

MÁJLINGER KORNÉL

Hibrid szintaktikus fémhabok kopási tulajdonságai

AlSi12 mátrixú, vas- (GM) és kerámia (GC) gömbhéj erősítésű kompozitokat hoztunk létre kisnyomású infiltrálással. Az erősítőanyag térkitöltése ~65 tf% volt. A kétféle gömbhéj arányát a gömbhéjak által kitöltött térfogaton belül 20 tf%-onként változtattuk (100% GM–0% GC aránytól 0% GM–100% GC arányig). A kopási tulajdonságokat pin-on-disc módszerrel vizsgáltuk, száraz súrlódás és külső kenés biztosítása esetén. Száraz súrlódási viszonyok között azt tapasztaltuk, hogy a súrlódási együttható nőtt a kerámia-gömbhéjak arányával. A kopási sebesség a tiszta vasgömbhéj-erősítésnél volt a legkisebb, a koptatás utáni kép alapján viszont a tisztán kerámia-gömbhéjjal erősített kompozit mutatkozott legígéretesebbnek.

1. Bevezetés

A szintaktikus fémhabok speciális részecskeerősítésű kompozitok, amelyekben az erősítés üreges fém- vagy kerámia-gömbhéjkból áll, ami egyenletes porozitáseloszlást biztosít. Az előállításuk fő célja a szerkezeti elemek önsúlyának csökkentése (~65 tf% porozitás érhető el) és nagy energiaelnyelő-képességű alkatrészek (törőelemek, burkolatok, ütközők) létrehozása. Mátrixanyagként könnyűfémeket, az esetek túlnyomó többségében alumínium- vagy magnéziumötvözetet alkalmaznak [1–3]. A szintaktikus fémhabok kísérleti és ipari célokra történő előállítása is az esetek többségében nyomásos infiltrációval történik [3–5]. Ennek az eljárásnak az az előnye, hogy a gömbhéjak lényegi mechanikai terhelése nélkül képes nagy térkitöltésű kompozitokat létrehozni, szemben a szintén elterjedt keveréssel technikával, melynél csak kisebb erősítőanyag térkitöltés érhető el, és nagy a gömbhéjtörés veszélye (a folyamatos mechanikai keverés miatt). A szintak-

tikus fémhabok elsődleges minősítési szempontjai a makro- és mikroszerkezet-vizsgálatok [5–7] – amiben segítség lehet még a CT alapú rekonstrukciós vizsgálat [8] –, valamint a sűrűségmérés (a nemkívánt porozitás mérése). A szintaktikus fémhabok alkalmazása kis önsúlyú és mozgó szerkezeti elemként jelentős energiamegtakarításhoz vezethet. Ahhoz viszont, hogy ezeket az anyagokat súrlódó gépelemek, például perselyek, dugattyúk anyagának alkalmazhassuk, elengedhetetlen megvizsgálni a kopási tulajdonságait. Felmerül a kérdés, hogy vajon a darab felületén megjelenő, a mechanikus megmunkálás során felnyílt gömbhéjak alkalmasak-e kenőanyag tárolására? Ebből a szempontból sok mérnöki anyagot (még műszaki polimereket is [9–11]) vizsgáltak, akár kisméretű próbatesteken is [11–13]. *Ramachandra és Radhakrishna* [14, 15] különböző térkitöltésű, tömör részecskeerősítésű alumíniummátrixú kompozitok kopási tulajdonságait vizsgálták és azt találták, hogy a kerámia-tartalom növelésével látva-

nyosan csökkent a súrlódási együttható és a kopás mértéke is.

