

# FÉMMÁTRIXÚ KOMPOZITHUZALOK, DUPLA KOMPOZITOK ÉS KOMPOZIT TÖMBÖK TULAJDONSÁGAI

Kientzl I.<sup>1</sup>, Orbulov I.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem  
Anyagtudomány és Technológia Tanszék  
1111, Budapest, Goldmann György tér 3.  
[imre@eik.bme.hu](mailto:imre@eik.bme.hu)

Jelen cikkben a fémmátrixú, kerámiaszálakkal erősített kompozithuzalok, a kompozithuzallal erősített dupla kompozitok és kompozit tömbök vizsgálatának módszereit és azok eredményeit mutatjuk be.

A tartós idejű termikus hatásnak kitett kompozithuzalok ütőmunka és termoelektromos erő változása állt a figyelem középpontjában. A kísérletet követő vizsgálatok azt mutatták, hogy a tartós időn át nagy hőmérsékletnek kitett alumínium mátrixú, Nextel 440 vagy SiC kerámiaszálakkal erősített kompozithuzalok nem ridegednek el.

A kompozithuzallal erősített ón, ólom, cink mátrixú próbatestek (dupla kompozitok) hajlító- és szakítóvizsgálatából az a következtetés vonható le, hogy az erősítőfázis mindegyik befoglalóanyagban megfelelően ellátja a feladatát és jelentős szilárdságnövekedés érhető el vele.

A kompozit tömbök esetében a szakítóvizsgálat elvégzése után kijelenthető, hogy a darabok tömeg-szilárdság aránya nagyon kedvező, de a mért értékek elmaradnak az elméleti úton (keverési szabály) számítottól.

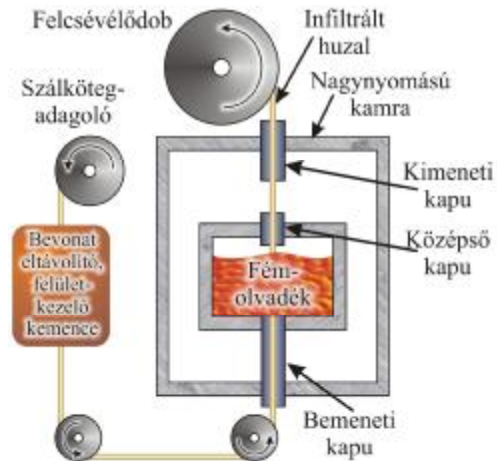
## 1. BEVEZETÉS

### 1.1. Kompozithuzalok folyamatos előállítása

A Metal Matrix Composite Laboratory 15 évig működött az Egyesült Államokban, ezután pedig a 2004-2005-ben Bostonból átkerült a BME ATT-re. A laborban végzett kutatások és fejlesztések egyik fő eredménye az alumínium mátrixú kompozithuzalok folyamatos gyártási eljárásának kidolgozása, amely Blücher József nevéhez fűződik. A kompozithuzal alkalmazható nagyfeszültségű elektromos kábelek teherviselő elemeként valamint öntvények-, sajtolt profilok [1] erősítőanyagaként. Jelenleg az említett alkalmazási példák még kísérleti stádiumban vannak.

Az eljárással folyamatos kerámiaszál-erősítésű fémmátrixú kompozithuzalok állíthatók elő 0,5 és 1,6 mm átmérő tartományban, 60 térfogat%-os szálaránnyal [2, 3]. Az eljárással elérhető nagy gyártási sebességnek köszönhetően a határfelületi reakciók jelentősen csökkennek, és emiatt a mechanikai tulajdonságok is javulnak [4, 5].

