

ALUMÍNIUM–SZÉNSZÁL KOMPOZITHUZAL MIKROSZERKEZETÉNEK VIZSGÁLATA

MICROSTRUCTURAL CHARACTERIZATION OF AL-C COMPOSITE WIRE

Tihanyi Károly¹, Törzsök Péter², Dobránszky János³, Bitay Enikő⁴

¹ BME, Gépészmérnöki Kar, Anyagtudomány és Technológia Tanszék
1111 Budapest, Műegyetem rakpart 3. kartihanyi@gmail.com

² MTA–BME Kompozittechnológiai Kutatócsoport, 1111 Budapest, Műegyetem rakpart 3. tpeti@eik.bme.hu

³ MTA–BME Kompozittechnológiai Kutatócsoport, 1111 Budapest, Műegyetem rakpart 3, Dobranszky.Janos@eik.bme.hu

⁴ Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, 540485 Târgu-Mureș, O.p. 9, C.p. 4.
bitay@eme.ro

Abstract

This paper describes the successful experimental production of carbon fiber reinforced aluminum matrix composite wires by using continous pressure infiltration and the examination of the composite wires with optical microscopy and scanning electron microscopy.

Keywords: carbon fiber, composite wire, aluminum matrix composite, pressure infiltration

Összefoglalás

A cikk ismerteti a nyomásos beitatással, folyamatos eljárással gyártott, szénszál erősítésű, alumínium mátrixú kompozithuzalok sikeres kísérleti gyártását, továbbá az Al–C kompozithuzalok mikroszerkezetének optikai mikroszkópos és pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálati eredményeit.

Kulcsszavak: szénszál, kompozithuzal, alumínium mátrixú kompozit, nyomásos beitatás

1. Bevezetés

A fémkompozitok gyártásának az egyik elterjedt és gazdaságos módja a nyomásos beitatás (angolul: infiltration). Ez jellemzően kompozittömb-gyártási technológiákat foglal magába [1]. Az Al mátrixú, szénszál erősítésű kompozitok esetében azonban a szilárdság jóval alatta marad az elméletileg elérhető szilárdságnak. A probléma forrása az, hogy az alumínium szénszállal érintkező határfelületén tús szerkezetű Al_4C_3 karbi-

dok képződnek, amelyek mikroszkopikus feszültséggyűjtő helyekként szolgálnak, és rontják a határfelületi kohéziót [2, 3].

A karbidképződés megakadályozására több lehetőség is kínálkozik. Az egyik, hogy a szénszálak felületét valamilyen – jellemzően kerámia-bevonattal vonjuk be, amely gátat szab a szénszál és az alumínium határfelületi reakciójának [4, 13]. Egy másik lehetséges megoldás az alumínium mátrixú, szénszál erősítésű kompozitok mechanikai tulajdonságainak javítására, ha

a gyártás során a mátrix minél kevesebb időt tölt az alumíniumolvadékban. Így a képződött karbidréteg vastagsága jelentősen csökkenthető. Erre csak a folyamatos gyártási eljárások esetén nyílik lehetőség. Ilyen a *Blücher és társai* által szabadalmaztatott, majd az általa gyártott kísérleti berendezéssel Budapesten, a fémkompozitok laboratóriumában folytatott folyamatos nyomásos beitatási eljárás. Ennél a gyártási módnál a kompozithuzal olvadékban eltöltött ideje a másodperces tartományokba esik, így az elérhető szakítászilárdság megközelíti az elméletileg elérhető [2].

Ez idáig a folyamatos nyomásos beitatást alkalmazva szinte csak kerámiaszállal (Al- és Si-oxid) erősített kompozithuzalokat gyártottak, ugyanis a szénszállal történő gyártáshoz szükséges jóval nagyobb nyomás technológiai nehézségeit nem sikerült leküzdeni. Ez a nagy nyomásigény abból ered, hogy a szénszál felületét az alumíniumolvadék rendkívül rosszul nedvesíti; a peremszög az olvadék felületén lévő oxidhártya miatt lényegesen nagyobb, mint kerámiaszál esetén [5].

