

## UTICAJ SADRŽAJA OJAČAVAČA NA UDARNU ŽILAVOST LIVENOG Al-SiC<sub>p</sub> METAL Matričnog Kompozita

### THE EFFECT OF REINFORCEMENT CONTENT ON IMPACT TOUGHNESS OF CAST Al-SiC<sub>p</sub> METAL MATRIX COMPOSITE

Originalni naučni rad / Original scientific paper

UDK / UDC: 669.715'721 669.018.95:661.665.1

Rad primljen / Paper received: 5.12.2001.

Adresa autora / Author's address:

<sup>(1)</sup> Vojno-tehnički Institut, Beograd

<sup>(2)</sup> Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd

<sup>(3)</sup> Institut za ispitivanje materijala, Beograd

#### Ključne reči

- metal matrični kompozit (MMC)
- MgAl legura
- SiC ojačavač
- udarna energija
- Šarpi V epruveta

#### IZVOD

Analiziran je uticaj sadržaja Mg u matrici i zapreminskog udela SiC čestica u metal matričnom kompozitu (MMC) na udarnu žilavost. Livena AlMg legura, sa 3%, 5% i 7% sadržaja Mg korišćena je kao metal matrice. Primenjen je sadržaj ojačavača od 2%, 5% i 10%, sa prosečnom veličinom čestica od 30 μm. Kompozit je dobijen metodom vrtložnog livenja.

Energija udara metal matričnog kompozita sa AlMg matricom smanjuje se sa porastom sadržaja SiC i smanjenjem sadržaja Mg. Najveća ukupna energija je nađena u MMC AlMg7 sa 2% SiC (14,7-17,5 J), a najmanja u MMC AlMg3 sa 10% SiC (3,7-4,1 J). Vrednosti za metal matrični kompozit su manje od vrednosti za odgovarajuću leguru za 40 do 50%.

#### UVOD

Novi konstrukcijski materijali su razvijeni kao odgovor sve većim zahtevima u pogledu radnog veka i osobina konstrukcije, uključujući smanjenje težine. Za praktičnu primenu novih materijala nepohodna je analiza njihovih mehaničkih osobina i podobnosti za upotrebu, radi postizanja predodređene radne sigurnosti komponenti i celokupne konstrukcije, npr. za primenu na povišenim temperaturama.

Problem kod određivanja mehaničkih osobina složenog materijala, kao što je metal matrični kompozit (MMC) je kako objasniti rezultate ispitivanja, npr. zateznih osobina i udarne žilavosti, imajući na umu složenu strukturu MMC. Takođe postoji i problem kako primeniti rezultate, dobijene sa malim MMC epruvetama, na komponente stvarne veličine u konstrukciji. Zbog toga, polje napona, uspostavljeno u MMC komponentama mora biti uzeto u obzir, uključujući i uticaj ojačanja i ponašanje matrice, a takođe i ponašanje na njihovim kontaktnim površinama [1,2]. Radi boljeg razumevanja ponašanja MMC kompozita u konstrukciji, konstruktor mora raspolagati podacima, neophodnim za opisivanje odgovora materijala na delujuće opterećenje [3]. Energija udara, značajna za ponašanje materijala pod udarnim opte-

#### Keywords

- Metal-matrix composite (MMC)
- MgAl alloy
- SiC reinforcement
- impact energy
- Charpy V specimen

#### ABSTRACT

The effect of Mg content in matrix and volume entail of SiC particles in metal matrix composite (MMC) on impact toughness is analysed. Cast AlMg alloy, with 3%, 5% and 7% Mg content is used as metal matrix. Reinforcement content of 2%, 5% and 10%, with an average particle size of 30 μm, had been applied. Composite is obtained by whirlpool casting method.

The impact energy of metal matrix composite with AlMg matrix decreases with increasing SiC content and with decreasing Mg content. The highest total energy is found in MMC AlMg7 with 2% SiC (14.7-17.5 J), and the lowest one in MMC AlMg3 with 10% SiC (3.7-4.1 J). The values for metal matrix composite are below that of corresponding alloy for 40 to 50%

rećenjem komponenti sa zarezom predstavlja i važan podatak za konstruktora, ali i za ponašanje konstrukcije tokom rada.

