

MODIFIKACIJA POVRŠINE ODLIVAKA LEGURA ALUMINIJUMA MLAZOM PLAZME

SURFACE MODIFICATION OF THE CASTINGS OF ALUMINIUM ALLOYS BY PLASMA FLOW

IGOR RADISAVLJEVIĆ, ZAGORKA AĆIMOVIĆ-PAVLOVIĆ
KARLO RAIĆ

Tehnološko – metalurški fakultet, Karnegijeva 4, 11000 Beograd

PRIMLJENO: 10. 01. 2006.

IZVOD

Korišćenje kvazistacionarnih mlazeva plazme za modifikaciju površine odlivaka aluminijum – silicijum legura omogućilo je znatno povećanje tvrdoće površine tretiranih uzoraka. Mikrotvrdoća se posle obrade mlazom plazme kreće od 750 do 883 HV u poređenju sa 90 do 130 HV u početnom stanju. Rendgenostrukturalna ispitivanja uzoraka u livenom stanju pre i posle obrade mlazom plazme ukazuju na pojavu novih faza, i to najmanje dve registrovane, kao i na preraspodelu već postojećih faza. Ove intermetalne faze doprinose povećanju tvrdoće površinskog sloja. Ova zapažanja ukazuju da mlaz plazme znatno modifikuje površinu uzoraka.

Cljučne reči: klipne legure, tretman mlazom plazme, kvalitet odlivka

ABSTRACT

Surface modification by the plasma flow of the aluminium – silicon alloys increases micro-hardness of the treated samples significantly. It was found that after plasma flow treatment micro-hardness was varied from 750 to 883 HV. However, before the treatment the micro-hardness was varied from 90 to 130 HV. X-ray diffraction pattern of the treated samples, shows formation of the new phases as well as rearrangement of the already existed phases. These findings indicate that plasma flow significantly modifies surface of the treated samples.

Key words: piston alloys, plasma flow treatment, quality castings

UVOD

Primena plazme danas predstavlja jednu od ključnih tehnologija za razvoj savremene industrijske proizvodnje, a najčešće je vezana za sečenje, zavarivanje, obradu površine (kaljenje, otvrdnjavanje i legiranje) i za stvaranje prevlaka. Oplemenjavanje površine, keramičkim, intermetalnim jedinjenjima ili kompozitima, primenom plazme dovodi do poboljšanja otpornosti na visokim temperaturama, otpornosti na habanje i otpornosti na koroziju.

U okviru ovog rada ispitivani su efekti dejstva plazme na odlivke od aluminijumskih klipnih legura, sa ciljem da se izvrši modifikacija površine klipova i da se poboljšaju eksploataciona svojstva ovih proizvoda [1-3].

Delovi dizel motora – cilindarski sklop i klip rade u specifičnim uslovima, u agresivnoj gasnoj i tačnoj sredini, na povišenim temperaturama. Neodgovarajući kvalitet klipa može da prouzrokuje njegovo narušavanje, pa čak i razaranje, što bi dovelo do zaribavanja klipnog sklopa i havarije motora. Zbog toga, kvalitet klipne legure i klipa mora da odgovara vrlo strogim normama i propisima svetskih proizvođača klipova, s obzirom da se radi o nestandardnim legurama.

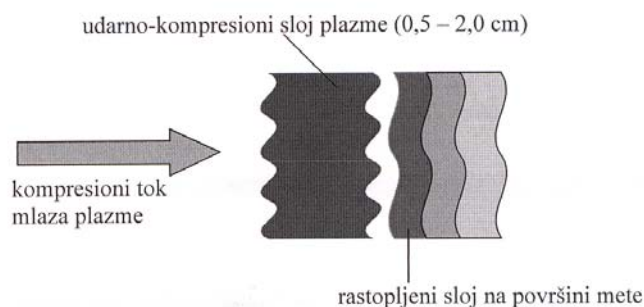
U radu su ispitivane klipne legure tipa $AlSi12CuMgNi$ i $AlSi18CuMgNi$, od kojih su liveni različiti tipovi klipova. Posebna pažnja posvećena je procesima obrade tečnog liva rafinacijom, degazacijom i modifikacijom različitim solima, u cilju poboljšanja strukturnih i mehaničkih svojstava. Za kvalitet klipova važan je sastav legure, a posebno sadržaj elemenata Si, Cu, Mg, Mn, Ni, Cr, Co koji pokazuju različit uticaj [4, 5]:

- silicijum povećava livkost,
- bakar smanjuje čvrstoću i otpornost na koroziju, tako da njegov sadržaj ne sme da pređe 3%,
- prisustvo nikla povećava vatrootpornost i smanjuje štetan uticaj železa,
- magnezijum povećava čvrstoću na sobnim temperaturama,
- mangan ima pozitivan uticaj na proces termičke obrade,
- železo stvara krtu Al_3Fe fazu, tako da je njegov sadržaj maksimalno 0,7%.

Prisustvo velikog broja legirajućih elemenata ima za posledicu stvaranje intermetalnih faza koje imaju negativan uticaj na svojstva legure.

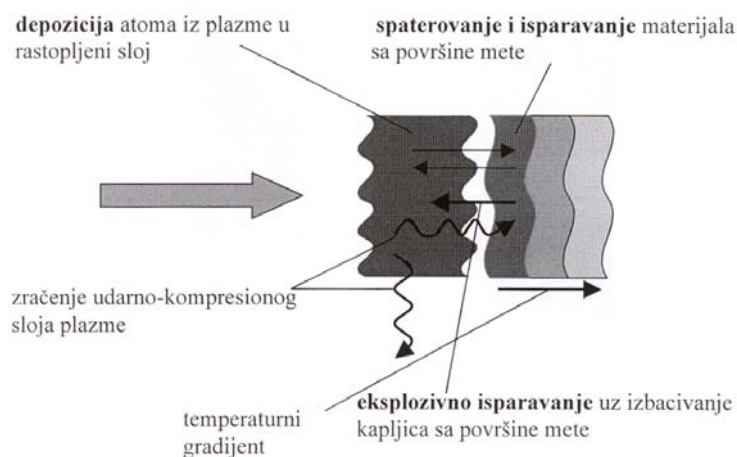
Korišćenje visokoenergetskih kompresionih mlazova plazme otvara brojne mogućnosti za modifikaciju osobina površine različitih materijala. U radu je korišćen impulsni izvor plazme, kod koga se formira visokoenergetska plazma. Interakcija takve plazme sa površinom je kratkotrajna (1 – 10 μs) dok je količina naelektrisanih čestica mala. Impulsni plazma ubrzavači, kod kojih je ostvaren elektronski prenos struje, imaju bitno ograničenje u pogledu povećanja parametara plazme usled velike erozije elektroda, koja se dešava pri povećanju struje pražnjenja. Kvizistacionarni plazma ubrzavači omogućavaju dobijanje visokoenergetske plazme (brzina plazme preko 100 km/s, elektronske koncentracije reda 10^{17} cm^{-3} , temperature reda nekoliko desetina hiljada kelvina), uz mogućnost da interakcija sa površinom traje nekoliko stotina mikrosekundi, uz održanje svih parametara plazme tokom tretmana. Zahvaljujući velikoj gustini energije i usmerenosti mlaza plazme dolazi do topljenja površinskog sloja tretiranog materijala, a zatim do brzog hlađenja i rekristalizacije u uslovima velikog pritiska mlaza plazme na površinu. Proces se usložnjava postojanjem gradijenta parametara plazme i indukovanog magnetnog polja na površini usled

zamrznutosti magnetnog polja u plazmi (slike 1 i 2). Na taj način omogućava se pojava novih faza u rekristalisanom sloju koje mogu imati svojstva veoma važna za praktičnu primenu, kao na primer veliko povećanje tvrdoće, povećanje otpornosti prema habanju i koroziji [6, 7].