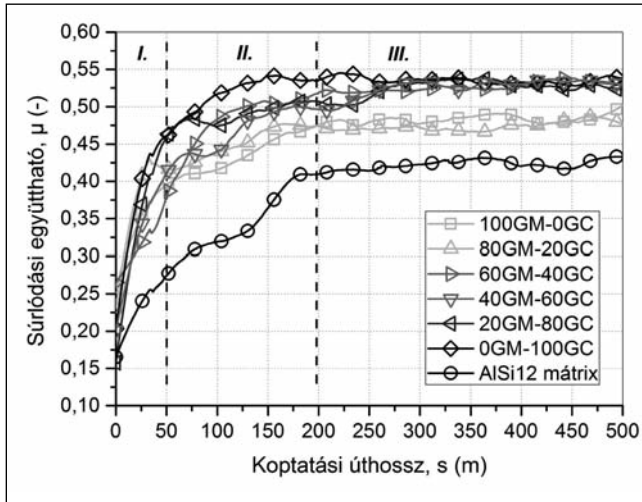
Rohatgi és Guo [16] hipo-eutektikus AlSi ötvözetbe adagolt SiC részecskékkel csökkentette a súrlódási együtthatót, illetve a kopás mértékét az alapötvözethez képest. *Mondal* és társai [17] ~90 µm átmérőjű kerámia-gömbhéjakkal erősített alumíniummátrixú szintaktikus fémhabok száraz kopási tulajdonságait vizsgálták pin-on-disc eljárással, edzett acél felületen, 2-4 ms⁻¹ sebességtartományban. Az eredmények azt mutatták, hogy nagyobb terhelés hatására a súrlódási együttható csökkent és a kopás sebessége megnövekedett. Nagyobb koptatási sebességnél pedig ellenkezőleg, a súrlódási együttható nőtt, a kopás sebessége pedig csökkent. *Jha* és társai [18] is hasonló eredményre jutottak száraz súrlódás és kenés melletti vizsgálatok esetében is, továbbá a szintaktikus habok kopási tulajdonságait kedvezőbbnek találták a SiC-dal erősített kompozitokénál. Nagyobb gömbhéjakkal készített alumíniummátrixú szintaktikus fémhabok és hibrid fémhabok kopási tulajdonságait eddig viszont még nem vizsgálták. A fenti kérdéseket kutatva, a cikk a hibrid szintaktikus fémhabok száraz körülmények közötti és külső kenés melletti koptatása során rögzített eredményeket ismerteti és elemzi.

2. Alkalmazott anyagok és kísérleti módszerek

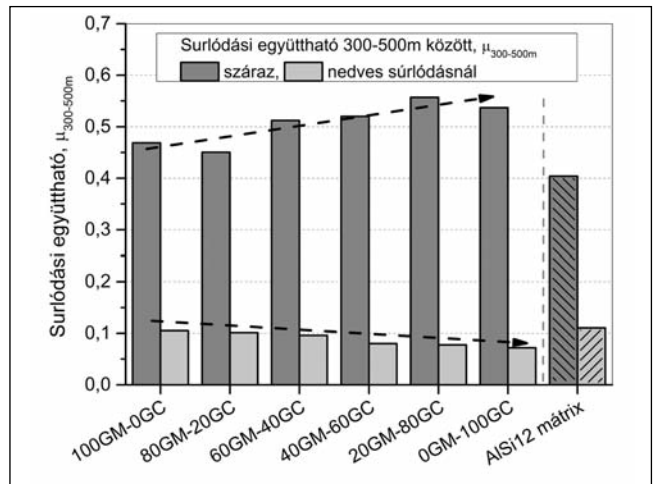
2.1. A hibrid kompozitok előállítása

A kompozitok mátrixanyaga a kis olvadáspontú, közel eutektikus öntészeti AlSi12 alumíniumötvözet volt. Az emissziós spektrométerrel mért összetétele: 12,83 t% Si, 0,127 t% Fe, 0,002 t% Cu, 0,005 t% Mn, 0,01 t% Mg, 0,007 t% Zn, 87,019 t% Al

Májlinger Kornél okleveles gépészmérnök, nemzetközi hegesztőmérnök, a BME Anyagtudomány és Technológia Tanszékének adjunktusa. Öntöttvas motorblokkok futófelületének lézersugaras kezelése témakörből szerzett PhD-fokozatot, 2010 óta a kutatási területe a fémmátrixú kompozitok és hibrid kompozitok fejlesztése és vizsgálatai.



■ 1. ábra. A hibrid kompozitok súrlódási együtthatóinak változása a koptatási úthossz függvényében



■ 2. ábra. Az állandósult súrlódási együttható értékek az erősítőanyagok arányának függvényében, szárazon és kenőanyag hozzáadása mellett

volt. A hibrid kompozitok erősítésére a Hollomet GmbH által gyártott két-fajta (kerámia és vas) gömbhéj került felhasználásra.

A kerámiagömbhéjak (márkanév: Globocer, GC) összetétele 33 t% Al_2O_3 , 48 t% SiO_2 és 19 t% $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ (mullit), sűrűségük $0,816 \text{ gcm}^{-3}$ volt. A fémgömbhéjak (márkanév: Globomet, GM) összetétele 100% Fe volt, $0,4 \text{ gcm}^{-3}$ sűrűség mellett. Mindkét gömbhéj mérete az 1,4-1,9 mm-es átmérettartományban mozgott.