#### PROIZVODNJA I MIKROSTRUKTURA METAL Matričnog Kompozita

Posle pripremanja matrice i ojačavača, MMC je proizveden metodom vrtložnog livenja istopljene matrice i ojačavača radi postizanja optimalnog odnosa cena - kvalitet [4]. Matrica je proizvedena od AlMg legure, dobijene iz Instituta za nuklearne i druge mineralne sirovine - Beograd. Ojačavač SiC je dobijen iz Azotare - Ruše. Korišćene su tri AlMg legure: AlMg3, AlMg5 i AlMg7. Hemijski sastav upotrebljenih legura je dat u tab. 1, a ojačavača u tab. 2.

Tabela 1. Hemijski sastav ispitivanih legura za MMC matricu, %

| Alloy | Mg   | Mn   | Si    | Fe   | Ti    | Zn    | Cu    | Al      |
|-------|------|------|-------|------|-------|-------|-------|---------|
| AlMg3 | 2,90 | 0,30 | 0,050 | 0,18 | 0,055 | 0,10  | -     | ostatak |
| AlMg5 | 4,95 | 0,35 | 0,045 | 0,12 | 0,035 | 0,12  | -     | ostatak |
| AlMg7 | 7,05 | 0,63 | 0,081 | 0,23 | 0,051 | 0,030 | 0,001 | ostatak |

Tabela 2. Hemijski sastav SiC ojačavača

| C    | Si+SiO <sub>2</sub> | TiO <sub>2</sub> | FeO <sub>3</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO  | MgO  | SiC   |
|------|---------------------|------------------|------------------|--------------------------------|------|------|-------|
| 0,12 | 1,88                | 0,14             | 0,50             | 0,14                           | 0,13 | 0,04 | 96,65 |

Tipične mikrostrukture MMC, proizvedene sa različitim matricama i sadržajima SiC, su prikazane na sl. 1.



Slika 1. Mikrostruktura metal matičnog kompozita (gore: AlMg3+10%SiC; sredina: AlMg5+5%SiC; dole: AlMg7+5%SiC)

Slične mikrostrukture su nađene i u literaturi [5,6]. Mikrostruktura livenih kompozita je karakterisana izmenjenom morfologijom taloga čvrstih rastvora i intermetalnih faza. Budući da liveni MMC sadrži različite elemente (Si, Mn, Fe), uz Al i SiC, mora se posmatrati kao višefazna legura. Zbog toga, predstavljanje mikrostrukture je teško, i zahteva dodatne analize radi pouzdane identifikacije prisutnih faza. Ovo se postiže kvalitativnom analizom, ovde izvedenom pomoću skening elektronskog mikroskopa PHILIPS 515 sa sistemom EDAX 9900 tipa sa naponom od 25 kV. Tipična X zračenja iz različitih elemenata su praćena istovremeno tokom 30 s. Faze su identifikovane na osnovu karakterističnih spektara, dobijenih analizom u tački. Može se zaključiti da očvršćavanje počinje sa primarnim kristalima u  $\alpha$ -fazi, bogatom aluminijumom (zasićen čvrst Al rastvor), oko koga ostatak eutektičke tečnosti ovršćava u obliku finih dendrita [7]. Hemijski sastav  $Mg_5Al_8$  ( $\beta$ -faza) nastaje iz Al i Mg, dajući eutektičku mešavinu sa čvrstim rastvorom, koja odgovara koncentraciji. To znači da se u uslovima nestabilnog očvršćavanja (brzo hlađenje) u AlMg leguri, koja sadrži preko 5% Mg, očekuje eutektikum  $\alpha + Mg_5Al_8$ . Ovo je posebno izraženo u legurama sa 5 i 7% Mg, koje iskazuju bolji odnos čvrstoće prema plastičnosti [8]. Kvalitativna mikros-