A kísérleti berendezés fő részeit a 1. ábra mutatja. A kompozithuzalok előállításához 12 µm átmérőjű Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Nextel 440) és SiC szálak kerültek felhasználásra. Az erősítőszálak az eljárás során nyomás alá helyezett alumíniumolvadékon haladnak keresztül. A nyomás

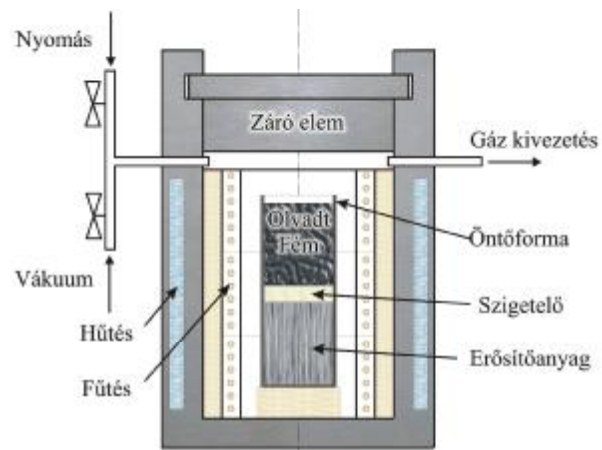


1. ábra: Folyamatos infiltrálóberendezés vázlata

hatására az alumíniumolvadék behatol a kerámiaszálak közötti térbe, ezzel infiltrálva a szálköteget. A kompozituzal gyártásakor a kamrában nyomás alatt lévő alumíniumolvadék kiáramlását a kapurendszer (bemeneti-, középső- és kimeneti kapu) akadályozza meg a rajta áthaladó szálak mozgásának segítségével [6]. A szálak mozgása ugyanis a kamrából távozni akaró alumíniumolvadék haladási irányával ellentétes, így egy egyensúlyi állapot beálltakor a kamrából pont annyi alumínium távozik, mint amennyit a szálköteg, a kellő térfogathányad mellett képes visszahordani a kamrába. Természetesen ez az egyensúlyi érték függ a húzási sebességtől, a kamrában uralkodó nyomástól és a szál-térfogathányadtól. Ez utóbbi határozza meg, hogy mennyi szabad tér áll rendelkezésre a szálak között (áramlási keresztmetszet) az alumíniumolvadék számára.

## 1.2 A nyomásos infiltrálás technológiája

Nyomásos infiltrálással tömbi kompozitok állíthatók elő. A legyártható tömbök mérete a berendezés méretétől függ. Jelen kísérletnél távolról sem lettek kiaknázva az infiltrálóberendezés méreتي lehetőségei, ugyanis a tapasztalatok szerint a kisebb méretű blokkokon belül a tulajdonságok lényegesen homogénebbek. Ebből kifolyólag 35×70×180 mm befoglaló méretű tömböket készítettünk. A kísérlet során 7,2 μm átmérőjű szénszálakat helyeztünk egy befenekelt zártszelvény öntőformába. A szálak egymással és az öntőforma hossz tengelyével párhuzamosan



2. ábra: Nyomásos infiltráló berendezés vázlatja

helyeztünk telej a erősítőanyagot, az  $Al_2O_3$  paplan került, amely elkülöníti egymástól az AlSi12Mg mátrixanyagot és az erősítőfázist. A hőmérséklet folyamatos nyomon követése érdekében hőelemeket helyeztünk el az öntőforma aljára és az alumínium tömbbe. A hőmérséklet pontos ismerete kiemelten fontos, mert a gyártás szempontjából optimális hőmérséklet-tartomány meglehetősen szűk. A hőmérsékletet felülről korlátozza, hogy a határfelületi reakciók csökkentése miatt a lehető legkisebb hőmérsékleten, a legrövidebb idő alatt kell végrehajtani a kísérletet, viszont alsó korlátot jelent az, hogy a tömb sikeres előállításának elengedhetetlen feltétele a mátrixanyag megolvadása

Az előkészített öntőformát ezután az infiltráló kamrába tettük. A kamrában tetszés szerint lehet vákuumot és túlnyomást létrehozni és mindemellett fűthető is. Az így összeállított kísérleti berendezés vázlatja a 2. ábrán látható.