A kompozitok gyártására Ar-gázzal segített nyomásos infiltrációt alkalmaztunk, az eljárás részletes leírása korábbi munkánkban olvasható [7].

A hibrid kompozitokban a vas-(GM) és kerámia (GC) gömbhéjak arányát úgy változtattuk, hogy a kompozitokban elfoglalt teljes térfogatarányukat (~65 tf%) 100%-nak tekintve 20 tf%-onként léptettük 100GM-0GC aránytól 0GM-100GC arányig. A próbatesteket az erősítőanyag komponensek tf%-os mennyiségének függvényében jelöltük, így például a 40GM-60GC azt jelenti, hogy a kompozitban lévő, ~65 tf%-ot

kitevő gömbhéjak aránya egymáshoz képest 40 tf% vas- és 60 tf% kerámiagömbhéj. A hibrid kompozitok sűrűsége a kerámiatartalommal nőtt, a mért értékek az 1. táblázatban olvashatók.

A gyártás után első lépésként elvégeztük az előállított hibrid kompozitok mechanikai és mikroszerkezeti tulajdonságainak vizsgálatát, amit korábbi cikkünkben közöltünk [7].

2.2. A koptatóvizsgálat

A szintaktikus fémhabok kopási tulajdonságait pin-on-disc, azaz tű a tárcsán berendezéssel vizsgáltuk, ehhez az elkészült kompozit tömbökből forgácsolással 14 mm átmérőjű és 20 mm-es magasságú hengeres próbatesteket munkáltunk ki. A próbatesteket P600, P1200, majd P2400-as SiC szemcsézetű csiszolópapíron, folyóvízes öblítés mellett csiszoltuk.

A koptatóvizsgálatok síkra köszörült 100 mm átmérőjű és 10 mm vastag acéltárcsákon folytak. A tárcsák összetétele emissziós spektrométerrel mérve: 98,4 t% Fe, 0,221 t% C, 0,211 t% Si, 0,913 t% Mn, 0,0697 t% Cr, 0,275 t% egyéb volt.

A köszörülés utáni felületi érdességük $R_a=0,93 \pm 0,321 \mu\text{m}$, keménységük pedig 140 HV10 volt. A tárcsákat és a kompozitokat a koptatás előtt az esetleges szennyeződésektől (pl. köszörülés) alkoholban és acetonban megtisztítottuk. A pin-on-disc vizsgálatokhoz egyedi építésű, műszerezett koptatógépet használtunk. A vizsgálatokat 96 N terhelés mellett $0,2 \text{ ms}^{-1}$

kerületi sebességgel, száraz súrlódási körülmények, illetve kenőanyag hozzáadása mellett, szobahőmérsékleten végeztük. Nedves koptatásnál a tárcsára $5 \times 20 \mu\text{l}$ ásványi olaj kenőanyagot adagoltunk a tárcsa kerülete mentén, egyenletes eloszlásban.

A mérőszoftver detektálta a koptatás síkjában fellépő erőket és a próbatestek kopását (magasságváltozást), 5 Hz mintavételezési frekvencia mellett.

A koptatóvizsgálatokat követően a próbatestek és a tárcsák koptatott felületeiről mikroszkópi felvételek készültek, amelyekkel vizsgáltuk a GM-GC-gömbhéjak arányának a kopási képekre gyakorolt hatását. A tárcsák felületein a koptatási sávra merőlegesen, az ISO 4287:1997-es szabványnak megfelelően egy Mitutoyo SJ-201P típusú érdességmérővel meghatároztuk a felületi érdességet. A kopási termékeket Philips XL 30 típusú pásztázó elektronmikroszkóppal (SEM) és EDAX gyártmányú energiadiszperzív röntgenspektroszkóppal (EDS) is vizsgáltuk.

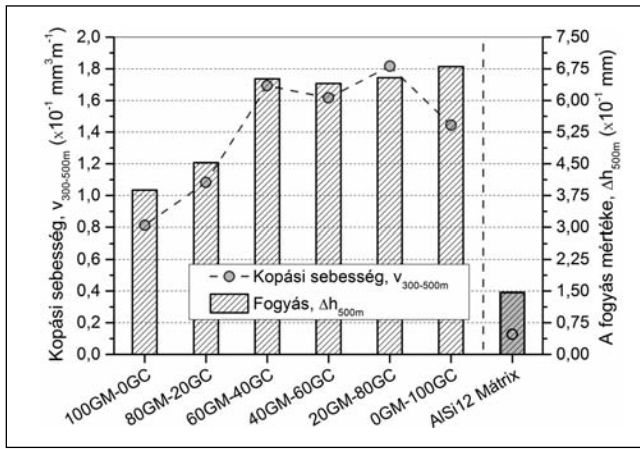
3. Eredmények és kiértékelésük

Az 1. ábra a súrlódási együttható értékeket mutatja a koptatási úthossz függvényében száraz súrlódás esetén.