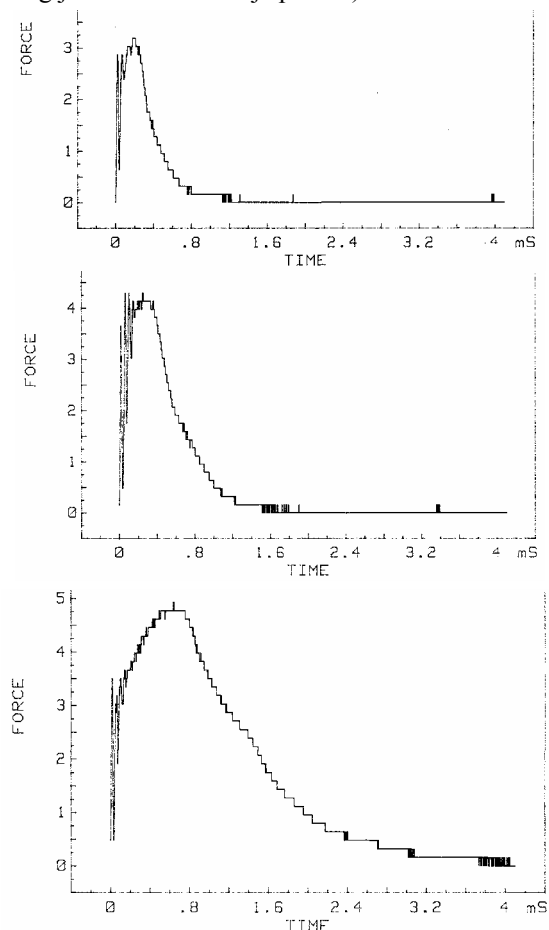
truktura analiza nije otkrila fazu koja bi mogla biti rezultat reakcije između matične legure i ojačavača.

## REZULTATI UDARNOG ISPITIVANJA I DISKUSIJA

Kombinovanjem 3 različite matrice (AlMg 3, AlMg 5, AlMg 7) sa tri različita sadržaja SiC ojačanja (2%, 5%, 10%) dobijeno je 9 različitih uzoraka za eksperimentalno ispitivanje. Šarpijevo instrumentirano udarno ispitivanje je izvedeno u skladu sa ASTM E23 na sobnoj temperaturi na klatnu SCHENCK TREBEL 150 J sa standardnom epruvetom (10x10x55 mm, V zarez 2/45°).

Tipični dijagrami sila - vreme, dobijeni ispitivanjem matičnih legura su dati na sl. 2. Sa povećanjem sadržaja Mg ukupna udarna energija povećava se sa 9,1-10,2 J za AlMg3, do 17,5-18,8 J za AlMg5, i 30,4-32,7 J za AlMg7, a energije širenja prsline raste brže od energije nastanka prsline (sl. 3). Ovo je u skladu sa objavljenim rezultatima [8] i prethodnim ispitivanjima [9].

Rezultati su dati u tab. 3, zajedno sa rezultatima udarnog ispitivanja za ispitivane MMC, prikazane na sl. 4. do 6. Uticaj sadržaja SiC ojačavača i Mg u matrici na ukupnu energiju udara može se pratiti na sl. 7, a na njene komponente (energiju nastanka i širenja prsline) na sl. 8.



Slika 2. Dijagrami sila (FORCE) – vreme (TIME) za matične legure: AlMg3 (gore levo), AlMg5 (gore desno), AlMg7 (dole)

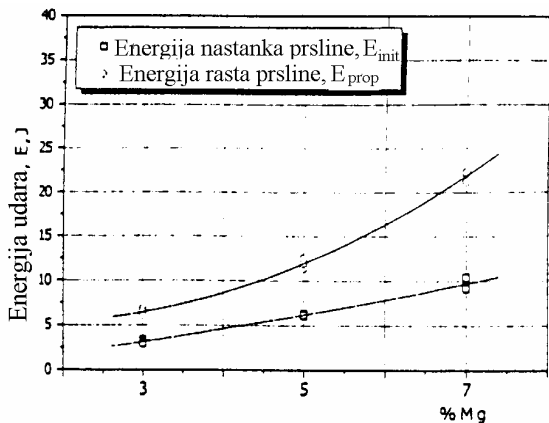
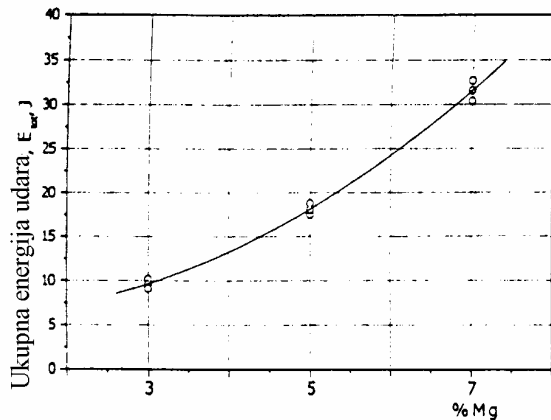
Ukupna energija MMC sa AlMg matricom smanjuje se sa porastom sadržaja SiC i smanjenjem sadržaja Mg. Najveća je ukupna energija za MMC AlMg7 sa 2% SiC (14,7-17,5 J), a najmanja za MMC AlMg3 sa 10% SiC (3,7-4,1 J). Smanje-

nje ukupne energije udara sa porastom sadržaja SiC je 40 do 50% u odnosu na odgovarajuću osnovnu matričnu leguru. Rasipanje rezultata (sl. 8) može se pripisati nepravilnoj raspodeli čestica ojačavača (sl. 1).