A kamra lezárását követően vákuumot hozunk létre, miközben felfűtjük a mátrixanyag olvadáspontja fölé 40°C-al. A vákuum alatt megolvasztott fém "hermetikus dugót" képez az öntőformában. Ekkor az olvadék feletti és alatti térben egyaránt vákuum van. Ezután argon gázzal elárasztva a kamrát, nyomáskülönbséget hoztunk létre a "dugó" két oldalán, amely arra kényszeríti a fémolvadékot, hogy a szigetelő paplanon keresztül a kerámiaszálak közé folyjon, ezzel infiltrálva azt. Az alkalmazott nyomás az infiltrálandó erősítőanyag nedvesíthetőségétől és térfogathányadától függ. Amennyiben az erősítőfázis a

mátrixfém olvadéka által rosszul nedvesedő, akkor az alkalmazott nyomásnak nagyobbak kell lennie. A berendezésben a nyomás ennek megfelelően széles tartományban változtatható, aszerint, hogy az adott kompozit mit kíván meg [7, 8]. Az infiltrációs lépés után az alumínium megszilárdul, a túlnyomás megszüntetése után a karma kinyitható és az öntőforma eltávolítható. A kész kompozittömb az öntőforma szétvágásával távolítható el, ezek után a szükséges alkatrészek, próbatestek kimunkálhatók a tömbből.

## **2. KÍSÉRLETI MÓDSZEREK**

### **2.1 Dupla kompozit próbatestek előállítása**

A kompozithuzalok egy lehetséges alkalmazási területe az öntvények megerősítése [9, 10]. Ezért a kísérletek folyamán azt vizsgáltuk, hogy a különböző olvadáspontú mátrixfémekkel milyen mechanikai tulajdonságokkal rendelkező dupla kompozit hozható létre.

Szakító- és hárompontos hajlító próbatesteket készítettünk, amelyekhez 1,6 mm átmérőjű,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  szálakat tartalmazó kompozithuzalokat használtunk fel. A huzalokat a próbatest keresztmetszetek semleges szálában helyeztük el. A próbatestek lapos kivitelben, 10×20 mm-es, téglalap alakú keresztmetszettel készültek. A kísérletek során több mátrixfémeket alkalmaztunk (Sn, Pb és Zn), ezeket az olvadáspontjuk alapján választottuk. A kompozithuzalok mátrixa minden esetben tiszta alumínium volt, ezért a dupla kompozit mátrixanyagként nem alkalmazhattunk az alumíniuménál magasabb olvadásponttal rendelkező fémet. További követelményt jelentett az anyagok öntészeti viselkedése (önthetőség, hígfolyósság stb.). Ezért választottuk az ónt (jó hígfolyósság, olvadáspont: 232 °C), az ólomot (olvadáspont: 327 °C), a cinket (olvadáspont: 420 °C) és az alumíniumot a maga 660 °C-os olvadáspontjával. Minden próbatest gravitációs öntéssel készült.

Az ón alapanyag jól kitöltötte az öntőformát, és a szilárdulás után kis beszívódás, valamint a felületeken dendrites kristályok voltak megfigyelhetők. A cink alapanyagú próbatestek üregeket tartalmaztak (erre a későbbi röntgenes vizsgálat folyamán derült fény) és felületük durva volt. Az ólom mátrixú dupla kompozit próbatestek öntésekor nem keletkeztek üregek, viszont nehézséget jelentett, hogy az ólom gyorsan dermedt. Az alumínium öntése volt a legnehezebb, mert nem nedvesíti a kompozithuzal felületén, az alumínium mátrix miatt létrejövő alumínium-oxidot.

### **2.2. Kompozithuzalok tartós idejű hőkezelése**

A nagyfeszültségű elektromos hálózat kábelei (amely az egyik lehetséges alkalmazási területe a kompozithuzaloknak) 200-300 °C-os hőmérsékletre is felhevülhetnek a túlterhelés következtében. Éppen ezért fontos megvizsgálni, hogy a kompozithuzalok erősítő- és mátrix anyagai közti átmeneti rétegben végbemennek-e a kompozithuzal mechanikai tulajdonságai szempontjából káros reakciók. Ennek tanulmányozására 1,6 mm-es átmérőjű kompozithuzalokat hevítettünk 400 °C-ra és ott különböző ideig hőn tartottuk (100, 250, 500, 750 és 1000 órán át).

