

**CERCETĂRI PRIVIND
CARACTERISTICILE TRIBOLOGICE
ALE COMPOZITELOR Al-SiC-Grafit**

**RESEARCH ON THE TRIBOLOGICAL
CHARACTERISTICS
OF Al-SiC-Graphite COMPOSITES**

Ana VETELEANU

Universitatea "TRANSILVANIA" din Braşov, România

Person contact: veteleanuana@yahoo.com

REZUMAT / ABSTRACT

S copul acestei cercetări este de a determina caracteristicile de exploatare ale compozitelor hibride, cu matrice din AlSi7Mg03 armată cu 10% SiC și 1,5% respectiv 3% grafit acoperit cu cupru, obținute prin încorporarea elementelor de armare în aliajul de aluminiu topit.

Testarea caracteristicilor tribologice a fost realizată cu ajutorul unui Tribometru Cs Instruments, cu tribosistem tip pin-la-disc, în condiții de alunecare uscată. O creștere a procentului de grafit în compozitul hibrid conduce la o scădere a densității și a durității materialului și o îmbunătățire a caracteristicilor tribologice generate de lubrifiere. Consolidarea aliajelor de aluminiu cu SiC și grafit a condus la o nouă generație de materiale, cu o combinație unică de proprietăți, pentru multe aplicații industriale.

T he purpose of this research is to determine the operating characteristics of hybrid composites with matrix of AlSi7Mg03 reinforced with 10% SiC and 1.5 respectively 3% copper coated graphite obtained by embedding reinforcing elements in molten aluminium alloy.

Testing of the tribological characteristics was undertaken using Tribometer Cs Instruments, with tribosystem type pin-on-disc, under conditions of dry sliding. An increase in the percentage of graphite in the hybrid composite leads to a lowering of the density and hardness of the material and an improvement of the tribological characteristics generated by the lubrication.

Reinforcement of aluminium alloys with SiC and graphite led to a new generation of materials, with a unique combination of properties, for many industrial applications.

Keywords: hybrid composites, tribological characteristics, density, electron microscopy

1. INTRODUCERE

Dezvoltarea continuă a unor ramuri de vârf ale tehnicii precum aeronautica, tehnica nucleară, tehnica transporturilor terestre și maritime, necesită frecvent înlocuirea materialelor clasice cu materiale cu proprietăți deosebite cum sunt materialele compozite.

Din punct de vedere tehnic, noțiunea de materiale compozite se referă la materialele care posedă următoarele proprietăți:

- sunt create artificial, prin combinarea diferitelor componente (sunt excluse compozitele naturale);
- reprezintă o combinație a cel puțin două materiale deosebite din punct de vedere chimic, cu proprietăți anizotrope între care există o interfață distinctă;

1. INTRODUCTION

The continuous development of engineering leading sectors such as aeronautics, nuclear engineering, land and sea transport engineering requires frequent replacement of conventional materials with materials having special properties such as material composites.

From a technical point of view, the notion of composite materials refers to materials that have the following characteristics:

- they are created artificially, by combining different components (excluding natural composites or those which are not aimed to create a composite, such as wood, grey cast iron, etc.);
- they are a combination of at least two materials which are chemically different, with anisotropic

- prezintă proprietăți pe care nici un component luat separat nu le poate avea.

Caracteristicile materialelor compozite sunt dependente de natura matricei, a elementelor de ranforsare de mărimea și distribuția particulelor de ranforsare în matrice, de caracteristicile interfeței matrice - particule de ranforsare și de tehnicile de prelucrare.

Materialele compozite cu matrice metalică MMC sunt materiale metalice izotrope obținute prin încorporarea unor constituenți metalici sau nemetalici de tip SiC, B₄C, Al₂O₃, TiC, WC and ZrO₂ sub formă continuă, discontinuă sau sub formă de particule într-o masă metalică (Al, Mg, Titan, Cu) și care au proprietăți noi și superioare materialelor din care sunt constituite.

Rezistența specifică (rezistență / densitate) superioară materialelor componente, rezistența la oboseală, stabilitatea ridicată la condiții agresive de coroziune, rezistența ridicată la oboseală și fisurare, greutate specifică redusă și proprietăți tribologice superioare fac din materialele compozite cu matrice metalică o clasă potențială de materiale ale viitorului fiind utilizate preponderent pentru aplicații tribologice. Caracteristicile de prelucrare sunt reduse datorită caracterului abraziv al elementelor dure de ranforsare. [1, 2]

Compozitele MMC sunt larg utilizate în industria auto (biele, elemente de transmisie, sisteme de frânare, pistoane, discuri de frână, etrier disc, plăcuțe de frână) în aviația militară și civilă (armături, elemente ale cutiei de viteze, turbină lame de compresoare și turbine) și aerospațială (suporturi pentru oglinzile telescoapelor spațiale, elemente de rigidizare, antene, elemente de îmbinare). [2, 4]

Compozitele hibride (MMCH) îmbină caracteristicile a cel puțin două elemente de ranforsare, elemente dure (SiC, B₄C, Al₂O₃, TiC, WC și ZrO₂) și elemente moi (grafit) - care asigură deasemenea, auto-lubrifierea într-o matrice metalică. [3]

Cercetările în domeniu indică o gamă variată de combinații între materialul matricei și elementele de ranforsare, de la Al-SiC-Grafit [1, 3, 5] la Al-Gr-B₄C [2], aluminiu-oxid de aluminiu - grafit [4], Cu-B₄C [6] aluminiu-SiC - cenușă zburătoare [7], Al-SiC cu caracteristici fizico-mecanice și tribologice deosebite.