Tabela 3. Rezultati instrumentiranog udarnog ispitivanja metal matričnih kompozita

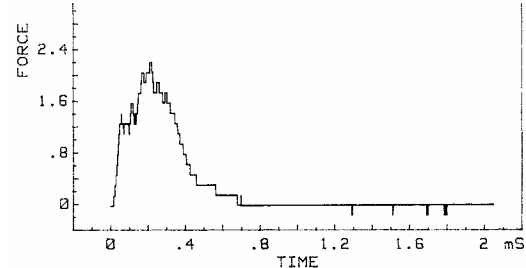
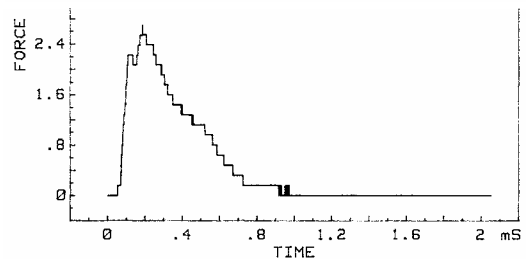
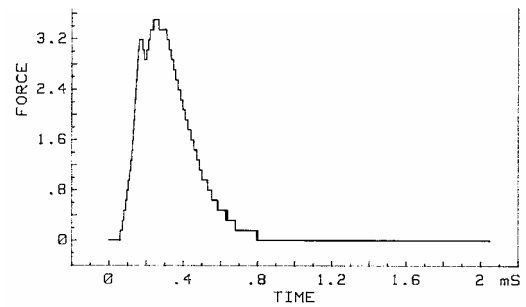
| Legura | Energija, J |     |     |       |     |      |       |      |      |
|--------|-------------|-----|-----|-------|-----|------|-------|------|------|
|        | AlMg3       |     |     | AlMg5 |     |      | AlMg7 |      |      |
| SiC, % | T           | CI  | CP  | T     | CI  | CP   | T     | CI   | CP   |
| 0      | 10,2        | 3,4 | 6,8 | 18,8  | 6,3 | 12,5 | 31,6  | 9,5  | 22,1 |
|        | 9,6         | 3,1 | 6,5 | 17,5  | 6,1 | 11,4 | 32,7  | 10,4 | 22,3 |
|        | 9,1         | 3,0 | 6,1 | 18,1  | 6,2 | 11,9 | 30,4  | 9,2  | 21,2 |
| 2      | 6,1         | 2,4 | 3,7 | 7,8   | 3,3 | 4,5  | 16,0  | 7,9  | 8,1  |
|        | 6,4         | 2,5 | 3,9 | 8,2   | 3,5 | 4,7  | 14,7  | 7,1  | 7,6  |
|        | 5,7         | 2,1 | 3,6 | 7,3   | 3,0 | 4,3  | 17,5  | 8,5  | 9,0  |
| 5      | 5,1         | 1,9 | 3,2 | 6,0   | 2,2 | 3,8  | 9,5   | 4,2  | 5,3  |
|        | 5,4         | 2,0 | 3,4 | 6,3   | 2,2 | 4,1  | 10,8  | 4,4  | 6,4  |
|        | 5,7         | 2,1 | 3,6 | 6,7   | 2,4 | 4,3  | 11,5  | 4,5  | 7,0  |
| 10     | 3,7         | 1,5 | 2,2 | 5,3   | 1,9 | 3,4  | 7,7   | 2,8  | 4,9  |
|        | 4,1         | 1,6 | 2,5 | 5,1   | 1,7 | 3,4  | 8,2   | 5,3  | 2,9  |
|        | 3,9         | 1,6 | 2,3 | 5,8   | 2,1 | 3,7  | 7,1   | 2,5  | 4,6  |

T - Ukupna energija; CI - Energija nastanka prsline; CP - Energija širenja prsline