A nedvesítés javítására több módszer is kínálkozik. Az egyik a szálak bevonatolása, egy másik az alumíniumolvadék olyan elemekkel történő ötvözése, amelyek csökkentik annak felületi feszültségét. Ilyen ötvöző a Mg, melyet sikeresen alkalmaztak szénszál erősítésű kompozithuzal gyártására ultrahanggal segített folyamatos beitatásnál [4, 6, 7]. A kutatásaink során a kísérleti berendezésünk fejlesztésével sikerült feltárni és megoldani azokat a technológiai nehézségeket, amelyek megakadályozták a szénszálkötegek alumíniummal való beitatását. Ilyenfajta sikeres kísérletre – ismereteink szerint először és utoljára – 2000-ben volt példa ezzel a technológiával [10], míg másféle beitatási koncepciót alkalmazva 2002-ben és 2007-ben [11, 12]. A kompozithuzal-gyártási kísérletek során sikerült bevonat nélküli szálakkal Al-Mg-ötvözet mátrixú huzalokat gyártanunk. A

következőkben ezeknek a gyártási jellegzetességeit és eredményeit fogjuk bemutatni.

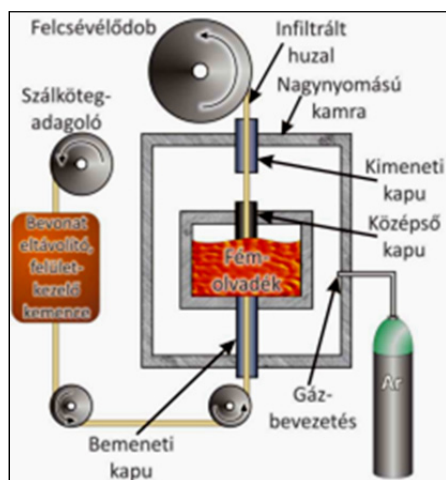
2. Kísérletek

2.1. A gyártási eljárás bemutatása

A folyamatos nyomásos beitatásos berendezés fényképe az **1. ábrán**, elvi vázlata a **2. ábrán** látható. A technológia első lépéseként a szálköteg áthalad a védőbevonateltávolító kemencén, majd ezt követően a bemeneti kapun keresztül belép az olvadékba. Ha az olvadék a rá ható gáz nyomásának köszönhetően eléri a gyenge nedvesítés leküzdéséhez szükséges nyomásküszöböt, a szálköteg átítatódik.



1. ábra. A folyamatos nyomásos beitatásos berendezés fényképe



2. ábra. A folyamatos nyomásos beitatásos berendezés vázlata [7]

Ezzel a nyomással azonban a befelé tartó szálköteg olvadékra ható sűrűlódásából származó erőnek egyensúlyt kell tartania, különben az olvadt fém a nyomás a bemeneti kapuban a hideg zónába juttatja, ahol az olvadék megdermed, és ez megszakítja a folyamatot. Az átitatódott szálköteg az olvadékot a felületén lévő oxidhártya alá nyúló középső kapun keresztül hagyja el. Végül a megszilárdult kompozithuzal a nagynyomású kamrából a kimeneti kapun keresztül távozik [1, 2, 8].

2.2. A sikeres gyártási kísérletek technológiai tényezői

A bevonat nélküli szénszállal számos sikeres gyártási kísérletet végeztünk, ahol a szénszálköteg átitatottsága teljes volt. A kísérletek során Mitsubishi–Dialed K63712, 11 μm átmérőjű, 12 000 elemi szálból álló szénszálkötegből gyártottuk a ~70% szálkitöltésű kompozithuzalt. Az olvadék hőmérsékletet 700–800 °C-ra, az áthúzási sebességet 3 m/min-re választottuk.

Az első kísérletekben a mátrix Mg-tartalmát 5–8%-ra választottuk. Matsunaga és társai [7] az ultrahangos átitatással folytatott kísérletek nyomán a szilárdság és a

nedvesítés szempontjából az 5%-ot állapították meg ideális értéknek. Az átitatáshoz szükséges nyomás függ az olvadék felületi feszültségétől, amit a hőmérséklet és a Mg-tartalom is befolyásol. Az olvadék összetételét és a kísérletben elért legnagyobb nyomásértékeket mutatja az 1. táblázat; nyilvánvalónak mondható, hogy ezeknél az értékeknél kisebb nyomáson indult meg az olvadék beitatódása.