Materiale compozite MMCH cu matrice din aluminiu sau aliaje cu bază aluminiu ranforsate cu SiC și grafit au fost cercetate și utilizate mai larg în ultima perioadă datorită caracteristicilor lor deosebite (rezistență la uzură, densitate scăzută, rigiditate, rezistență specifică ridicată). Introducerea grafitului ca element de ranforsare asigură o auto-lubrifiere rezolvându-se astfel o problemă dificilă a ungerii la temperaturi de lucru mai ridicate, unde lubrifiții lichizi sunt dificil de utilizat. [1, 2, 3]

Caracteristicile funcționale și economice ale materialului compozit (MMCH) sunt influențate de tehnicile

characteristics, between which a distinct surface is present;

- *they have properties that no component in isolation can have.*

The characteristics of the composite materials depend on the nature of the matrix, of the reinforcing elements, on the size and distribution of the reinforcing elements in the matrix, on the characteristics of the matrix-particles contact surface and on the technical machining characteristics.

Composite material with MMCs metal matrix are isotropic metallic materials obtained by incorporating metallic or non-metallic constituents of SiC, B₄C, Al₂O₃, TiC, WC and ZrO₂ type, continuously, discontinuously or as particles in a metal mass (Al, Mg, Titanium, Cu) with new and superior characteristics compared to constituting materials.

The specific resistance (resistance/density) superior to constituent materials, fatigue resistance, high stability in aggressive corrosion conditions, high resistance to fatigue and cracking, low specific weight and superior tribological properties make them a potential class of materials of the future, being used mainly for tribological applications. The machining properties are reduced due to the abrasive nature of the hard reinforcing elements. [1, 2]

MMCs composites are widely used in the automotive (braking systems, pistons, frames, brake discs, disc brake caliper, brake pads), civil and military aviation (axle tubes, reinforcements, gear box casing, turbine, and compressor blades) and aerospace (frames, reinforcements, aeriels, joining elements) industry. [2, 4]

The hybrid composites (MMCH) combine the characteristics of at least two reinforcing elements, hard elements (SiC, B₄C, Al₂O₃, TiC, WC and ZrO₂) and soft elements (graphite) - which also provides self-lubrication - in a metal matrix. [3].

The research in the field shows a wide range of combinations between the matrix material and the reinforcing elements, from Al-SiC-Graphite [1, 3, 5] to Al-Gr-B₄C [2], aluminium-aluminium oxide - graphite [4], Cu-B₄C [6] aluminium-SiC - fly ash [7], Al-SiC [8] with special physico-mechanical and tribological characteristics.

The MMCH composite materials with aluminium or aluminium based alloys matrix have been increasingly researched and used lately due to their special characteristics (wear resistance, lower density, rigidity, specific resistance) achieved by reinforcing the matrix with hard and self-lubricating elements, thus solving the difficult problem of lubrication at higher work temperatures, when fluid lubricants are difficult to use. [1, 2, 3]

The functional and economic characteristics of the composite material are influenced by the machining techniques, by the effects on the grain size, the

de prelucrare, prin efectele asupra mărimii de grăunte, a porozității și distribuției elementelor de ranforsare și structura compușilor formați la interfață.

Tehnicile de prelucrare prin turnare a compozitelor MMC [9] sunt cele mai simple dar și cele mai economice. Deficiențele în acest caz apar datorită unei distribuții neuniforme a particulelor de ranforsare în masa metalică și o aglomerare a particulelor de ranforsare cu efect asupra caracteristicilor funcționale. O mai bună distribuție a elementelor de ranforsare se poate realiza prin agitarea mecanică a amestecului. Se impun condiții speciale pentru imersia elementelor de ranforsare în baia metalică și creșterea umectabilității materialelor de ranforsare [10].

Sinteza materialelor compozitelor in-situ [11] bazată pe obținerea elementelor de ranforsare ca rezultat a unor reacții chimice sau difuzie, care apar de obicei în condiții izoterme are ca rezultat o distribuție mai uniformă a elementelor de ranforsare, o granulație mai fină comparativ cu tehnica ex-situ ceea ce determină obținerea unor caracteristici superioare.

Y. Faud [12] propune o tehnologie combinată (metalurgia pulberilor și de extrudare la cald) pentru obținerea compozitelor Al/Grafit rezistente la uzare.