Slika 1. Prikaz dejstva mlaza plazme na površinu [6]

Figure 1. Shematic view of effects of plasma flow on the surface [6]



Slika 2. Razmena energije i čestica između udarno-kompresionog talasa plazme i površine odlivka [6]

Figure 2. Exchange energy and particles between impact-compressive plasma wave of plasma and casting's surface [6]

U zavisnosti od energije depozicije i površinske interakcije plazme, razlikujemo dva tipa plazma procesa:

- plazma procese koji stvaraju nove slojeve deponovane na površini substrata,
- plazma procese koji površinski sloj samo modifikuju putem difuzije, penetracije ili hemijske reakcije.

Suština procesa obrade koncentrisanom energijom je da se snopom, najčešće, visoke energije izazovu promene na materijalima. Promene nastale na

ovakav način mogu biti mehaničke, termičke, metalografske i hemijske. Pored plazma obrade koriste se i sledeće metode za obradu koncentrisanom energijom:

- elektroerozija,
- laserska obrada,
- elektronski snop,
- jonski snop,
- vodeni mlaz,
- ultrazvuk.

Ove tehnike su u fazi stalnog razvoja, radi određivanja korelacije uticajnih parametara procesa obrade i kvaliteta modificiranih površina ili kvaliteta prevlaka dobijenih primenom aditiva kao što su SiC, α -Al₂O₃ i drugi.

EKSPERIMENT

Za ispitivanje su izabrane legure AlSi12CuMgNi i AlSi18CuMgNi namenjene za izradu klipova SUS motora (tabela I).

Tabela I - Hemijski sastav ispitivanih legura

Table I - Chemical composition of investigated alloys

Oznaka	Si (%)	Cu (%)	Mg (%)	Ni (%)	Fe (%)	Mn (%)	Zn (%)	Ti (%)
AlSi12CuMgNi	12,04	1,20	0,81	1,00	0,60	0,05	0,09	0,02
AlSi18CuMgNi	18,13	1,08	0,52	0,87	0,60	0,04	0,04	0,02

Topljenje legure vršeno je u elektrootpornoj nagibnoj peći, snage 75 KW, kapaciteta 120 kg/h. Legura je topljena u odnosu 74% nove legure (ingoti) prema 26% povratnog materijala.

Priprema legure vršena je procesima rafinacije, degazacije i modifikacije, u podgrevnim elektrootpornim jamskim pećima snage 75KW, zapremine 75 dm³. Za pripremu su korišćene sledeće soli:

- za rafinaciju, preparat TAL-2, proizvođač Exoterm - Kranj. TAL-2 je so na bazi kalijum i natrijum hlorida, sa malim procentom kriolita. Tačka topljenja ove soli je oko 700 °C. Masa dodate soli za rafinaciju je 1% od mase tečnog liva.
- za degazaciju, degazator Flussum T(42), proizvođač Foseco – Nemačka. Degazator je na bazi heksahloretana C₂Cl₆. Degazacija je izvršena na 730 °C, sa 0,5% degazatora u odnosu na masu tečnog liva.
- za modifikaciju, modifikator na bazi fosfora Flussum – fosforal, proizvođač Foseco – Nemačka. Ovaj modifikator je na bazi fosfor-pentahlorida, a sadržaj korisnog fosfora je oko 9%. Zbog visokog sadržaja hlora ovaj modifikator poseduje i delimičnu sposobnost degazacije rastopa. Modificiranje je izvršeno na 750 °C, sa 0,5% modifikatora u odnosu na masu tečnog liva.

Prilikom prebacivanja rastopa iz elektrootporne koritaste peći, u kojoj je izvršeno topljenje, u elektrootpornu jamsku peć za podgrevanje izvršeno je filtriranje liva. Korišćen je aluminijumsko – oksidni keramički filter $\Phi 180$ mm, broj pora po inču (VRI) 20, proizvođač Elektroporcelan – Arandelovac.