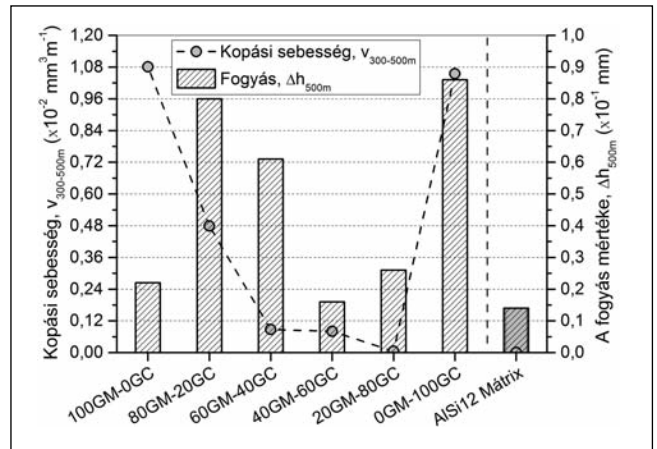
Az összes kompozitra elmondható, hogy a görbéknek három fő szakasza van (1. ábra). A kezdeti (I) szakasz ~50 m-ig tart, ebben a szakaszban a súrlódási együttható értékek rohamosan nőnek, a diagram pontjai erősen szórnak. Az átmeneti (II) szakaszban

1. táblázat. A hibrid kompozitok sűrűségértékei

Próbatest	Sűrűség (gcm^{-3})
100GM-0GC	1,380
80GM-20GC	1,639
60GM-40GC	1,649
40GM-60GC	1,694
20GM-80GC	1,743
0GM-100GC	1,830



■ 3. ábra. A próbatestek kopási sebesség értékei 300–500 m között ($v_{300-500m}$, állandósult szakasz) és fogyás értékei a teljes 500 m-ig (Δh_{500m}) száraz súrlódás esetén



■ 4. ábra. A próbatestek kopási sebesség értékei 300–500 m között ($v_{300-500m}$, állandósult szakasz) és fogyás értékei a teljes 500 m-ig (Δh_{500m}) nedves súrlódás esetén

(~50-200 m) a görbe meredeksége egyre csökken, majd a (III) szakaszban (jellemzően 200 m megtétele után) a súrlódási együttható értéke közel állandó értékre áll be. A továbbiakban az egyes kompozitok súrlódási együttható értékének a 300 m és 500 m közötti, stabilizálódott szakaszon mért értékek számtani középértékét vettük. A tapasztalat és a szakirodalom [17–18] is azt mutatta, hogy a vizsgált mennyiségek 500 m után már nem változtak jelentősen, ezért a koptatást 500 m megtételéig folytattuk.

A további jellemző paramétereket is ezen a beállt, stabilizálódott szakaszon a (300–500 m koptatási úthossz között) határoztuk meg. A súrlódási együttható ($\mu_{300-500}$) értékei száraz és kenés melletti esetre is a 2. ábrán láthatók. Száraz koptatásnál a súrlódási együttható értékei a kerámiagömbhéjak arányának növekedésével nőnek (0,45-től 0,55-ig), míg a kenés melletti esetben az értékek jelentősen kisebbek voltak és kis mértékben csökkentek (0,105-től 0,072-ig). Az AISi12 mátrixanyag súrlódási együtthatója száraz esetben kisebb, míg kenés mellett nagyobb volt a kompozitokénál.

A 3. és 4. ábrán a próbatestek kopási sebesség és fogyás értékei láthatók. Ezek esetében is az állandósult 300–500 m közötti szakaszon meghatározott értékek láthatók ($v_{300-500m}$ és Δh_{500m}). A száraz és a nedves súrlódás esetén ezekben az ábrákban is ellentétes trendek figyelhetők meg.