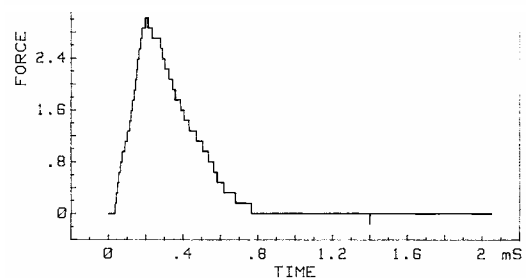
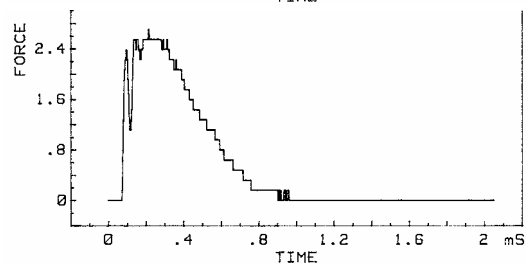
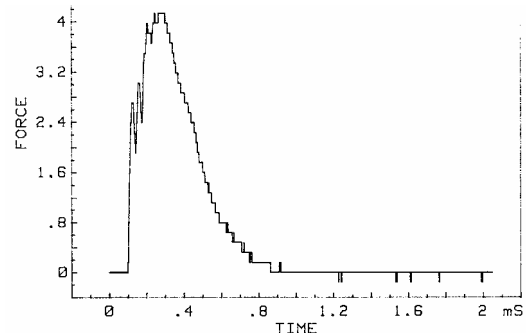


Slika 3. Energija udara matričnih legura: ukupna (gore), nastanka i širenja prsline (dole)

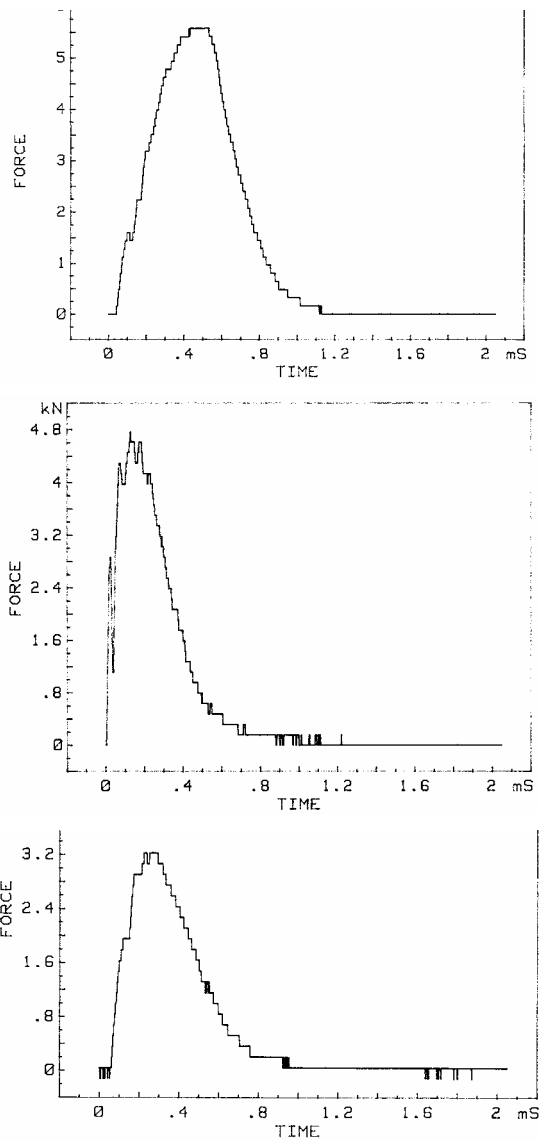
Dijagrami sila - vreme (sl. 4. do 6) za MMC su karakterisani različitim nivoima maksimalnih sila. U svim dijagramima brzo širenje prsline prethodilo je maksimalnoj sili, posle koje je brz rast prsline zaustavljen i usledio je plastični rast prsline. Zbog toga je tačka maksimalne sile izabrana za razdvajanje energije nastanka i širenja prsline (sl. 8).