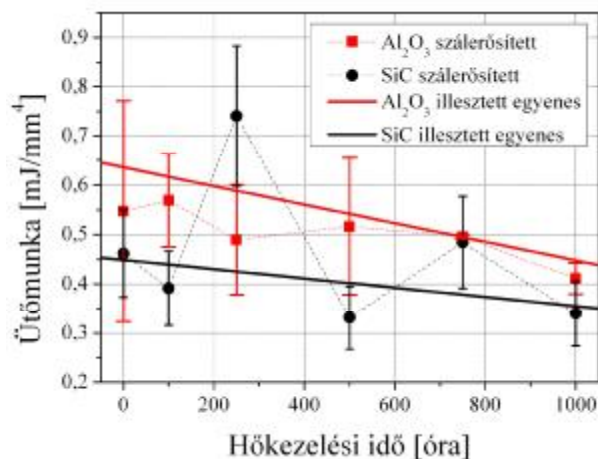
A hőkezelés után műszerezett ütővizsgálattal mértük a kompozithuzalok szívósságát. Ez egy Charpy-féle ütővizsgálat. Az ütőmű kalapácsfejében egy rendkívül érzékeny erőmérő cella is helyet kapott, ami egy számítógép felé továbbítja a mérési adatokat. Így lehetőségünk nyílt a kompozithuzalok törésekor fellépő erő-elmozdulás

görbék felvételére is, amelyet később kiértékelünk. A kompozit huzalok speciális, bemetszés nélküli formában kerültek vizsgálatra igen kis átmérőjük és rideg viselkedésük miatt. Az 1,6 mm-es átmérő miatt a fellépő erők és az elnyelt alakváltozási energiák is meglehetősen kicsik. Ezért a kalapács indítási szöge a függőlegeshez képest  $40^\circ$  volt. A mintatartók támaszköze 40 mm volt. Minden vizsgált huzaldarab 50 mm-es kiinduló hosszal rendelkezett, így 5-5 mm szakaszon feküdt fel a minta a mintatartón.

### 3. EREDMÉNYEK ÉS KIÉRTÉKELÉS

#### 3.1 Tartós idejű hőkezelésnek alávetett kompozit huzalok ütővizsgálata

Az  $\text{Al}_2\text{O}_3$  és SiC szálakkal erősített kompozit huzalok elnyelt energiáját mutatja az öregítési idő függvényében a 3. ábra. Az alumínium mátrixú,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  szálerősítésű kompozit huzalok esetében a mérési eredmények egymástól való eltérése kisebb volt, mint a SiC szálakkal erősített társaié. Az eredmények egymáshoz képesti nagy eltérése annak köszönhető, hogy a kerámiaszálakkal történő erősítés miatt az kompozit huzal rideg. A nagy eltérések ellenére megfigyelhető egy tendencia a mérési eredményekben, mindkét erősítősál esetében. Az ütőmunka a hőkezelési idő függvényében kismértékben eső karakterisztikájú.



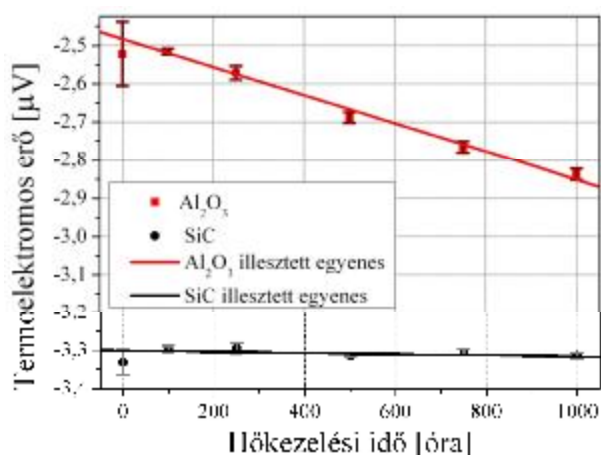
3. ábra: Kompozit huzalok ütőmunkája a hőkezelési idő függvényében  $400^\circ\text{C}$ -on