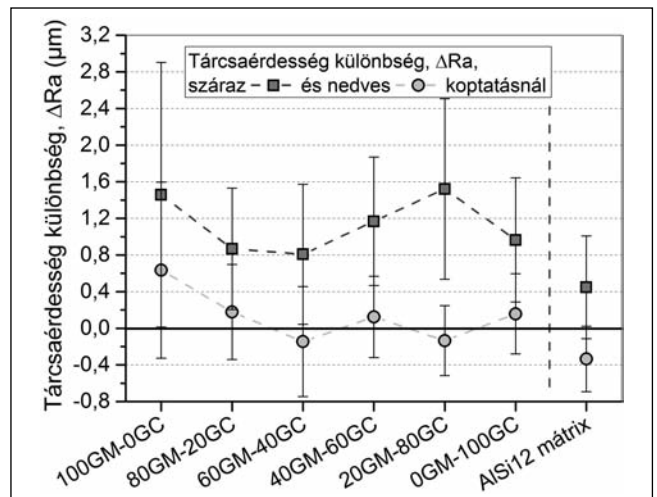
Száraz súrlódási esetben (3. ábra) a kopási sebesség $0,085 \text{ mm}^3\text{m}^{-1}$ -ről 60 tf% GC-tartalomig meredeken emelkedik, majd 80 tf% GC-tartalom-

tól ismét csökken, $0,185 \text{ mm}^3\text{m}^{-1}$ -ről $0,145 \text{ mm}^3\text{m}^{-1}$ értékig. Az 500 m-ig történt fogyás értékeknél (Δh_{500m}) száraz súrlódási esetben az a trend figyelhető meg, hogy a tiszta vasgömbhéj-erősítésnél volt a legkisebb (0,38 mm), majd 40 tf% GC erősítésig megnőtt a fogyás mértéke (0,65 mm), és e körüli telítési értékre állt be. A tiszta kerámiaerősítésnél 0,68 mm-es értékig folyamatosan növekedett a fogyás. A mátrixanyag kopási sebessége $0,01278 \text{ mm}^3\text{m}^{-1}$, fogyása pedig 0,15 mm volt, tehát száraz súrlódási esetben a tiszta AISi12 mátrixanyag kopási tulajdonságai jobbnak tekinthetők, de nem szabad elfeledni, hogy a hibrid kompozitok kontaktfelülete a gömbhéjak miatt jóval kisebb (képelemzős szoftverrel sztereomikroszkópos felvételeken mérve ~ 65-75%-a a teljes keresztmetszetnek, 6. ábra).

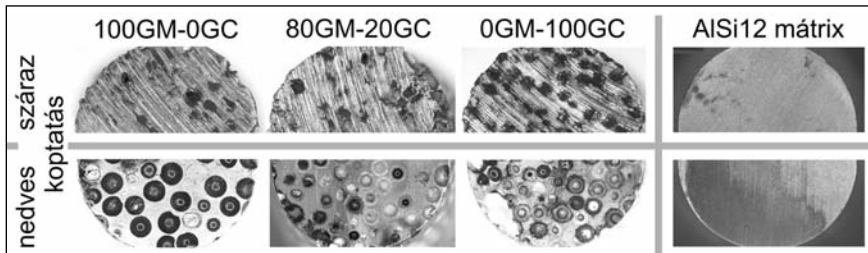
Nedves súrlódásnál (4. ábra) a kopási sebességek és a fogyások értékei is legalább egy nagyságrenddel kisebbek voltak. A kopási sebesség tiszta GM erősítésnél $0,00108 \text{ mm}^3\text{m}^{-1}$ -ről folyamatosan csökkent a kerámiatartalommal egészen 80 tf% GC-ig, $0,00005 \text{ mm}^3\text{m}^{-1}$ értékig majd 100% GC-nél ismét megemelkedett $0,0105 \text{ mm}^3\text{m}^{-1}$

értékre. A fogyás értéke $0,0022 \text{ mm}$ -ről (tiszta GM erősítésnél) 20 tf% GC tartalomnál megemelkedett $0,008 \text{ mm}$ -ig, majd a kerámiatartalom növekedésével csökkent 60 tf% GC-ig, $0,016 \text{ mm}$ értékig majd ismét növekedett 100 tf% GC-ig, $0,086 \text{ mm}$ értékig. Az AISi12 mátrixanyag kopási sebessége $0,000005 \text{ mm}^3\text{m}^{-1}$, a fogyás értéke $0,014 \text{ mm}$ volt.