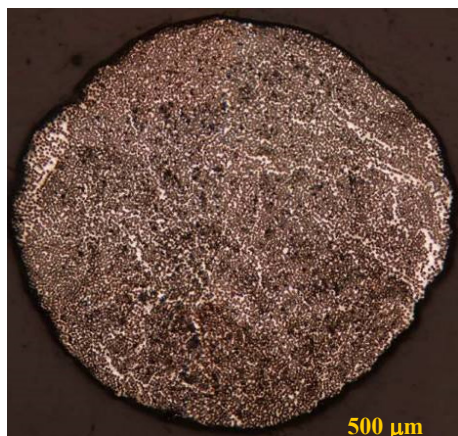
1. táblázat. Szénszál erősítésű kompozithuzalok folyamatos nyomásos beitatásának jellemzői: az olvadék összetétele és a beitatási nyomás

	Mátrix anyaga	Nyomás (psi # bar)
1.	AlMg8	300 # 20,7
2.	AlMg7	350 # 24,1
3.	AlMg5	310 # 21,4
4.	AlMg5	360 # 24,8

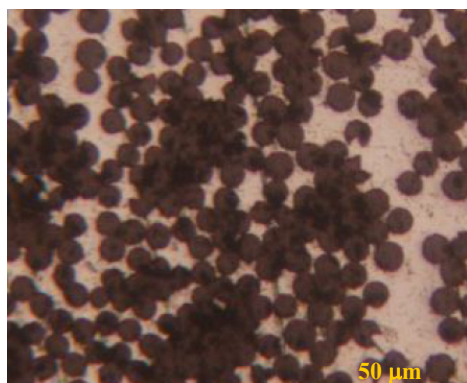
3. Eredmények

A gyártási kísérletek anyagaiból keresztmetszeti csiszolatok készültek; a keresztmetszet alapján számolt átlagos átmérő 1,37 és 1,40 mm között változott. Ez az érték meglepő, ugyanis a bemeneti kapu átmérője 1,6 mm volt, és a kerámiaszálakkal történő gyártás során szerzett tapasztalatink alapján a huzal átmérője megegyezik a bemeneti kapu átmérőjével. Az első sikeres kísérletből származó kompozithuzal teljes csiszolati képe a 3. ábrán látható.

A 4. ábrán egy nagy nagyítású szövet szerkezeti kép látható a harmadik sikeres kísérlet termékének keresztcsiszolatáról. Megfigyelhető, hogy bár az alumíniumolvadék a szálkötegbe teljesen behatolt, a szálak közötti távolság meglehetősen egyenetlen. Sok elemi szálat egyáltalán nem vesz körbe a mátrix anyaga, ami miatt ezek a szálak egészen másképpen vesznek részt a huzal szilárdságát befolyásoló teherviselésben, mint azok, amelyeknél jó az adhézió.

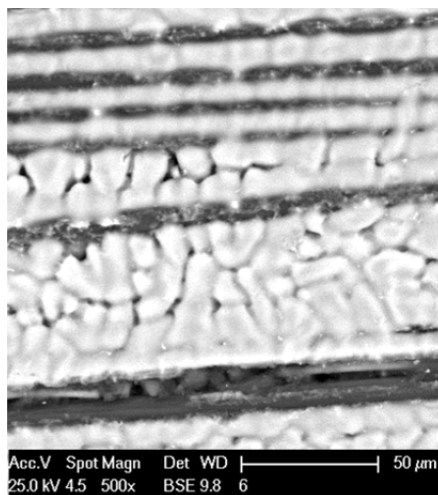


3. ábra. Alumínium mátrixú, szénsszál erősítésű kompozithuzal keresztcsiszolati képe



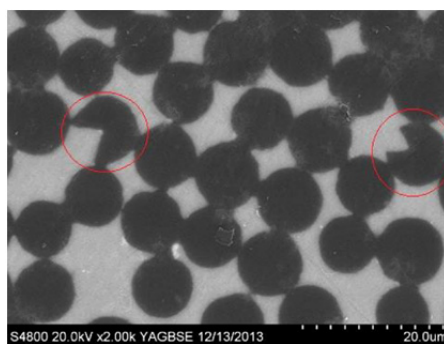
4. ábra. A kompozithuzal keresztcsiszolatának nagy nagyítású részlete

A huzalok felületének pásztázó elektronmikroszkóppal történő vizsgálata során megfigyelhető volt, hogy az Al-szemcsék nem összefüggő szemcsehatárok mentén találkoznak, hanem közöttük folytonossági hiányok vannak. Ennek feltehetően az az oka, hogy az Al-olvadék gyenge nedvesítése miatt nem összefüggő felületi rétegeként van jelen a felületen a dermedést megelőzően, hanem olvadékcseppek sűrű halmazaként. A huzal felületéről készült, fáziskontrasztot mutató visszaszórtelektron-kép látható az 5. ábrán.



