

Részecske- és szálerősítésű alumínium mátrixú kompozitok gyártása

Manufacture of particle and fibre reinforced aluminium matrix composites

BUKOR Csongor¹, MAGYARI Domonkos², KOVÁCS Dorina³

^{1,2,3}Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki kar, Anyagtudomány és Technológia Tanszék
Magyarország, 1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3., www.att.bme.hu

¹bukor.csongor@edu.bme.hu

²magyari.domonkos@edu.bme.hu

³kovacs.dorina@edu.bme.hu

Abstract

As part of our research, aluminium matrix composites reinforced by silicon carbide particles and short carbon fibres were produced. The manufacturing was done by mixing the powder of the aluminium alloy and the reinforcing material, then the matrix material was partially melted, and then the resulting liquid was squeezed between the particles by isostatic pressure, thereby eliminating the porosity within the sample. The difficulties that have been encountered during production were studied. The microstructure of the finished samples were analysed by light optical and scanning electron microscopy, and their mechanical properties were examined by upsetting testing.

Keywords: metal matrix composite, aluminium matrix composite, sintering, silicon-carbide, carbon fibre

Kivonat

Kutatásunk keretei között szilícium-karbid részecskékkel és rövid szénszállal erősített alumíniummátrixú kompozitokat gyártottunk oly módon, hogy az alumínium ötvözetet és az erősítőanyagot porként összekevertük, majd a mátrixanyagot részlegesen megolvasztottuk, majd izosztikus nyomás segítségével beprésleltük a keletkezett folyadékot a szemcsék közé, ezzel megszüntetve a próbatest porozitását. Tanulmányoztuk a gyártás során felmerülő nehézségeket. Az elkészült próbatestek mikroszerkezetét optikai és pásztázó elektronmikroszkóppal elemeztük, illetve zömítővizsgálattal megvizsgáltuk a mechanikai tulajdonságaikat.

Kulcsszavak: fémmátrixú kompozit, alumínium mátrixú kompozit, szinterelés, szilícium-karbid, szénszál

1. BEVEZETÉS

Napjainkban egyre szélesebb körben terjednek el a kompozit anyagok, amelyek nagyszerűen ötvözik az eltérő anyagcsaládok előnyös tulajdonságait. Ennek fényében nem meglepő, hogy ezek az anyagok számos kutatás témáját képezik. A szilícium-karbid (SiC) részecskékkel és rövid szénszállal erősített alumínium mátrixú kompozitok kiváló mechanikai tulajdonságokkal rendelkeznek, különösen a sűrűsége vonatkoztatva [1-4], azonban gyártásuk meglehetősen nehézkes és drága, emiatt csak olyan területeken használják őket, ahol a magas költség nem akadály. Az egyik ilyen nehézség az, hogy a sűrűségkülönbség miatt a mátrix-és az erősítőanyag szegregálódik gyártás során.

Prof. Blücher József biztatására kipróbáltunk egy újfajta kompozitgyártási eljárást, amely lényege, hogy az alkotók porait összekeverjük, majd a mátrixot részlegesen megolvasztjuk és az így kialakult folyadékfázist izosztikus nyomás segítségével beprésljük az erősítőanyag részecskéi közé, miközben a szilárd fázisban maradt mátrix megakadályozza azok elmozdulását.

2. FELHASZNÁLT ANYAGOK

A kompozit próbatestek mátrix anyagául AlSi10Mg ötvözetet választottunk, amely szolidusz hőmérséklete 557 °C, likvidusz hőmérséklete pedig 569 °C [5]. A mátrixot kétféle anyaggal erősítettük. Szilícium-karbid szemcsékkel és vágott szénszállal. A vágott szénszálak átmérője 8 µm, hosszuk pedig 6 mm volt. A gyártás során a fent említett anyagok mellett még felhasználtunk egy tiszta alumíniumból (Al99,9) készült kannát is, amely olvadáspontja 660 °C.

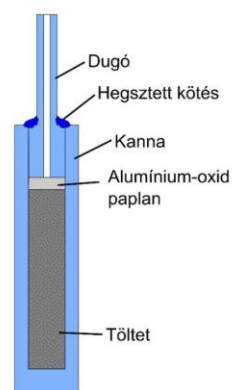
3. PRÓBATESTEK GYÁRTÁSA

3.2. Az alkotók keverése

A szilícium-karbid és az AlSi10Mg porokat kézzel lettek homogénre kevertük. Egy 25, illetve egy 50 tömegszázalék kerámiával erősített kompozit próbatestet hoztunk létre. A vágott szénszál és az alumínium por homogén elkeverése sajnos nem sikerült. Mind kézi, mind pedig forgódobos keverővel történő keverés során a szénszálak összeálltak és agglomerátumokat, csomókat alkottak, amelyek belsejébe nem hatoltak be az alumínium szemcsék. A jobb keverőhatás érdekében Al99,9 lapkákat adagoltunk a forgódobba keverés során, azonban ezek a lapkák néhány mikrométer hosszúságúra törték szét a szénszálakat. A gyártás során a szénszálakat és az alumínium port úgy elegyítettük, hogy vékony rétegekben adagoltuk őket a formaként használt kannába.