Materiale compozite cu caracteristici superioare pot fi obținute prin tehnici speciale [4]:

- amestecare de pulberi metalice și ceramice și prelucrare prin presare, extrudare, laminare la temperaturi ridicate;
- turnarea cu agitare accentuată în stare păstoasă - campocasting;
- procesarea în stare de vapori - spray deposition;
- acoperirea componentelor de ranforsare cu straturi succesive. [13]

Cercetările prezentate sunt orientate pe stabilirea corelației între rezistența la uzare și conținutul de elemente de ranforsare precum și analiza factorilor ce influențează rezistența la uzare pentru compozitele MMCH - AlSi7Mg03 - SiC - Grafit, obținute prin metoda clasică de turnare cu agitare mecanică.

Pentru compozitul Al-SiC-Grafit corelația între compoziția chimică și caracteristicile mecanice și tehnologice a fost analizată în lucrări anterioare. [14, 15]

2. CERCETARI EXPERIMENTALE

2.1. Selecția materialelor

Compozitul MMCH analizat constituit dintr-o matrice din aliaj de aluminiu tip AlSi7Mg03 armată cu 10%SiC și 1,5 respectiv 3% grafit este caracterizat prin proprietăți fizice și mecanice (rezistență specifică mare, densitate redusă, conductivitate termică și electrică, duritate ridicată) și de exploatare (rezistență

porosity and the distribution of reinforcing elements as well as on the structure of compounds formed at the interface.

The machining by stir casting methods [9] are the simplest and the most economical. In this case, deficiencies occur due to an uneven distribution of reinforcing particles in the metal mass and to an agglomeration of reinforcing particles impacting functional characteristics. Special conditions are required for immersing the reinforcing elements in the metal bath and increasing the wettability of reinforcing materials [10].

The synthesis of composite materials in-situ [11], based on obtaining the reinforcing materials as a result of chemical reactions or diffusion, results in a more uniform distribution of reinforcing elements, a finer granulation as compared to the ex-situ technique, determining the achievement of superior characteristics.

Y. Faud [12] proposes a combined technology ex-situ and in-situ (powder metallurgy followed by hot extrusion) to obtain wear resistant Al/Graphite composites

Composite materials with superior characteristics were obtained using special techniques [4]:

- *the use of metal powders and alloys and reinforcing ceramic powders, mixed and processed by pressing, extrusion, rolling at high temperatures, co-depositing and sputtering the liquid matrix and the solid reinforcing particles;*
- *casting while vigorously stirring in pasty state - campocasting;*
- *processing in vapour state - spray deposition;*
- *coating the reinforcing components with successive layers. [13]*

The research presented is orientated on establishing the correlation between the resistance to wear and the content of reinforcing elements as well as analyzing the factors that influence the wear resistance of MMCH - AlSi7Mg03 - SiC - Graphite composites, obtained through the classical method of casting with mechanical stirring.

In the case of the Al-SiC-Graphite composite, the correlation between the chemical composition and the mechanical and technologic characteristics was analysed in previous papers. [14, 15]

2. EXPERIMENTAL RESEARCH

2.1. Selection of materials

The analysed MMCH composite, consisting of an aluminium alloy matrix of AlSi7Mg03 type, reinforced with 10% SiC and 1.5, respectively 3%, graphite is characterised by superior physical (high specific resistance, low density, thermal and electrical conductivity) and chemical (corrosion resistance,

la coroziune, rezistență la uzare) superioare, toxicitate și cost redus.

Alegerea aliajului AlSi7Mg03 se justifică prin caracteristicile acestuia: turnabilitate bună, proprietăți mecanice bune care pot fi îmbunătățite prin tratament termic, rezistență la coroziune, prelucrabilitate foarte bună, densitate scăzută.

Carbura de siliciu se caracterizează prin rezistență la rupere și duritate de valori ridicate, o bună rezistență la uzare, rigiditate mare, prelucrabilitate redusă. Utilizarea ei sub formă de particule drept element de ranforsare în matricea de aluminiu prezintă avantajul unei bune compatibilități chimice cu aliajul lichid.

Grafitul, introdus ca element de ranforsare în matricea de aluminiu armată cu carbură de siliciu, ameliorează proprietățile antifricțiune și reduce densitatea.

Pentru studiul influenței grafitului asupra caracteristicilor tribologice s-au utilizat două tipuri de materiale a caror compoziție chimică este prezentată în **Tabelul 1**.

Table 1. Compoziția chimică a materialelor compozite analizate
Table 1. Chemical composition of the investigated materials

Materials / Sample	Matrix	Reinforcing elements [%]	
		SiC	Graphite
MMCH / 1	AlSi7Mg03	10	1.25
MMCH / 2	AlSi7Mg03	10	3.0

2.2. Sinteza materialului compozit

Sinteza compozitului MMCHs s-a realizat în cadrul proiectului MATRIB [16] și a fost prezentată în lucrări anterioare. [14, 15]

Rezultatele obținute au pus în evidență unele aspecte legate de gradul minim al umectării particulelor de ranforsare de către topitura de aliaj de aluminiu. Pentru a asigura o bună înglobare a particulelor de grafit în topitura matricei, acestea au fost acoperite în prealabil cu cupru.