Ezek alapján az mondható, hogy kismértékű károsodás ment végbe a szálak felülete és a mátrixanyag között elhelyezkedő átmeneti rétegben. Ezenkívül a várttal ellentétben a SiC erősítésű szálak nem váltak nagymértékben rideggé [5]. Ez a várakozásunk a szén és alumínium kölcsönös, szilárd állapotban történő diffúzióján alapult [4]. Ehhez kapcsolódó vizsgálatokat pásztázó elektronmikroszkóppal és energiadiszperzív röntgenanalízissel is végeztünk. A részletesebb eredmények alátámasztása érdekében további termikus öregítés van folyamatban, amelyet megismételt műszerezett ütővizsgálat követ majd.

### 3.2 Termoelektromos erő mérése

A termoelektromos erő (Seebeck állandó) értéke a feszültségkülönbséget fejezi ki a próbatest két vége között, ami akkor jön létre, ha a próbatest végpontjainak hőmérsékletkülönbsége  $1^{\circ}\text{C}$ . Ennek a módszernek a segítségével kimutathatók az összetételben és az anyag állapotában lévő különbségek. A vizsgálathoz 70 mm hosszú próbatesteket fogtunk be a termoelektromos erő mérésére szolgáló berendezésbe. Kétfajta,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  és SiC szál erősített kompozitvizualt vizsgáltunk.

Az 5. ábrán megfigyelhetjük, hogy az  $\text{Al}_2\text{O}_3$  erősítésű alumínium mátrixú kompozitvizual termoelektromos ereje lineárisan csökken a hőkezelési idő függvényében. A SiC erősítésű kompozitvizualok termoelektromos ereje nagyon enyhe ereszkedést mutatva csökkent, csaknem konstans értéken maradt. A mérési eredmények szórása kicsi volt. Tehát sikerült a korrelációt találni a termoelektromos erő és a hőkezelési idő között.



5. ábra: Termoelektromos erő a hőkezelési idő függvényében

### 3.3 Dupla kompozitok mechanikai vizsgálata

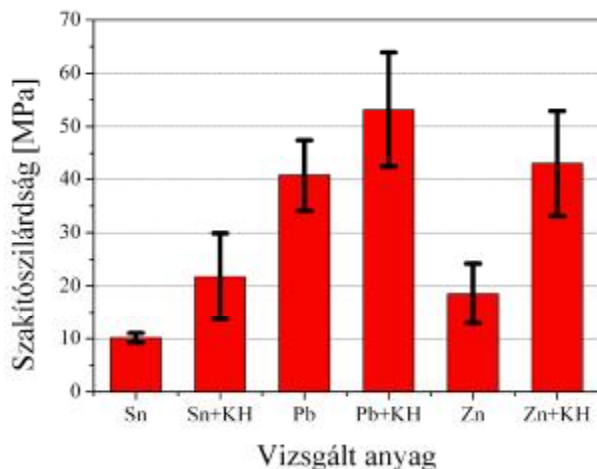
A folyamatos eljárással gyártott, alumínium mátrixú kompozitvizualok szakítószilárdsága (a legnagyobb erőhöz tartozó szilárdság) 670 MPa körül ingadozik. Így a kompozitvizualokat dupla kompozitokban felhasználva kellő szilárdságnövelés érhető el. A mechanikai tulajdonságokat szakító- és hajlítóvizsgálattal határoztuk meg. A hajlítóvizsgálat esetében a próbatestek mérete lehetővé tette, hogy egy próbatesten több mérést is végezzünk, ahogyan ezt a 6. ábra mutatja.



6. ábra: Dupla kompozit próbatestek hajlítóvizsgálata

A gravitációs öntéssel készült próbatestekben az erősítőhuzalok elhelyezkedését és az előállítás során keletkező hibákat (üregeket, zárványokat) röntgenvizsgálatok segítségével ellenőriztük. A legtöbb próbatest nem tartalmazott öntési hibákat és az olvadék nem mozdította el a behelyezett huzalokat a helyükről. A kompozitvizualok röntgenes láthatósága kedvezőtlen, mivel a röntgensugárzással szembeni elnyelőképességük alig különbözik a mátrixanyagétól (főleg az alumínium mátrixú dupla kompozitoknál). A legtöbb gond az alumínium mátrixú darabokkal kapcsolatban adódott, mivel az alumínium nedvesítése volt a legrosszabb az alkalmazott mátrixanyagok közül. Ezeknél a kompozitvizualok közvetlen környezetében viszonylag sok öntési üreg volt felfedezhető.