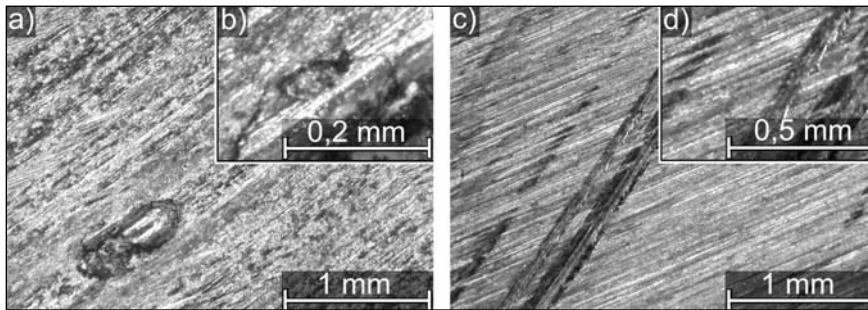
Az 5. ábra a koptatás után mért tárcsaérdesség-értékek különbségeit mutatja be a köszörült tárcsák érdességéhez viszonyítva. Megfigyelhető, hogy a száraz és nedves súrlódás esetén is közel együtt haladtak az érdességértékek. Száraz súrlódási és külső kenés melletti állapotban is gyakorlatilag szóráson belül meggyeztek az érdességértékek az egyes kísérleteknél, kivétel ez alól a mátrixanyaggal koptatott tárcsa érdessége, amely mindkét esetben



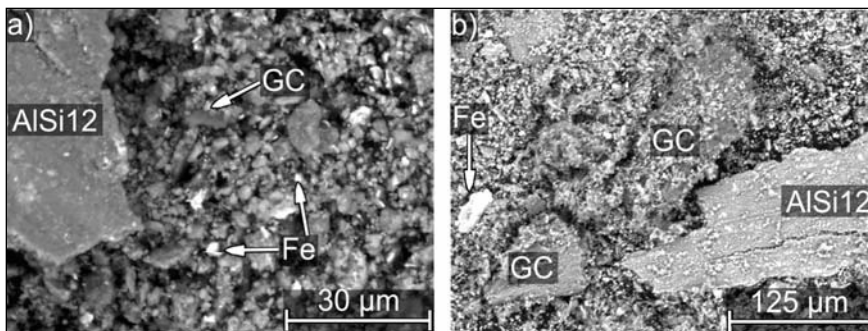
■ 5. ábra. A koptatás után mért tárcsaérdességek különbségei a köszörült tárcsákhoz viszonyítva



■ 6. ábra. Sztereomikroszkópos felvételek szárazon és olajkenés mellett koptatott próbatestekről



■ 7. ábra. Sztereomikroszkópos felvételek a 40GM-60GC próbatesttel koptatott tárcsák felületéről különböző nagyításoknál; szárazon (a) és (b), valamint olajkenés (c) és (d) mellett



■ 8. ábra. SEM-BSE-felvétel a kopási termékről (a) 80GM-20GC és (b) 0GM-100GC minta és száraz súrlódás esetén

kisebb volt a kompozitok koptatásában részt vett tárcsákénál.

Megfigyelhető még, hogy kenés mellett jelentősen lecsökkent az érdességkülönbség, egyes esetekben még finomodott is a kopótárcsa felülete.

A kopások kiértékelésénél a kopott próbatestek felületén is jelentős különbségeket figyelhetünk meg (6. ábra).

Száraz állapotban, a vasgömbhíjjal erősített kompozitnál szinte az összes gömbhájba belekenődött a mátrixanyag – durva karcokat hagyva a próbatest felületén –, így gyakorlatilag szinte a teljes keresztmetszet kopott a további koptatás során. A kerámiagömbhájak számának növekedésével egyre több gömbháj maradt szabadon, ezzel a súrlódó felület is kisebb maradt.

Kenés mellett mindegyik esetben

szinte az összes gömbháj nyitva maradt, segítve ezzel a kenőanyag jobb elosztását a felületen. A kerámiagömbhájak tehát apró, kenőanyag-tároló üregekként viselkedtek.

A koptatótárcsák felületét megvizsgálva (7. ábra) a száraz koptatás során a tárcsák felületére jelentős mennyiségű mátrixanyag kenődött fel, a kerámiagömbháj-darabok nagyobb árkokat, üregeket is karcoltak a tárcsák felületébe (7a ábra), valamint helyenként a tárcsa anyagának delaminációja is bekövetkezett (7b ábra). Kenés mellett, ahogy az érdességmérés is előre jelezte, a tárcsák felülete alig kopott, csak egy-két kisebb karcolat figyelhető meg a felületen, gyakorlatilag a kiinduló köszűrési nyomok láthatók (7c-7d ábra).