Turnarea în forma metalică, conduce în principal la obținerea unor caracteristici specifice tipului de aliaj utilizat ca matrice. Se observă o ușoară segregare a particulelor de carbură de siliciu, dar și o tendință de "flotare" a grafitului în matricea compozitului.

2.3. Duritatea Brinell

Pentru determinarea durității s-a aplicat metodă de testare Brinell, utilizând o sarcină de apăsare de 250 daN și un penetrator tip bilă cu diametrul de 5mm. Timpul de aplicare a sarcinii este de 15 secunde.

resistance to wear) properties, toxicity and reduced cost.

The choice of the AlSi7Mg03 alloy is justified by its characteristics: good castability, good mechanical properties which can be improved by heat treatment, corrosion resistance, very good machinability, low density.

Silicon carbide is characterized by tensile strength and high values of hardness, good wear resistance, high rigidity, low machinability. Its use in particulate form as a reinforcing element in the aluminum matrix has the advantage of a high chemical compatibility with the liquid alloy.

Graphite is introduced as a reinforcing element in the aluminum matrix reinforced with silicon carbide, improve anti-friction properties and reduce the density.

*In the study of the influence of graphite on the tribological characteristics, two types of materials used whose chemical composition is presented in **Table 1**.*

2.2. Synthesis of composite material

The synthesis of the MMCHs composite was achieved in the frame of MATRIB project [16] and has been presented in previous papers.

The results highlighted certain aspects related to the minimum degree of wetting of reinforcing particles by the molten aluminium alloy. The surface of most metals is wetted by molten aluminium and, therefore, it was found that the coating of particles (as done in the case of Cu coated graphite) allows them to be more easily integrated in the matrix.

The casting in metal form leads, primarily, to a solidification while forming a shrinkage solidification specific to the type of alloys used as matrix. There can be seen a slight segregation of silicon carbide particles and a "floating" tendency of the graphite in the composite matrix.

2.3. Brinell hardness

The Brinell testing method was applied to determine hardness, using a 250 daN load and a penetrator with a diameter of 5 mm. The load was applied for 15 seconds.

Din fiecare grupă de materiale s-au confecționat 2 probe cilindrice cu diametrul de 20 mm și înălțimea de 10 mm. Având în vedere neomogenitatea materialului s-au efectuat 3 încercări pentru fiecare epruvetă.

2.4. Analize structurale

Structurile obținute au fost analizate cu microscopul electronic de baleiaj (SEM JOEL, JSM 840A) echipat cu spectrometru de dispersie (EDS). Probele au fost pregătite utilizând tehnicile metalografice.

2.5. Caracteristici tribologice

Testarea caracteristicilor tribologice a fost realizată utilizând tribometrul "CS Instruments", versiunea 4.4.K cu tribosistem de tip pin-on-disc, în condiții de alunecare uscată.

Experimentele au fost efectuate cu o viteză de alunecare constantă (0,2073 m/s), pe o distanță de alunecare de 67,00 m sub o sarcină de 10N la temperatura de 24°C și o umiditate a mediului de lucru de 32%.

Partenerul static este constituit dintr-o bilă cu diametrul de 6 mm confecționată din oțel 100Cr6.

Epruvetele de formă cilindrică cu diametrul de 30 mm și înălțimea de 10 mm au fost testate după o curățire prealabilă.

3. REZULTATE ȘI DISCUȚII

3.1. Duritatea

Valorile medii ale durității determinate pentru cele două tipuri de material utilizat, sunt prezentate în **Tabelul 2**.

Tabel 2. Valorile durității Brinell pentru compozitul analizat
Table 2. Brinell hardness values for the analysed composite

Sample	Material	Brinell hardness
1	AlSi7Mg03 + 10%SiC + 1.5%Gr	76.5
2	AlSi7Mg03 + 10%SiC + 3.0%Gr	73
3	Matrix (AlSi7Mg03)	65

Valorile durității sunt în concordanță cu cele obținute în cadrul unor cercetări similare. [19]

3.2. Microstructura

Analizele SEM pentru compozitele studiate sunt prezentate în **Figurile 1 - 4**.

Two cylindrical samples, 20 mm in diameter and 10 mm in height, were made of each group of materials. Given the inhomogeneity of the material, there were performed 3 tests for each specimen.

2.4. Structural analyses

The structures obtained, were examined with Scanning Electron Microscope (SEM JOEL, JSM 840A) equipped with dispersion spectrometer (EDS). The samples were prepared using metallographic practices.

2.5. Tribological characteristics

The testing of tribological characteristics was conducted using a CS Instruments Tribometre, Version 4.4.K with tribosystem, pin-on-disk type, in dry sliding conditions.

The experiments were performed at a constant sliding speed (0.2073 m/s), on a 67.00 m sliding distance, under 10N loads, at a temperature of 24°C and working ambient humidity of 32%.

The static partner consists of a ball with a diameter of 6 mm, made of steel 100Cr6.

The cylindrical specimens with a diameter of 30 mm and a height of 10 mm were used after a prior cleaning.