Slika 4. Dijagrami sila (FORCE) – vreme (TIME) za MMC-AlMg3 sa SiC: 2% (gore), 5% (sredina) i 10% (dole)

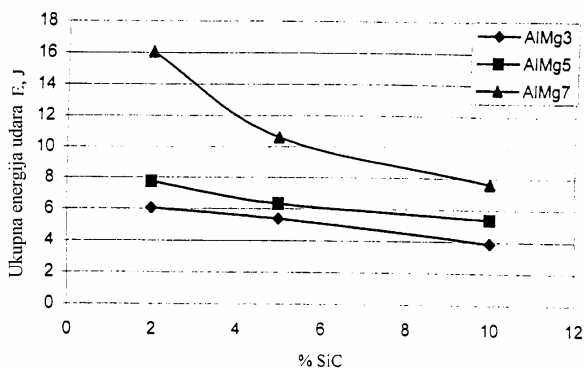


Slika 5. Dijagrami sila (FORCE) – vreme (TIME) za MMC-AlMg5 sa SiC: 2% (gore), 5% (sredina) 10% (dole)

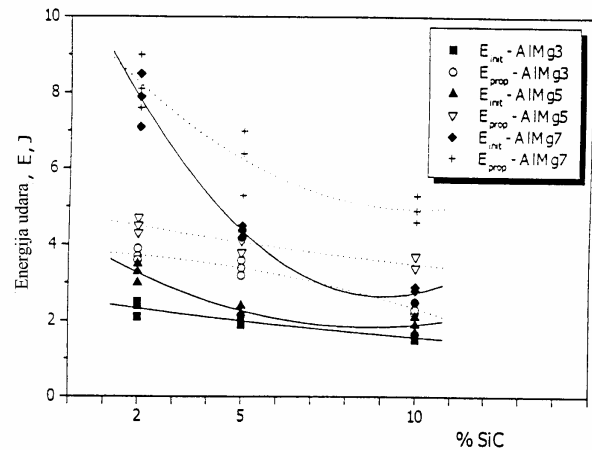


Slika 6. Dijagrami sila (FORCE) – vreme (TIME) za MMC-AlMg7 sa SiC: 2% (gore), 5% (sredina) i 10% (dole)

Dobijeni rezultati su u skladu sa podacima objavljenim u literaturi po kojima je udarna energija MMC manja od odgovarajuće vrednosti matricne legure [8,10,11].



Slika 7. Ukupna energija za različite MMC u zavisnosti od sadržaja ojačavača



Slika 8. Uticaj matricne legure i sadržaja SiC na energiju nastanka i širenja prsline

## ZAKLJUČAK

Povećanje sadržaja Mg u MMC matricnoj leguri je korisno za ukupnu udarnu energiju i njen plastični deo. Povećanje sadržaja SiC smanjuje udarne osobine MMC za sve ispitane uzorke, od 2 do 4 puta u poređenju sa udarnim osobinama osnovne legure. Ovaj uticaj se mora uzeti u obzir kada se MMC ili MgAl legura matrice i SiC ojačavača konstruišu za posebnu primenu.

## LITERATURA

1. Engineering Materials Handbook, Vol. 1, (1987). *Composites*, ASM International, pp. 27-29
2. Kelly, A. (1989). In Proceedings of the International Symposium on Advances in Cast Reinforced Metal Composites, Fishman, S.G. and Dhingra, A.K. (Des), ASM International, pp. 1-5.
3. Ogarević, V. V. (1992), pH Thesis, Department of Mechanical Engineering, University of Iowa, Iowa City, USA, pp. 2-4.
4. Zhu, Zh. (1992), A Literature Survey on Fabrication Methods of Cast Reinforced Metal Composites, pp., 93-97.
5. Brown, C. W., King, J. E., and Hicks, M. A. (1984). *Met. Sci.*, 18, , pp. 374-380.
6. Mortensen, A., Cornie, J. A., and Flamings, M. C. (1989). *Mater. Design*, 10, pp.68-76.
7. Малцев, М. В., Барсукова, Т. А., Борин, Ф. А. (1960), *Металлография цветных металлов и сплавов*, Москва
8. Aerospace Structural Metals Handbook, Vol. 3. (1991). Air Force Materials Laboratory, Mechanical Property Data Center, Belfour Stulen, Inc.
9. Jaković, D. (1996), Magistarska teza, TMF, Beograd
10. Sugeta, A., and Jono, M. (1995). In *Proceedings of 7th International Conference on Mechanical Behaviour of Materials*, Hague, pp. 229-231.
11. Jaković, D., Momčilović, D., Marković, S., Burzić, Z. (1995). Brzina rasta zamorne prsline kod Al-Sic metal matičnog kompozita, Naučni skup Savremeni materijali, Herceg Novi