3.3. Nedvesítés félfolyadék állapotban

A kikevert porkeveréket (töltetet) az 1. ábrán látható 20 mm belső átmérőjű Al99,9 ötvözetből készült hengeres kannába töltöttük. A tömörítetlen töltet magassága 80 mm volt. Annak érdekében, hogy a kanna vákuumozása során ne jusson ki a porkeverék, egy 10 mm vastag alumínium-oxid paplan réteget helyeztünk a töltet tetejére. Egy dugóval lezártuk a kannát. Ezt hegesztett kötással rögzítettük a légmentes zárás érdekében. A dugón lévő furatra vákuumszivattyút csatlakoztattunk és vákuum alá helyeztük a kannát. Végezetül lezártuk a dugót egy prés segítségével.



1. ábra: A kanna kialakítása

A gyártás egy autoklávban történt. A kanna behelyezése után a kemencével együtt felhevítettük 577 °C-ra, majd 15 percig hűtöttük. Ez idő alatt az alumínium részlegesen megolvadt. A folyadék fázis nedvesítette az erősítőanyagot, a szilárd fázis pedig megakadályozta annak elmozdulását. Ezt követően szobahőmérsékletű argon gázt juttattunk az autoklávba és 15 percig nyomás alatt tartottuk. A 15 perc leteltével leengedtük a nyomást, majd eltávolítottuk a kannát. Végezetül leforgácsoltuk a kannát a kompozit próbatestről. A gyártás során alkalmazott hőmérsékleteket és nyomásokat a 1. táblázat tartalmazza. Az 50 térfogatszázaléknyi szilícium-karbidot tartalmazó minta gyártása közben technikai problémák miatt nem tudtuk elérni a kívánt 1000 PSI, vagyis 69 bar nyomást. (A vezérlőpulton PSI-ben kellett megadni az értéket.)

Töltet	Hőmérséklet (°C)	Nyomás (PSI)	Nyomás (bar)
AlSi10Mg Szénszál	577	900	62
75 V% AlSi10Mg 25 V% SiC	577	1000	69
50 V% AlSi10Mg 50 V% SiC	577	690	43

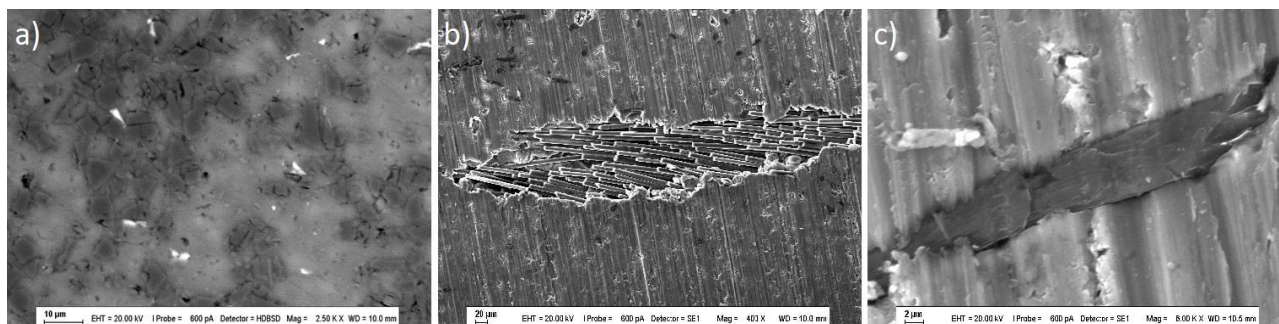
4. EREDMÉNYEK

4.1. A gyártás eredményessége

Összesen három próbatestet gyártottunk félfolyadék állapotban történő nedvesítéssel. Ezek közül kettő sikeres lett, azonban az 50 térfogatszázaléknyi szilícium-karbidot tartalmazó minta gyártása sikertelen volt, ugyanis a próbatest egy része por maradt. Ennek okai lehetnek, hogy a minta gyártása során nem tudtuk elérni a kívánt nagyságú nyomást, de okozhatta egyéb probléma is, például a vákuum esetleges elszökése, vagy az, hogy a próbatest belseje nem melegedett fel kellőképpen a 15 perces hőtartás végére, ugyanis a nagy SiC tartalom következtében lecsökkent az anyag hővezetőképessége. Ezt a próbatestet a későbbiekben nem vizsgáltuk tovább. Egy további hiba volt, hogy a kanna fala egyenetlenül deformálódott és behorpadt, amely következtében a próbatestek keresztmetszete kör helyett elliptikus lett. A próbatesteknek vizsgáltuk a kialakult mikroszerkezetét, illetve a mechanikai tulajdonságaikat. Előbbit pásztázó elektronmikroszkóppal, utóbbit pedig egytengelyű zömítővizsgálattal segítségével.