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

3.1. Brinell Hardness

*The average hardness values determined for the two types of materials are presented in **Table 2**.*

The hardness values are consistent with those obtained in similar research. [19]

3.2. Microstructure

*The SEM analysis of the studied composites are shown in **Figures 1 - 4**.*

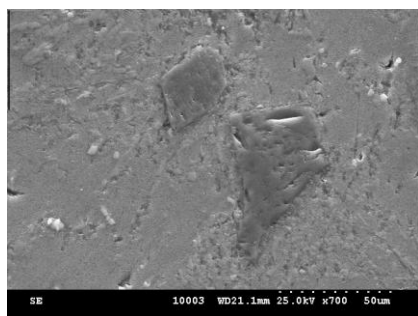


Fig. 1. Imagine SEM a probei AlSi7Mg05+10%SiC+1,5% grafit acoperit cu cupru
SEM image of the AlSi7Mg05+10%SiC+1.5% sample, with copper coated graphite

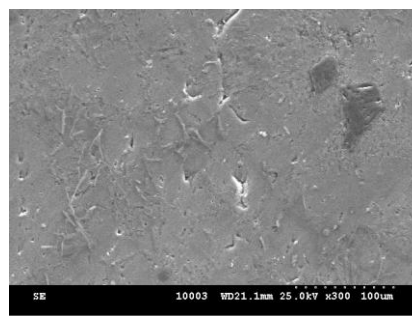


Fig. 2. Imagine SEM a probei AlSi7Mg05+10%SiC+1,5% grafit acoperit cu cupru
SEM image of the AlSi7Mg05+10%SiC+1.5% sample, with copper coated graphite

În **Figura 1** se evidențiază particulele de SiC înglobate în matricea din aliaj de aluminiu precum și zonele de dispunere cvasi-dispers a grafitului în jurul zonelor de SiC.

În **Figura 2** se remarcă discontinuitățile de tipul porozităților, microfisurilor și microsegregațiilor, iar în **Figura 3** sunt evidențiate unele zone cu structuri eutectice de aluminiu-siliciu. Particulele de carburi sunt fin dispersate la limita acestor zone.

Figure 1 shows the SEM image highlighting the embedded SiC particles and the areas of the quasi-dispersed arrangement of graphite around the SiC areas.

In **Figure 2**, discontinuities such as porosities, microcracks and microsegregations can be noticed and in **Figure 3** there are highlighted areas where aluminium-silicon eutectic structures are laid. The carbide particles are finely dispersed at the boundaries of such areas .

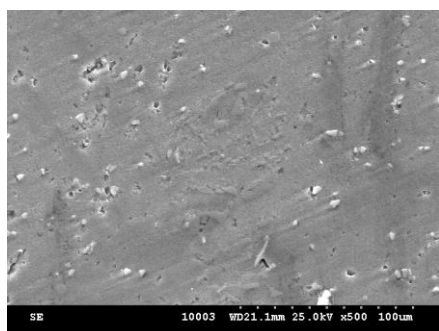


Fig. 3. Imaginea SEM a compozitului cu matricea din AlSi7Mg03 ranforsată cu 10%SiC și 1.5% grafit.
The SEM image of the composite with AlSi7Mg03 matrix, reinforced with 10%SiC and 1.5% graphite.

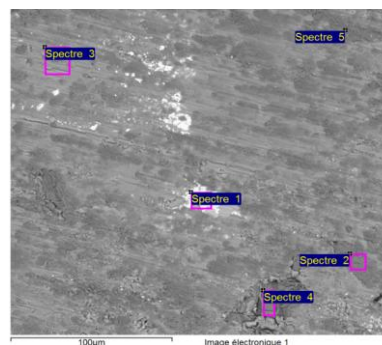


Fig. 4. Analiza EDS și microstructura compozitului cu matricea din AlSi7Mg03 ranforsată cu 10%SiC și 1.5% grafit.
The EDS analysis and microstructure, for the composite with AlSi7Mg03 matrix, reinforced with 10% SiC and 1.5 % graphite.

Spectre	C	O	Mg	Al	Si	Cu
Spectre 1	14.31	11.17	3.26	49.75	5.94	15.58
Spectre 2	36.74	16.50		6.61	40.15	
Spectre 3	9.15	12.96		76.55	0.97	0.37
Spectre 4	62.45	3.34		0.87	33.34	
Spectre 5	5.84	39.16	0.27	52.98	1.59	0.16
Maxim	62.45	39.16	3.26	76.55	40.15	15.58
Minim	5.84	3.34	0.27	0.87	0.97	0.16

Figura 4 evidențiază distribuția neuniformă a elementelor de ranforsare în matricea de bază precum și rezultatele analizei EDS.

Prezența oxigenului este generată de procesul de oxidare a compozitului. Prezența cuprului este justificată, datorită acoperirii particulelor de grafit pentru creșterea umectabilității.

3.3. Rezistența la uzare

Comportamentul la uzare a compozitului analizat având ca matrice aliajele de aluminiu depinde de particulele utilizate pentru armare, dimensiunea și fracțiunea de particule, structura internă a materialului ca factori interni și temperatura, forța de apăsare, viteza de alunecare ca factori externi.