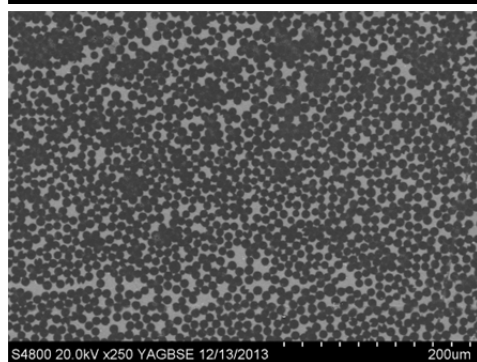
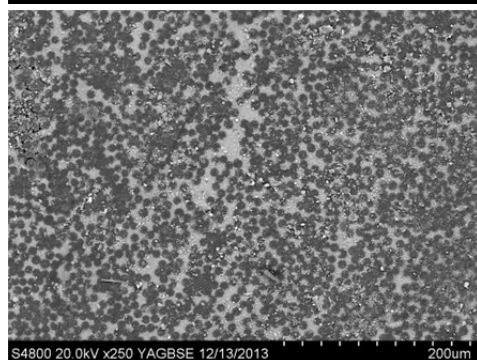
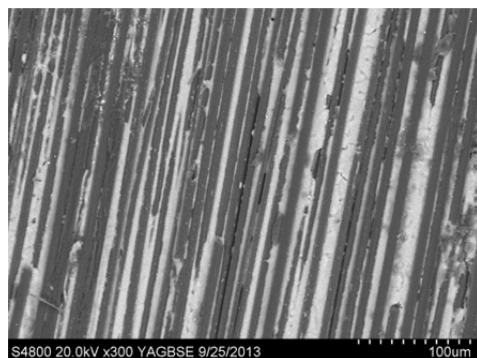
5. ábra. Al-C kompozithuzal felületének képe

A csiszolatok vizsgálata során feltűnt, hogy egyes szálak a hosszuk mentén „felnyíltak”. Erre mutat példát a negyedik sikeres kísérlet termékének csiszolatáról készített, a 6. ábrán látható YAGBSE-kép. Ennek magyarázata az lehet, hogy a szálakat alkotó, nyalábként illeszkedő, egymással párhuzamos kristallitok [9] határait a beítatás során beáramló olvadéksúrlódás megbontja, de a szálak gyártási hibája is lehetséges.



6. ábra. Al-C kompozithuzal keresztmetszeti csiszolatának képe, amelyen a megjelölt helyeken láthatók a száltengely irányban „felhasadt” elemi szénsszálak

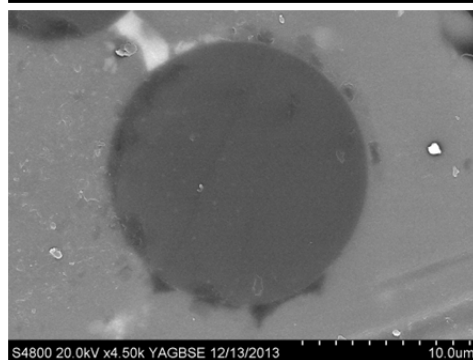
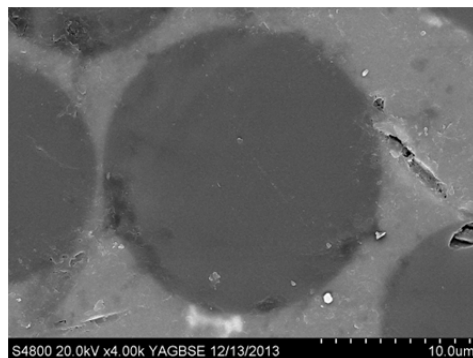
A kompozithuzalok mikroszerkezetének jellemzésére nagy feloldású, téremissziós katódos pásztázó elektronmikroszkópon végeztünk vizsgálatokat a Miskolci Egyetem nanotechnológiai laboratóriumában.