4.2. Pásztázó elektronmikroszóp vizsgálatok

A pásztázó elektronmikroszkóppal készített felvételeken (2a. ábra) látható, hogy a SiC szemcsék kis méretű csomókba álltak össze és ezek keveredtek el az alapfémbe, azonban ezek a csomók mindössze néhány mikrométer nagyságúak, így a keverés eredményesnek mondható. A jó keveredés a két anyag közel azonos sűrűségének (Al: 2,7 g/cm³, SiC: 3,2 g/cm³) köszönhető és annak, hogy szemcséik alakja poliéderez volt. Megfigyelhető, hogy a SiC agglomerátumok belsejébe nem tudott behatolni a megolvasztott alumínium, így itt üregek alakultak ki, amelyek gyengítik a kompozit mechanikai tulajdonságait. Ezt a csomókba állt szénszálak esetében is tapasztaltuk (2b. ábra). A problémát okozhatta, hogy az alkalmazott nyomás nem volt elég nagy ahhoz, hogy a folyadékot bepréssze a szilárd részecskék közé, de az is előfordulhat, hogy túl kis hőmérsékleten történt a nedvesítés, így nem volt elegendő a keletkezett folyadék mennyisége. A 2c. ábrán látható, hogy a különálló szénszálakat szorosan körülöleli az alumínium, azonban a határfázis rendkívül gyenge. Ez utóbbit alátámasztja, hogy a polírozás során az abrazív részecskék le tudták választani a mátrixot a szál oldaláról. Ezenfelül egy vonalmenti EDS vizsgálattal megállapítottuk, hogy a határfázis rendkívül vékony, ami szintén a gyenge adhézióra utal. Se a szénszál, se a SiC erősítés esetében nem tapasztaltuk, hogy az erősítőanyag felúszott, vagy lesüllyedt volna nedvesítés során, vagyis a szilárd fázis sikeresen megakadályozta az erősítőanyag elmozdulását.



2. ábra: Az erősítőanyagok megjelenése a mátrixban a) SiC szemcsék, b) szénszál agglomerátum, c) különálló szénszál

4.3. Egytengelyű zömítővizsgálat

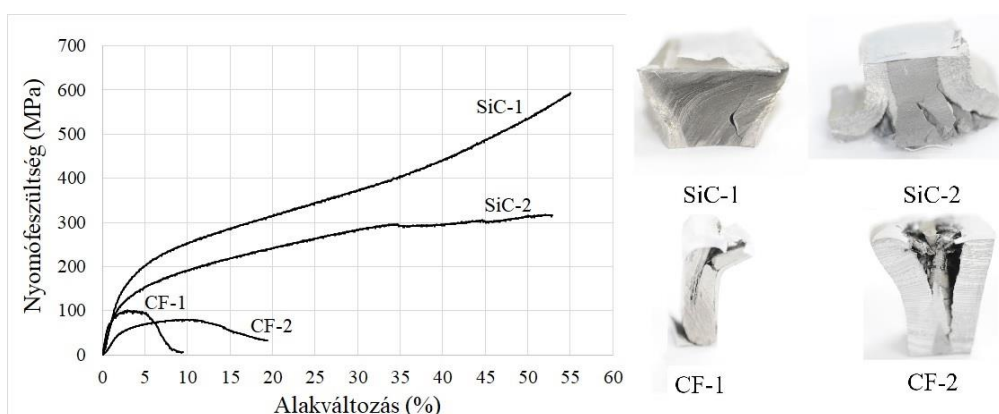
A kanna alakvesztése következtében kialakult deformáció miatt nem tudunk szabványos zömítő próbatesteket kimunkálni az elkészült darabokból, szabálytalan alakjuk miatt pedig nem tudtuk teljesen eltávolítani a felületükről a kanna anyagát. A kompozit részarányát a zömítő próbatestekben oly módon állapítottuk meg, hogy a minta két végén képelemző szoftverrel meghatároztuk a kompozit és a kanna területének arányát, majd azzal a közelítéssel éltünk, hogy a teljes részarány ezek számtani átlaga. A próbatestek adatai a 2. táblázatban olvashatók.