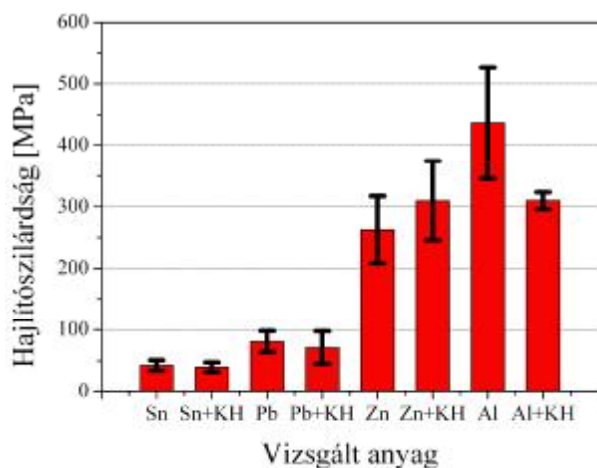
A szakítóvizsgálatok elvégzése után az ón próbatesteken volt a legszembetűnőbb a különbség az erősített és az erősítetlen változat között. Az erősítetlen próbatest nyúlása lényegesen nagyobb volt, és felületén erőteljes alakváltozási nyomok fedezhetők fel. A kompozit-huzallal erősített társán a szakadást minimális nyúlás előzte meg, és emellett több mint kétszeres szakítószilárdság jellemezte. Az ólom és a cink esetében is megmutatkozott a kompozithuzal szilárdságnövelő hatása, de mivel itt a mátrixanyagok nem rendelkeztek nagy alakváltozó-képességgel, így az alakváltozásban nem volt jellegzetes különbség a kompozithuzallal erősített és az erősítetlen próbatestek között. A szakítóvizsgálat eredményeit a 7. ábra mutatja.



7. ábra: A vizsgált anyagok szakítószilárdsága (KH = Kompozithuzallal erősített)

A hárompontos hajlítóvizsgálat eredménye a 8. ábrán látható. A hajlítószilárdságot a mérés során fellépett legnagyobb hajlítóerőből számítottuk. Minden kompozithuzalt egy sorban, a próbatest semleges tengelyében helyeztük el.

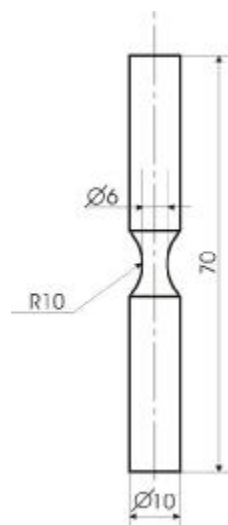
A hajlítóvizsgálat eredményei ellentmondásban vannak a szakítóvizsgálat eredményeivel, ugyanis csak a cink próbatesteknél mutatott nagyobb szilárdságot a kompozithuzallal erősített változat. Ez az eredmény azzal magyarázható, hogy a huzalok a hajlítás semleges szálában voltak elhelyezve, így a szilárdságnövelő hatás nem érvényesült, másrésről pedig a kompozithuzal alumínium mátrixán kialakult felületi oxidréteg miatt nem jött létre a megfelelő kötés a második mátrix és a kompozithuzal között.