Livenje klipova izvršeno je metodom polukokilnog gravitacionog livenja na poluautomatskoj hidrauličnoj mašini za livenje. Temperatura livenja je 740°C .

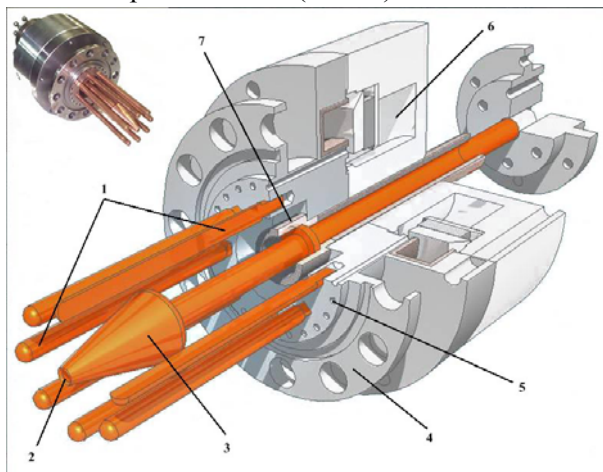
Za formiranje hranitelja u alatu korišćen je termoizolacioni materijal na bazi kalijumhidrosilikata sa dodatkom izolacionih vlakana – Vidasil, proizvođač RGI – Brđani kod G. Milanovca. Za filtriranje liva u alatu korišćene su filter mrežice za jednokratno filtriranje liva. Mrežice su izrađene od bezalkalnih staklenih vlakana sa aperturom, tkanih na otvore $1,2 \times 1,2$ mm, proizvođač Tehnotex – Sombor.

Nakon livenja izvršena je obrada dobijenih klipova i to:

- čišćenje,
- sečenje ulivnog sistema i hranitelja,
- peskiranje odlivka,
- mašinska obrada odlivka.

Termička obrada je primenjena kao završni proces obrade odlivaka i kao završni proces postizanja zahtevanog kvaliteta klipa, a sastojala se od kaljenja, starenja i stabilizacije. Režim termičke obrade bio je: zagrevanje na $500 \pm 5^{\circ}\text{C}$ u vremenu 4 časa, kaljenje u vodi na 40°C , starenje na $165 \pm 5^{\circ}\text{C}$ u vremenu 7 časova i stabilizacija na $225 \pm 5^{\circ}\text{C}$ u vremenu 2 časa.

Modifikacija površine klipova mlazom plazme izvršena je u cilju postizanja visokog kvaliteta klipova, produženja njihovog radnog veka a izvršena je na magnetoplazmenom kompresoru MPK (slika 3).



1 – anode; 2 – divertor; 3 – katoda; 4 – noseća prirubnica; 5 – otvori za upuštanje radnog gasa; 6 – elektromagnetni ventil; 7 – izolator
Slika 3. Magnetoplazmeni kompresor (MPK) [6]
Figure 3. Magnetic plasma compressor [6]

Konstantni parametri plazme bili su: noseći (radni) gas N_2 , pritisak 5 mbar, brzina plazme 40 km/s, napon kondenzatora 4 kV, kapacitet kondenzatora 800 μF . Promenljivi parametri plazme bili su: rastojanje od mete (5,0, 4,5, 4,0, 3,5 cm) i broj pucanja mlazom plazme (1,3 i 5).

REZULTATI I DISKUSIJA

U tabeli II prikazana su mehanička svojstva klipova, a na slikama 4 i 5 mikrostruktura legura u livenom i termički obrađenom stanju.