Cercetările anterioare efectuate pe compozite MMC cu matricea din aliaj cu baza aluminiu ranforsată cu SiC arată că rezistența la uzare crește cu creșterea fracției de volum a elementelor dure de ranforsare. Rezistența la uzare depinde de adeziunea la interfața matrice-material de ranforsare și de formarea compușilor la interfață. În cazul sintezei ex-situ a compozitului adeziunea element de ranforsare-matrice este bună, ceea ce determină o creștere a rezistenței la uzare. Introducerea grafitului ca element de ranforsare determină o autolubrifiere care are ca efect scăderea coeficientului de frecare.

Din datele existente în literatura de specialitate, rezultă că prezența grafitului în compozit este o condiție necesară pentru formarea unui strat de protecție Tribo pentru a evita deteriorarea suprafeței.

Un factor care influențează rezistența la uzare este calitatea suprafeței (rugozitatea) dependentă de condițiile de prelucrare și implicit de compoziția chimică.

Rezistența la uzare a materialului analizat este prezentată în **Tabelul 3**.

Tabel 3. Pierderea de volum pentru probele 1 și 2 în condițiile de solicitare prezentate.

Table 3. The volume loss for samples 1 and 2 in the mentioned stress conditions.

Volume of spent material, mm ³ /Nm	
Sample 1 AlSi7Mg03+10%SiC+1.5%Graphite	Sample 2 AlSi7Mg03+10%SiC+3%Graphite
Radius 3.3	Radius 3.3
2,243E-004	2,947E-004
2.285E-004	1.959E-004
2.150E-004	1.381E-004
Media 2.226E-004	Media 2.09E-004

Variația coeficientului de frecare cu distanța de alunecare pentru fiecare din cele două tipuri de compozite este prezentată în **Figurile 5 și 6**.

Figure 4 highlights the uneven distribution of reinforcing elements in the base matrix and the EDS analysis results.

The presence of oxygen can be generated by the oxidation process of the composite. The copper presence is justified by the coating of graphite particles in order to increase wettability.

3.3. Resistance to wear

The wear behaviour of the analysed composite, having as matrix aluminium alloys, is strongly dependant on the particles used for reinforcement, the particle size and fraction, the internal structure of the material as internal factors and on the temperature, the down force, the sliding speed as external factors.

The resistance to wear increases with the growth of the volume fraction of hard reinforcement elements. The resistance to wear depends on the adhesion at the interface matrix-reinforcing material and on the formation of compounds at the interface. In the case of the ex-situ synthesis of the composite, the adhesion between the reinforcing element and the matrix is very good, leading to an increase in the wear resistance. The introduction of graphite as reinforcing element leads to a self-lubrication which has the effect of decreasing the friction coefficient.

From data available in existing literature we can conclude that the presents of graphite in the composite is a necessary condition for the formation of a Tribo protection layer in order to avoid the deterioration of the surface.

A factor influencing the wear resistance is the quality of the surface (rugosity) which depends on the machining conditions and, implicitly on the chemical composition.

The resistance to wear of the analysed material is presented in **Table 3**.

The variation of the friction coefficient on sliding distance for each of the two types of composites is presented in **Figures 5 and 6**.

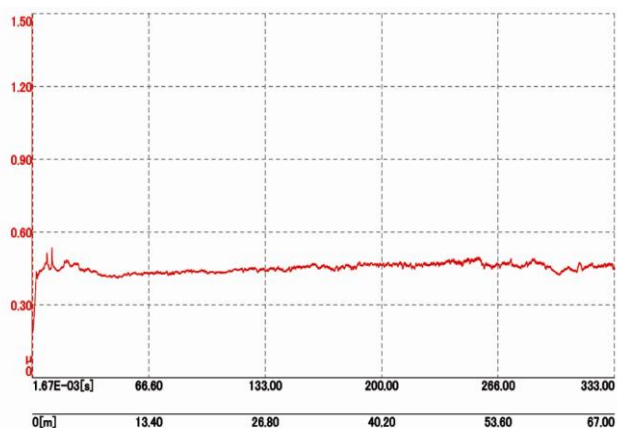


Fig. 5. Variația coeficientului de frecare cu distanța de alunecare în cazul probei 1 (AlSi7Mg03-10%SiC-1.5Gr)

The variation of the friction coefficient versus the sliding distance for sample 1 (AlSi7Mg03-10%SiC-1.5Gr)

Stabilitatea coeficientului de frecare pentru fiecare material testat indică o bună înglobare a particulelor de ranforsare în masa de bază cu adeziune bună între matrice și elementul de ranforsare. În cazul probei 1 se înregistrează o perioadă de rodaj relativ scurtă, nesemnificativă din punct de vedere al comportării la uzare.