8. ábra: A vizsgált anyagok hajlítószilárdsága (KH = Kompozithuzallal erősített)

### 3.4 Kompozittömbök mechanikai vizsgálata

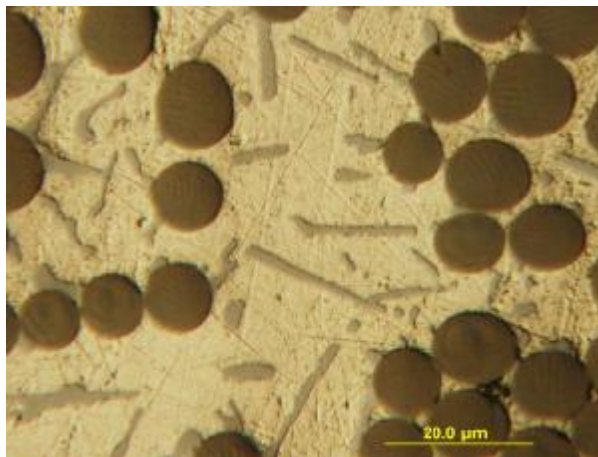
A megmunkálási nehézségek (a szálak erős koptatóhatása) miatt speciális (az öntöttvasak esetében is használt) próbatesteket készítettünk, amely a 9. ábrán látható. A szakítóvizsgálat sebessége 0,1 mm/s volt, a próbatestek egy irányban, a próbatest hossz tengelyével párhuzamosan elhelyezett Thornel gyártmányú szénuszálakat tartalmaztak erősítésként, amelyek átmérője 11  $\mu\text{m}$ . Az erősítőanyag tartalom 40 térfogatszázalék volt. A szakítóvizsgálathoz a próbatestekre a befogás helyén PVC csövet ragasztottunk epoxi gyanta segítségével (amelynek nyírószilárdsága kielégítő a vizsgálathoz), hogy a befogásban ébredő erő ne roncsolja a mintát. Az AlSi12Mg alapanyagot alkalmaztuk mátrixként a tömbi kompozitok előállításához, mert a szilíciumtartalom csökkenti a keletkező karbidok mennyiségét [11].



9. ábra: Kompozittömbök szakítóvizsgálathoz készített próbatest

A szakítóvizsgálatok elvégzése után az átlagos szakítószilárdság 280 MPa-ra adódott (93 MPa szórással), amely jelentősen elmaradt az elméleti úton (keverési szabályból) számított 926 MPa-os értéktől. Az eltérés oka az erősítőanyag és a mátrixanyag közötti határfelületen képződött reakciótermékek káros hatásának tudható be.

Az előbb említett átmeneti rétegben rideg reakciótermék ( $\text{Al}_4\text{C}_3$ ) képződött. Az  $\text{Al}_4\text{C}_3$  nem képes a megfelelő teherátadást biztosítani a mátrixanyag és az erősítőanyag között kis nyírószilárdsága miatt, ezzel lecsökkentve a kompozit szilárdságát. Megjegyezzük, hogy az átlagos szakítószilárdságot viszonylag kis számú mintasokaságból (6 darab) számítottuk. Ezeknek a méréseknek nagy volt a szórása, ami arra utal, hogy a megbízhatóbb eredményekhez nagyobb számú mérés szükséges.



10. ábra: Szilícium kiválások a kompozittömbben

A kompozit mátrixában (AlSi12Mg) lévő nagy szilíciumtartalomra utalnak a csiszolaton is megfigyelhető kiválások (10. ábra).

A szénuszálakkal erősített AlSi12Mg mátrixú kompozittömbök hajlítóvizsgálatakor 312 MPa-os szilárdságot mértünk 61 MPa szórással. Ebben az esetben szintén kijelenthető, hogy a mért értékek lényegesen kisebbek a számítottól a már említett rideg, határfelület mentén megjelenő fázisok miatt.

A zömítővizsgálatok elvégzése után számított átlagos nyomószilárdság 850 MPa-ra adódott 49 MPa-os szórással. A próbatestek átmérője 10 mm, magassága 20 mm. A vizsgálat sebessége 0,1 mm/s volt. A próbatesteket úgy helyeztük be a zömítőszerszámba,

hogy az erősítőszálak a terhelés irányába essenek. Az eredmények alapján megállapíthatjuk, hogy a próbatestek nyomószilárdsága jól közelíti az elméletileg számított értékeket.

A tömbi kompozitok esetében a húzásra illetve nyomásra igénybevett darabok szilárdsága között jelentős eltérés tapasztalható. Ez a különbség annak tudható be, hogy a húzó jellegű igénybevételek mellett ridegebben viselkedik az anyag, míg a nyomó igénybevételkor a rideg fázisok szerepe enyhül.