Az zömítővizsgálat során használt próbatestek adatai

2. táblázat

Jelölés	Erősítőanyag	Keresztmetszet		Magasság	Kompozit aránya a próbatestben
		mm	mm ²		
-	-			mm	%
SiC-1	SiC	12,0×11,7	140,4	23,6	~90
SiC-2		18,7×12,2	227,2	34,0	~84
CF-1	Szénszál	7,3×5,3	38,3	19,8	~90
CF-2		19,9×19,8	391,0	37,4	~30

A vizsgálat során 3 mm/min sebességgel zömítettük a próbatesteket 50%-os alakváltozásig. A kapott zömítőgörbéken (3. ábra) látható, hogy a szénszállal erősített darabok széttörték, mielőtt elérték volna a 25%-os deformációt, illetve az elviselt terhelésük is jelentősen elmarad a szilícium-karbiddal erősített mintákétól (4. táblázat). A mérés során megfigyeltük, hogy a repedések a szén agglomerátumokból indulnak ki, így nem kétséges, hogy a kis szilárdságot és alakváltozóképeséget a rossz keveredés okozta. A SiC-dal erősített próbatestek mindkét esetben elérték az 50%-os alakváltozást és több száz MPa nyomófeszültséget is elviseltek (3. táblázat). Az SiC-1 jelű minta görbéje „klasszikus” módon szigorúan monoton nő, az SiC-2 esetében azonban megfigyelhető egy esés 34%-os deformáció mellett. Ekkor jelent meg a próbatestben az első nagyobb repedés. Mindkét minta esetében a repedések a kompozitban keletkeztek és elsősorban itt is terjedtek tovább, vagyis a darabok felületén maradt Al99,9 csak kis mértékben befolyásolta a tönkremenetelt.



3. ábra: A zömítőgörbe és a zömített próbatestek

A zömítővizsgálat eredményei

3. táblázat

Próbatest	Maximális nyomófeszültség (MPa)	Nyomófeszültség 25%-os alakváltozásnál (MPa)
SiC-1	593,8	344,2
SiC-2	317,4	263,5
CF-1	101,1	-
CF-2	79,6	-

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Kutatásunk során szilícium-karbid szemcsékkel és vágott szénszálakkal erősített alumínium mátrixú kompozit próbatesteket gyártottunk félfolyadék állapotban történő nedvesítéssel. A kapott eredmények alapján elmondható, hogy ezzel a módszerrel lehetséges az alumínium mátrixú kompozitok gyártása. A tapasztalt problémák többsége a mátrix- és az erősítőanyag nem megfelelő elkeveredésére vezethető vissza. A keverés során azt tapasztaltuk, hogy a szilícium-karbid port többnyire homogén módon el lehet keverni az alumínium porral, míg a szénszálak agglomerátumokat képeznek. A szorosan összetapadt erősítőanyag részecskék közé nem tudott behatolni a folyadék, amit feltehetően az okozott, hogy nem alkalmaztunk kellően nagy nyomást, vagy magas hőmérsékletet. Ugyanezek a hibák okozhatták, hogy az 50 térfogatszázalék szilícium-karbiddal erősített próbatest esetén nem zajlott le teljes mértékben a nedvesítés, így a töltet egy része por maradt.

A zömítővizsgálat során megállapítottuk, hogy a kisebb agglomerátumokat tartalmazó SiC-dal erősített próbatestek jóval nagyobb terhelést bírtak elviselni, mint a szénszállal erősített darabok. A vizsgálat során az agglomerátumok a repedések kiinduló helyei voltak, így elmondható, hogy jelentősen rontják a kompozit mechanikai tulajdonságait.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton szeretnék köszönetet mondani Prof. Blücher Józsefnek a fentiekben bemutatott gyártási módszer ötletéért.

A szerző konferencia részvételét a BME Gépészmérnöki Kar NTP-HHTDK-21-0051 pályázata támogatta.

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Orbulov I.N, Németh Á, *Infiltration Characteristics of Carbon Fiber Reinforced MMCs*, Materials Science Forum, 2010, 659, 229–234.
- [2] Naeem A.M, Gábor A, Mankovits T, *Influence of the Manufacturing Parameters on the Compressive Properties of Closed Cell Aluminum Foams*, Periodica Polytechnica Mechanical Engineering, 2020, 64(2), 172-178
- [3] Szlancsik A, Orbulos I.N, *Compressive properties of metal matrix syntactic foams in uni- and triaxial compression*, 2021, Materials Science And Engineering A-Structural Materials Properties Microstructure And Processing, 827
- [4] Tomoly Kinga: PhD értekezés, Al-SiC és Al-SiC(Cu) porkohászati kompozitok előállítás és összehasonlító vizsgálata, 2007, Miskolci Egyetem, Fémtani - és Képlékenyalakítástani Intézeti Tanszék
- [5] ***, Aluminum 360.0-F Die Casting Alloy Datasheet (360.0-F öntészeti alumínium ötvözet öntési adatlapja), MatWeb, <https://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?matguid=87a0d0817ebd44008a967cbf3e9cd378> (Utolsó letöltés dátuma: 2022. 02. 25.)