Valorile mai scăzute ale coeficientului de frecare în cazul probei 2 ranforsată cu 3% grafit se datorează intensificării lubrifierii și creșterii porozității [16]. Creșterea conținutului de grafit determină formarea unui strat tribologic constituit din grafit, diferite tipuri de oxizi, și alte elemente adiționale din matrice. Aceste straturi se caracterizează prin duritate ridicată și o rugozitate scăzută, ceea ce determină o scădere a ratei de uzare și a coeficientului de frecare. [12]

4. CONCLUZII

1. Caracteristicile tribologice ale compozitelor MMCH sunt dependente de concentrația și natura elementelor de ranforsare. Creșterea concentrației de grafit determină o reducere a coeficientului de frecare.
2. Valorile medii ale coeficientului de frecare se situează între 0,45-0,50 pentru proba 1 (compozit MMCH cu 1,5% Gr) și 0,15-0,20 pentru proba 2 (compozit MMCH cu 3% Gr).
3. Compozitele Al-SiC - Grafit fac parte din clasa materialelor autolubrifiante, caracterizate printr-un coeficient de frecare redus, datorită grafitului inoculat.
4. Introducerea grafitului în compozit a condus la reducerea densității și durității acestuia. Rezistența la uzare este corelată cu duritatea stratului; rezultatele testelor de uzura abrazivă și duritate

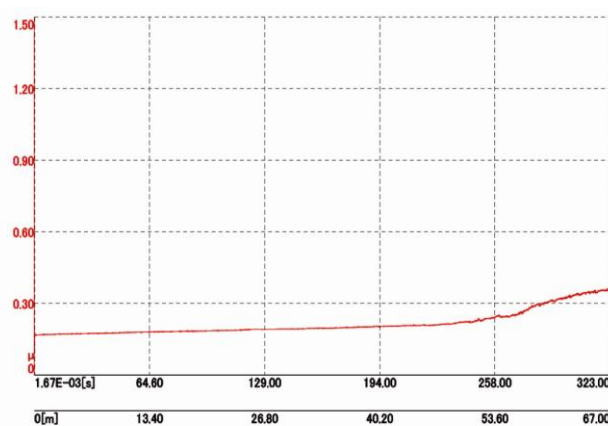


Fig. 6. Variația coeficientului de frecare cu distanța de alunecare în cazul probei 2 (AlSi7Mg03-10%SiC-3.0%Gr)

The variation of the friction coefficient versus the sliding distance for sample 2 (AlSi7Mg03-10%SiC-3.0%Gr)

The stability of the friction coefficient for each tested material is a good indication of a good embedding of the reinforcing particles in the matrix, as well as, the adhesion of reinforcing element. In the case of sample 1 a relatively short running-in period is observed, insignificant in terms of wear behavior.

The lower values of the friction coefficient for the second sample reinforced with 3% graphite is due to the increase of lubrication and rise of porosity [16]. The increase of graphite content determines the formation of a tribologic layer consisting of graphite, different types of oxides and other additional elements from the matrix.

These layers are characterized by high hardness and low surface roughness, resulting in a decrease in the rate of wear and coefficient of friction. [12]

4. CONCLUSIONS

1. The tribological characteristics of the MMCH composites depend on the concentration and nature of reinforcing elements. The increase of the graphite concentration leads to a decrease of the friction coefficient.
2. The average values of the friction coefficient are situated in 0.45-0.50 range for sample 1 (composite MMCH with 1.5% Graphite) and 0.15-0.20 for sample 2 (composite MMCH with 3% Graphite).
3. The Al-SiC - Graphite composites are part of the class of self lubricating materials characterised by a reduction of the friction coefficient due to the embedded graphite.
4. The graphite embedding in composite has reduced its density and hardness. The wear resistance is correlated to the hardness of the layer; the results

confirmă ipoteza că rata de uzare este mai mare pentru materialul compozit cu duritatea mai mare.

5. Rezistența la uzare variază de la $2,226 \times 10^{-4}$ pentru proba 1 la $2,09 \times 10^{-4}$ pentru proba 2.
6. Rezultatele obținute sunt în concordanță cu cele existente în literatura de specialitate.

of the abrasive wear and hardness tests confirm the hypothesis that the wear rate is enhanced for composite materials with a higher hardness.

5. The wear resistance varies between 2.226×10^{-4} for sample 1 and 2.09×10^{-4} for sample 2.
6. The obtained results are in accordance with the literature.