#### **4. KÖVETKEZTETÉSEK**

Cikkünkben megmutattuk, hogy a kompozitvezetékek termoelektromos ereje korrelál a hőkezelési idővel. A tartós időtartamú hőkezelések megmutatták, hogy az  $Al_2O_3$  erősítőanyagú kompozitvezetékek ütemmunkája kis mértékben csökken termikus igénybevételek esetén.

A kompozitvezetékekkel erősített próbatestek szilárdsága mindig, hajlítóvizsgálatnál csak a cink mátrixú próbatesteknél lett jobb.

A szénszállakkal erősített tömbi kompozitoknál a mért értékek nem érik el a szálak és a mátrix arányából számított elméleti szilárdság (keverési szabály) 50 %-át. Ennek oka a mátrixanyag és az erősítőanyag határán képződött rideg fázis, amely a húzó igénybevétel mellett nem képes a szálak és mátrix közötti erőátadási funkciót ellátni. Ez a szakító- és a hajlítóvizsgálatban egyaránt megjelenik.

A zömítővizsgálatból nyert értékek jól közelítik az elméleti számításból kapottakat. Ez azért volt lehetséges, mert a rideg határfelületi fázis a húzásra érzékenyebb.

#### **KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS**

A munkát, a Magyar Tudományos Kutatási Alap támogatta (OTKA T043571). Külön köszönettel tarozunk Blücher József professzornak szíves segítségével.



## HIVATKOZÁSOK

1. K. A. Weidenmann, M. Schomäcker, E. Kerscher, D. Löhe, M. Kleiner: Composite extrusion of aluminum matrix specimens reinforced with continuous ceramic fibers. *Light Metal Age*, pp. 6-10 October 2005.
2. Blucher, J.T., US Patent Number 5736199, 7 April 1998
3. Blucher, J.T., Katsumata, M., Narusawa, U., Nemeth A., "Continuous manufacturing of fiber-reinforced metal matrix composite wires – technology and product characteristics," *Composites, Part A* 32, (2001) 1759-1766.
4. E. Pippel, J. Woltersdorf, M. Doktor, J. Blucher, H. P. Degischer: Interlayer structure of carbon fibre reinforced aluminium wires, *Journal of Materials Science* 35 (2000) 2279 – 2289
5. Vidal-Sétif, M.H., Lancin, M., Marhic, C., Valle, R., "On the role of brittle interfacial phases on the mechanical properties of carbon fibre-reinforced Al-based matrix composites," *Mater. Sci. Eng. A272*, (1999) 321–333.
6. M.G. Williams , J.A. Isaacs, J.H. Nadler, S.L. Sampson, G.J. Kowalski, J.T. Blucher: Analytically motivated process improvements in continuous metal–matrix composite wire fabrication, *Materials Science and Engineering A266* (1999) 86–92.
7. Mizumoto, M., Ohgai, T., Kagawa, A., "Characterization of fiber-reinforced metal matrix composites fabricated by low-pressure infiltration process", *Materials Science and Engineering, A* 413-414, (2005) 521-526.
8. Carreno-Morelli, E., Cutard, T., Schaller, R., Bonjour, C., "Processing and characterization of aluminium-based MMCs produced by gas pressure infiltration," *Materials Science and Engineering, A251*, (1998) 48-57.
9. Blucher, J.T., Dobranszky, J., Narusawa U., "Aluminium double composite structures reinforced with composite wires" *Materials Science and Engineering, A* 387-389, (2004) 867-872.
10. Blucher, J.T., Dobranszky, J., "Kompozituzallal erősített alumínium dupla kompozit szerkezetek," *Kohászat*, 136., (2003:5).
11. T. Etter, P. Schulz, M. Weber, J. Metz, M. Wimmmler, J.F. Löffler, P.J. Uggowitzer: Aluminium carbide formation in interpenetrating graphite/aluminium composites, *Materials Science and Engineering A* 448 (2007) 1–6.