7. ábra. Al–C kompozithuzal keresztcsiszolatának kis nagyítású képei

A 7. ábra a globális átitatottságot szemlélteti kis nagyítású képeken, a 8. ábra pe-

dig jól mutatja a szál–mátrix-határfelület jellegét.



8. ábra. Al–C kompozithuzal keresztcsiszolatának nagy nagyítású képei

3. Következtetések

A nyomásos beitatásos kompozithuzalgyártó berendezés szerkezeti módosításával és a nedvesítést elősegítő Mg-ötvözéssel sikerült alumínium mátrixú, szénszál erősítésű kompozithuzalokat gyártanunk. A kompozithuzalok vizsgálata során megfigyeltük, hogy az olvadék annak ellenére is teljes mértékben átitatta a szálköteget, hogy az elemi szálak egy része tömött halmazokba rendeződik. A gyártás és a szál kristályszerkezetének következtében egyes szálak hosszirányban „felhasadnak”.

Köszönetnyilvánítás

Köszönjük Sytcheva Annának és Roósz Andrásnak, a Miskolci Egyetem fémteni

tanszéke munkatársainak az elektronikaroszkópos vizsgálatokhoz adott támogatást.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Blucher, J.T., Narusawa, U., Katsumata, M., Nemeth, A.: *Continuous manufacturing of fiber-reinforced metal matrix composite wires – technology and product characteristics*. Composites Part A: applied science and manufacturing 32 (2001) 1759–1766.
- [2] Pippel, E., Woltersdorf, J., Doktor, M., Blucher, J.T., Degischer, H.P.: *Interlayer structure of carbon fibre reinforced aluminium wires*. Journal of Material Science, 35 (2000) 2279–2289.
- [3] Orbulov, I.N., Németh, A., Dobránszky, J.: *XRD and EDS Investigations of Metal Matrix Composites and Syntactic Foams*. EXRS 2008 Proceedings: 13th European Conference on X-Ray Spectrometry. Cavtat, 2008.06.16–20. 1–10.
- [4] Rajan, T.P.D., Pillai, R.M., Pai, B.C.: *Review - Reinforcement coatings and interfaces in aluminium metal matrix composites*. Journal of Material Science, 33 (1998) 3491–3503.
- [5] Eustathopoulos, E., Joud, J.C., Desre, P.: *The wetting of carbon by aluminium and aluminium alloys*. Journal of Material Science, 9 (1974) 1233–1242.
- [6] Kimura, Y., Mishima, Y., Umekawa, S., Suzuki, T.: *Compatibility between carbon fibre and binary aluminium alloys*. Journal of Material Science, 19 (1984) 3107–3114.
- [7] Matsunaga, T., Matsuda, K., Hatayama, T., Shinozaki, K., Yoshida, M.: *Fabrication of continuous carbon fiber-reinforced aluminum-magnesium alloy composite wires using ultrasonic infiltration method*. Composites Part A: applied science and manufacturing, 38 (2007) 1902–1911.
- [8] Kientzl I.: *Alumíniummátrixú kompozitvezetők és hibrid kompozit szerkezetek*. PhD-értékezés. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (2010).
- [9] www.mpi.co.jp/english/products/industrial_materials/pitch_based_carbon_fiber/pbcbf001.html (2014.01.12)
- [10] Doktor, M.: *Production and characterization of continuous fiber reinforced aluminium wires*. PhD-értékezés. Technische Universität Wien, Institut für Werkstoffkunde und Materialprüfung, 2000.
- [11] Margueritat-Regenet, C.: *Elaboration et caractérisation de fils composites C/Al : infiltration spontanée et continue par activation chimique du mouillage*. PhD-értékezés, École des Mines de Paris, 2002.
- [12] Matsunaga, T., Ogata, K., Hatayama, T., Shinozaki, K., Yoshida, M.: *Effect of acoustic cavitation on ease of infiltration of molten aluminum alloys into carbon fiber bundles using ultrasonic infiltration method*. Composites Part A 38 (2007:3) 771–778 .
- [13] Orbulov, I.N., Ginsztler, J.: *Compressive behaviour of metal matrix syntactic foams*. Acta Polytechnica Hungarica, 9 (2012:2) 43–56.