BIBLIOGRAFIE / REFERENCES

- [1] **M. BABIC, B. STOJANOVIC, S. MITROVIC, I. BOBIC, N. MILORADOVIC, M. PANTIC, D. DZUNIC** - *Wear Properties of A356/10SiC/1G Hybrid Composites in Lubricated Sliding Conditions*, Tribology in Industry Vol. 35, No. 2 (2013), pp. 148-154.
- [2] **N. SENTHILKUMAR, T. TAMIZHARASAN, M. ANBARASAN** - *Mechanical Characterization and Tribological Behaviour of Al-Gr-B4C Metal Matrix Composite prepared by Stir Casting Technique*, Journal of Advanced Engineering Research Volume 1, Issue 1, 2014, pp. 48-59.
- [3] **B. STOJANOVIC, M. BABIC, S. MITROVIC, A.N. MILORADOVIC, M. PANTIC** - *Tribological characteristics of aluminium composites reinforced silicon carbide and graphite* - Journal of the Balkan Tribological Association. Vol. 19, No. 1, 2013, pp. 83-96.
- [4] **N. RADHIKA, R. SUBRAMANIAN, S. VENKAT PRASAT** - *Tribological Behaviour of Aluminium/ Alumina/Graphite Hybrid*, Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering, Vol. 10, No. 5, pp. 427-443, 2011.
- [5] **N. RADHIKA, R. SUBRAMANIAN, S. VENKAT PRASAT** - *Tribological Behaviour of Aluminium/ Alumina/Graphite Hybrid Metal Matrix Composite Using Taguchi's Techniques*, pp. 427-443.
- [6] **I. ALTINSOY, F. GOYDE, C. EFE, D. AYTAŞ, M. KILIC, I. OZBEK, C. BINDAL** - *Some Properties of Cu-B4C Composites Manufactured by Powder Metallurgy*, Periodicals of Engineering and Natural Sciences, Vol. 1, No. 1, (2013), ISSN 2303-4521, pp. 34-38.
- [7] **Mr. SHARANABASAPPA R PATIL, B.S. MOTGI** - *A Study on Mechanical Properties of Ash and Alumina Reinforced Aluminium Alloy (LM25) Composites*, IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering Volume 7, Issue (Jul.-Aug. 2013), pp. 41-46.
- [8] **D.P. MYRIOUNIS, S.T. HASAN and T.E. MATIKAS** - *Microdeformation behaviour of Al-SiC metal matrix composites*, Composite Interfaces, Vol. 15, No. 5, (2008), pp. 495-514.
- [9] **D. PARGUNDE, D. TAMBUSKAR, S.S. KULKARNI** - *Fabrication of metal matrix composite by stir casting method*, Int. J Adv. Engg. Res. Studies / II / IV / July-Sept., pp. 49-51, 2013.
- [10] **M.R. ROSHANA, R. TAHERZADEH MOUSAVIANB, H. EBRAHIMKHANIB, A. MOSLEHC** - *Fabrication of Al-based composites reinforced with Al_2O_3 - TiB₂ ceramic composite particulated using Vortex-casting method*, J. Min. Metall. Sect. B-Metall. 49 (3) B (2013), pp. 299-305.
- [11] **D. MITRICĂ, P. MOLDOVAN** - *In-Situ Syntesis of Al-Si/SiCP coby reactive gas injection method*, U.P.B. Sci. Bull., Series B, Vol. 74, Iss. 4, 2012.
- [12] **E. GEWFIEL, M.A.H. EL MENIAWI, Y. FOUAD** - *The effects of graphite and SiC formation on mechanical and wear properties of aluminium graphite (Al/Gr) composites*, IEEE International Conference on Engineering and Technology, 978-1-4673-4810-2/2012.

- [13] **D. MITRICĂ** - *Procedeu de obținere in-situ a materialelor compozite de tipul Al-Si/Al și instalație experimentală* - Cerere brevet de invenție - 2011.
- [14] **Ana VEȚELEANU, F. CHICHERNEA** - *Research concerning the corrosion behaviour of thermal treated hybrid composites with aluminium alloy matrix reinforced with SiC and graphite*, *Metalurgia International* nr. 5/2013, pp. 55-61.
- [15] **Ana VEȚELEANU, Patricia NEAGU MANICATIDE, Irina CÂRCEANU, M. NEAGU MANICATIDE**-*Research on the characteristics of composites MMCH-heat treatment* - *Metalurgia International*, nr 1/2011, pp. 21.
- [16] **MATRIB** - *Noi materiale compozite cu aplicatii tribologice* - CEEEX 2008.
- [17] **G.B. VEERESH KUMAR, C.S.P. RAO, N. SELVARAJ, M.S. BHAGYASHEKAR** - *Studies on Al6061-SiC and Al7075-Al₂O₃ Metal Matrix Composites*, *Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering*, Vol. 9, No. 1, 2010, pp. 43.
- [18] **P.D. RAJAN** - *Processing and characterisation of aluminium metal matrix composites*, Thesis submitted to The University of Kerala in fulfilment of the requirements for the Degree of DOCTOR OF PHILOSOPHY in the Faculty of Engineering and Technology - June 2002.
- [19] **J.W. KACZMAR, K. NAPLOCHA** - *Wear behavior composite materials based on 2024 Al-alloy reinforced with delta alumina fibers*, *Journal of achievement in Materials and Manufacturing Engineering*, vol. 43, ISSUE 1, November 2010, pp 83-93.
- [20] **E. UȘURELU, P. MOLDOVAN** - *Aluminum Composite Material*, *Annale of DAAAMISSN 1726-9670-2010*.
- [21] **S. MITROVIÜ, M. BABIÜ, B. STOJANOVIÜ, N. MILORADOVIÜ** - *Tribological potencial of hybrid composites based on Zinc and Aluminium alloys reinforced with SiC and graphite particles*, 12th International Conference on Tribology, Kragujevac, Serbia, May 2011, pp. 11.