirányú és arra merőleges vezetőképességek más anyagokéval összehasonlítva (ELK = vezetőképes kompaund)



9. ábra Campus próbatesteken mért mechanikai jellemzők kompaund 1: 97/3 keverék, kompaund 2: 88/12 keverék

A kompozitok mechanikai jellemzőit rövid idejű vizsgálatokkal, ún. Campus-próbatesteken ellenőrizték. A tiszta poliamidhoz képest a modulus 2–3-szorosára

emelkedik, ugyanakkor viszont a szilárdság lecsökken (*9. ábra*). A befröccsöntési sebesség és az anyaghőmérséklet különösen erős hatással van a rugalmassági modulusra és a szakadási nyúlásra. A fenti paraméterek növelése kisebb modulust és nagyobb szakadási nyúlást eredményez, mert a szálak egyenletesebb orientációja duktilisebbé teszi az anyagot. A maximális feszültség ugyanakkor kevésbé függ a feldolgozási paramétereiktől.

Fém tartalmú műanyagok a többkomponensű fröccsöntésben

A vezető vagy árnyékoló műanyagok alkalmazásakor a vezető alkatrészeket többnyire szigetelő hordozóelemekkel kell integrálni. A többkomponensű fröccsöntés ideális megoldást kínál ehhez. Ennél a technológiánál arra van szükség, hogy a két komponens (itt a fémmel töltött kompozit és a nem töltött alappolimer) kielégítően tapadjon egymáshoz. Mivel a fémek és a hőre lágyuló műanyagok nem túl jól tapadnak egymáshoz, vizsgálni kellett a feldolgozási körülmények, ill. a felületkezelés hatását a tapadásra. *Tapadást növelő szereket alkalmaztak*, és az előöntvényt a szerszámban alacsony nyomású plazmával kezelték. Próbatesteket állítottak elő egy- ill. kétkomponensű fröccsöntéssel. A kétkomponensű mintákon az összecsapási vonal a próbatest közepén helyezkedett el. A minták szakítószilárdsága a következő sorrendben csökkent: tiszta PA6, tiszta vezető kompozit, kétkomponensű fröccsöntéssel készült minta, amelyben mindkét fröccslépésben a vezető kompozitot alkalmazták, végül az utolsó a kétkomponensű vezető/PA6 minta. Ez utóbbi szilárdsága több mint a felére csökkent a tiszta PA6-hoz képest. Minden kétkomponensű minta a határfelületen szakadt el. Ez összefüggésben van a töltés hatására bekövetkező rideggedéssel. A vezető kompozitból kétkomponensű módszerrel fröccsöntött próbatest szilárdsága 30–35%-kal kisebb, mint az egykomponensű vezető kompozitmintáé. Ez a különbség nagyobb, mint töltetlen műanyagoknál szokott lenni hasonló esetben (10–20%), de nem tér el jelentősen más, erősen töltött rendszereknél megfigyelt értékektől. Mindent összevetve a tapadási szilárdság elég ahhoz, hogy a vezető kompozit alkalmazható legyen kétkomponensű fröccsöntéshez.

Összességében a kidolgozott vezető kompozit jó alapot nyújt vezető és árnyékoló rendszerek kidolgozására, de szükség lesz még a feldolgozási módszerek további finomítására, különösen a variotherm szerszámfűtési módszer fejlesztésére.

Összeállította: Dr. Bánhegyi György

Hopman, Ch., Franger, J.: Verbesserte Leitfähigkeit von Kunststoffen = Kunststoffe, 101. k. 12. sz., 2011. pp. 49–53.

Michaeli, W., Pfefferkorn, T.: Neuartige Metall/Kunststoff Blends für hoch leitfähige Anwendungen = GAK, 60. k. 11. sz. 2007. p. 725–732.

Röviden...

Szénszállal erősített poliamidkompozit

A (többek között) poliamidokat és kaprolaktámot gyártó **BASF SE** (Ludwigshafen) és a szénszálgyártó **SGL Group** (Wiesbaden) olyan kompozitot fejleszt, amelyben a szénszál reaktív poliamidmátrixban helyezkedik el. A kompozitot transzferöntéssel (Thermoplastisches Resin Transfer Molding – T-RTM) valamint reaktív fröccsöntéssel dolgozzák fel. Ezeknek az eljárásoknak a ciklusideje jóval kisebb, mint a hőre keményedő anyagoké. A költséghatékony feldolgozás fontos szempont, hogy az autóiiparnak – nagy sorozatban – könnyű, de nagy szilárdságú elemeket tudjanak előállítani az új szénszállal erősített kompozitból.

O. S.

Kunststoffe, 102. k. 11. sz. 2012. p. 8.

„Composites Europe 2012” kiállítás

2012. október 9-11. között Düsseldorfban *először rendeztek olyan kiállítást*, amelynek témája kizárólag a kompozitrendszer bemutatása volt. 426 kiállító, gyártók, kutatóhelyek mutatták be eredményeiket a kiállítást felkereső 8040 látogatónak.

Az üvegszálal erősített kompozitok iránti kereslet Európában 2012-ben legnagyobb mértékben Németországban, Nagy-Britanniában és egyes kelet-európai országokban nőtt, de a piacot az általános gazdasági helyzet határozta meg. A szénszállal erősített anyagok előtt fényes jövő áll, habár ezek az anyagok jelenleg a kompozitpiac 1–2%-át teszik ki. *A nagy szilárdságú szénszállal erősített kompozitok növekedési üteme 2020-ig 17% lesz évente, miközben 30%-os árcsökkenés várható.*

O. S.

Kunststoffe, 102. k. 11. sz. 2012. p. 8.