A száraz koptatásnál összegyűjtött

kopási termékeket elektronmikroszkóppal megvizsgálva (8. ábra) látható, hogy a kopadékok néhány μm -es, finom, porszerű szemcsékre és nagyobb törmelékdarabokra oszthatók. A visszaszórt elektron detektor (BSE) rendszámkontrasztját használva és az EDS mérések alapján látható, hogy a mátrixanyagból akár 100-300 μm -es darabok is leválhattak. A kemény kerámiarészecskék mérete és száma a kopadéokban egyre növekszik a kompozitok kerámiagömbháj-tartalmának növekedésével, egyre nagyobb fogyást előidézve ezzel a kompozitokban.

4. Következtetések

A GM-GC erősítésű hibrid kompozitok (szintaktikus fémhabok) kopási tulajdonságait vizsgálva, szénacél koptatótárcsa ellendarabnál és 0,2 ms^{-1} sebességérték mellett, a fent részletezett eredményekből az alábbi következtetések vonhatók le:

- A súrlódási együttható értéke száraz koptatásnál 0,45–0,55 között mozgott, a kerámiagömbháj-tartalom növekedésével nőtt, míg kenőanyag hozzáadása mellett csökkent és 0,07–0,1 között mozgott. A tömör AlSi12 mátrixanyag súrlódási együtthatója 0,41 volt száraz kopásnál és 0,12 kenés mellett.

- A kopás jellege száraz esetben abrazív jellegű volt, erősen függött a kopadékbba kerülő kerámiadarabok méretétől és mennyiségétől, míg nedves koptatásnál a felületek finomodtak, szinte polírozódtak.

- Száraz koptatásnál a kopás mértéke és a kopási sebesség is növekedett a kerámiagömbhájak arányának növekedésével, a tiszta mátrixanyag esetén kisebb kopási értékek voltak tapasztalhatók. Kenőanyag hozzáadása mellett a kopási sebesség és fogyás értékek egy nagyságrenddel kisebbek voltak, a kerámiatartalom függvényében az értékek minimumhelyet mutató függvény szerint változtak. A legkisebb kopási sebesség és fogyás értéke ebben az esetben is a mátrixanyag volt.

Viszont ha figyelembe vesszük, hogy a kompozitjaink sűrűsége csak 1,4–1,8 gcm^{-3} és a kopó kontaktfelületük csak ~ 65–75%-a a tömör AlSi12 mátrixnak, ezek a hibrid

kompozitok fajlagosan jobb tulajdonságokat mutatnak, mint a tömbi mátrixanyag.

Köszönetnyilvánítás

A kutatás a TÁMOP 4.2.4.A/2-11-1-2012-0001 azonosító számú Nemzeti Kiválóság Program – Hazai hallgatói, illetve kutatói személyi támogatást biztosító rendszer kidolgozása és működtetése országos program című kiemelt projekt keretében zajlott. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

A szerző köszöni *Bozóki Benjámin*nek a kísérletekben nyújtott segítségét.