Tabela II - Mehanička svojstva klipova u livenom i termički obrađenom stanju

Table II - Mechanical properties of the cast and thermally treated pistons

oznaka	zatezna čvrstoća R_m (MPa, N/mm ²)		izduženje A_5 (%)	tvrdoća HB 5/250/30 ⁴⁴
AlCu12CuMgNi	1. epruveta	226,5	0,16 – van repera	104
	2. epruveta	208,8	0,16 – van repera	104
AlCu18CuMgNi	1. epruveta	169,8	van repera-nema izduženja	115
	2. epruveta	191,1	van repera-nema	118



Slika 4. Mikrostruktura klipne legure, liveno stanje, x 100

Figure 4. Microstructure of the cast piston alloys, x 100



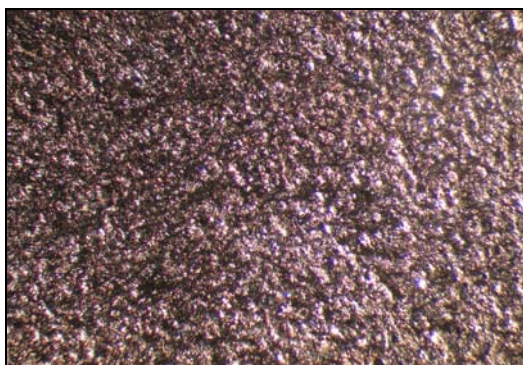
Slika 5. Mikrostruktura klipne legure, termički obrađeno stanje, x 500

Figure 5. Microstructure of the thermally treated piston alloys, x 500

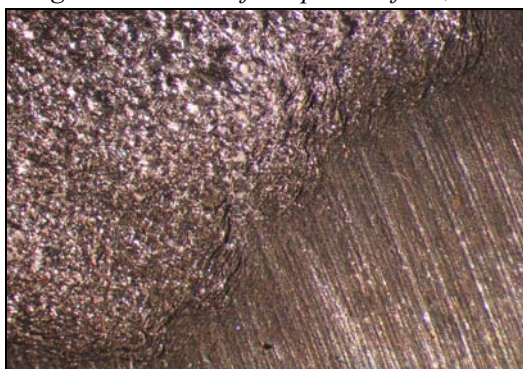
Struktura u livenom stanju sastoji se od višekomponentnog krupnoigličastog delimično grubozrnog eutektikuma, primarnih kristala Si i malo dendrita α -čvrstog rastvora. Nakon termičke obrade struktura je sastavljena od višekomponentnog finoigličastog eutektikuma i primarnih kristala Si.

Dobijena mehanička svojstva i strukture klipova su u skladu sa zahtevanim standardima za ovaj tip legura.

Na slikama 6 i 7 prikazana je površina klipova modificirana mlazom plazme.



Slika 6. Centar dejstva mlaza plazme, x 10
Figure 6. Center of the plasma flow, x 10

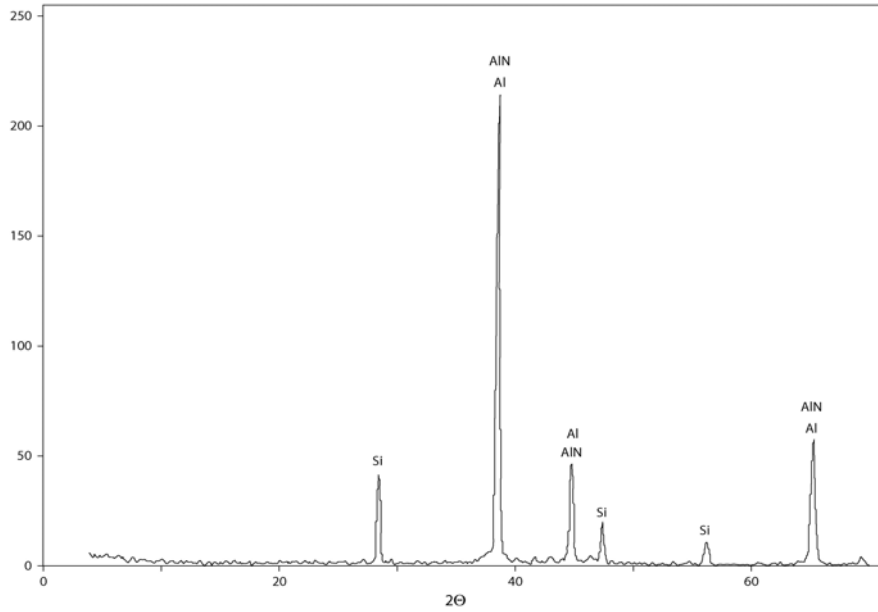


Slika 7. Granica dejstva mlaza plazme, x 10
Figure 7. Limits of the plasma stream (flow), x 10

Na slikama 8 i 9 prikazani su rendgenogrami ispitivanih uzoraka pre i nakon dejstva mlaza plazme.