Irodalom

- [1] *Dobránszky J. – Bernáth A. – Orbulov I. N.*: Magnézium: a fém, mely nagyon könnyű, de fontosnak találtatott (1. rész), BKL Kohászat (2005/5) 138. évf. 35–40.
- [2] *Dobránszky J. – Bernáth A. – Orbulov I. N.*: Magnézium: a fém, mely nagyon könnyű, de fontosnak találtatott (2. rész), BKL Kohászat (2005/6) 138. évf. 33–40.
- [3] *Németh Á. – Orbulov I. N.*: Fémhabok, porózus fémanyagok előállítása és tulajdonságai. *Anyagvizsgálók Lapja* (2006) 16(2):58–66.
- [4] *Orbulov I. N. – Kientzl I. – Németh Á.*: Fémhabok és kompozitok előállítása nyomásos infiltrációs eljárással. BKL Kohászat, (2007/5) 140. évf. 41–46.
- [5] *Kun P. – Orbulov I. N.*: AlCu5 és AlMgSi1 mátrixú szintaktikus fémhabok előállítása és vizsgálata. BKL Kohászat (2011/3) 144. évf. 51–55.
- [6] *Orbulov I. N.*: Szintaktikus fémhabok mikroszerkezeti vizsgálata. *Gép* (2011) 61(11):4–8.
- [7] *Májlinger K. – Orbulov I. N.*: Hibrid szintaktikus fémhabok szilárdsági jellemzői. BKL Kohászat (2014/1) 147. évf. 29–34.
- [8] *Kozma I. – Dorogi G. – Papp Sz.*: Kerámia gömbhéjakkal erősített fémhab kompozitok szerkezetének CT alapú rekonstrukciója. *Anyagok Világa (Materials World)* (2014) 1:60–72.
- [9] *Keresztes, R. – Kalácska, G.*: Research of machining forces and technological features of cast PA6, POM C and UHMW-PE HD 1000, *Sustainable Construction & Design* (2010) 1:136–144.
- [10] *Keresztes, R. – Kalácska, G. – Zsidai, L. – Eberst, O.*: Abrasive wear of polymer based agricultural machine elements in different soil-types, *Sereal Research Communications*. (2008) 36:903–906.
- [11] *Samyn, P. – Kalácska, G. – Keresztes, R. – Zsidai, L. – De Baets, P.*: Design of a tribotester for evaluation of polymer components under static and dynamic sliding conditions, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part J Journal of Engineering tribology* (2007) 221 (J6): 661–674.
- [12] *Zsidai, L. – De Baets, P. – Samyn, P. – Kalácska, G. – Van Peteghem, A. P. – Van Parys, F.*: The tribological behaviour of engineering plastics during sliding friction investigated with small-scale specimens. *Wear* (2002) 253:673–688.
- [13] *Zsidai, L. – Samyn, P. – Vercammen, K. – Van Acker, K. – Kozma, M. – Kalácska, G. – De Baets, P.*: Friction and thermal effects of engineering plastics sliding against steel and DLN-coated counterfaces. *Tribology Letters* (2004) 17/2:269–288.
- [14] *Ramachandra, M. – Radhakrishna, K.*: Synthesis-microstructure-mechanical properties-wear and corrosion behavior of an Al-Si (12%)-flyash metal matrix composite. *Journal of Materials Science* (2005) 40:5989–5997.
- [15] *Ramachandra, M. – Radhakrishna, K.*: Effect of reinforcement of fly ash on sliding wear, slurry erosive wear and corrosive behavior of aluminum matrix composite. *Wear* (2007) 262:1450–1462.
- [16] *Rohatgi, P. K. – Guo, R. Q.*: Mechanism of abrasive wear of Al-Si hypoeutectic alloy containing 5 vol% flyash. *Tribology Letters* (1997) 3:339–347.
- [17] *Mondal, D. P. – Das, S. – Jha, N.*: Dry sliding wear behaviour of aluminum syntactic foam, *Materials and Design*, (2009) 30:2563–2568.
- [18] *Jha, N. – Badkul, A. – Mondal, D. P. – Das, S. – Singh, M.*: Sliding wear behaviour of aluminum syntactic foam: A comparison with Al–10 wt% SiC composites, *Tribology International* (2011) 44:220–231

CSIZMAZIA JÁNOS – FEKETE BALÁZS – ORBULOV IMRE NORBERT

Dupla kompozitok gyártása, valamint mikroszerkezeti és mechanikai tulajdonságai

Cikkünkben olyan fémmátrixú kompozitokkal foglalkozunk, amelyek két különböző kompozit (egy kompozit huzal és egy szintaktikus fémhab) egyesítésével jönnek létre. Mivel a huzal már önmagában is kompozit, a kompozit tömbökre dupla kompozitokként hivatkozunk. Munkánk során sikeresen állítottunk elő dupla kompozitokat gáznomásos infiltrálással. Az előállított dupla kompozitokat mikroszerkezeti és mechanikai vizsgálatoknak vetettük alá. A mikroszerkezeti vizsgálataink során elsősorban az infiltráció szintjét és a határretegek minőségét követtük nyomon. A kész dupla kompozit alapanyagából készítettünk referenciadarabokat is, amelyekhez viszonyítottuk a különböző erősítési struktúrájú dupla kompozitok mechanikai vizsgálatainak eredményeit. Az eredmények azt mutatták, hogy bár abszolút tekintetben a tömör referenciadarab mutatói jobbák, tömegre fajlagosítva a dupla kompozitok eredményei biztatóak.

Csizmazia János és Fekete Balázs 2014-ben védte meg MSc-diplomáját a BME Anyagtudomány és Technológia Tanszékén. Diplomamunkájában Csizmazia János a szintaktikus fémhabok fárasztóvizsgálatával, Fekete Balázs pedig a szintaktikus fémhabok modellezési lehetőségeivel foglalkozott.

Orbulov Imre Norbert szakmai életrajzát 2014/1. számunkban közzéltük.