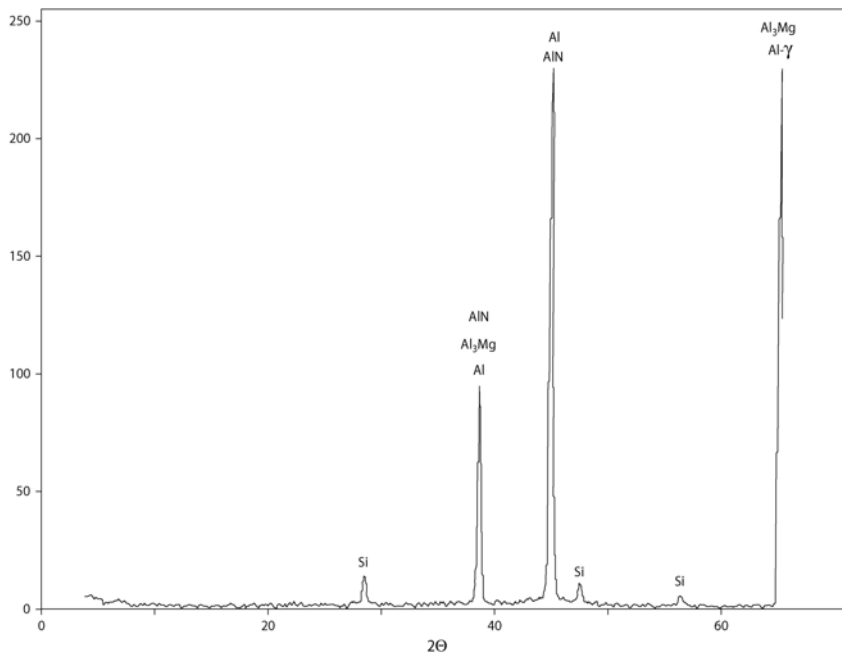
Uzorci su ispitani na difraktometru Philips PW1710, korišćenjem CuK_α zračenja sa grafitnim monohromatorom, brzinom skeniranja $0,25 \text{ min}^{-1}$ i vremenskom konstantom od 15.

U tabeli III prikazani su rezultati ispitivanja površinskog sloja modificiranog mlazom plazme.



Slika 8. Rendgenogram uzorka pre dejstva mlaza plazme, ispitivano na difraktometru PHILIPC PW-1710

Figure 8. X-ray diffraction of the sample before plasma flow, PHILIPC PW 1710



Slika 9. Rendgenogram uzorka nakon dejstva mlaza plazme
Figure 9. X-ray diffraction of the sample after plasma flow

Tabela III. Tvrdoća površinskog sloja pre i nakon dejstva mlaza plazme
Table III. Effect on the hardness of the surface layer before and after plasma flow

Stanje	Merno mesto		
liveno	HV _{0,2} = 90,6	HV _{0,2} = 85,7	HV _{0,2} = 106
plazma	HV _{0,2} = 244	HV _{0,2} = 157	HV _{0,2} = 883
termički obrađeno	HV _{0,2} = 90,6	HV _{0,2} = 148	HV _{0,2} = 138
plazma	HV _{0,2} = 341	HV _{0,2} = 362	HV _{0,2} = 765

Kod svih uzoraka u livenom i termički obrađenom stanju na površini je nakon dejstva plazme došlo do preraspodele i nastajanja novih faza. Iz rezultata ispitivanja (sl. 8 i 9) konstatuje se pojava novih faza, najmanje dve registrovane. Mlaz plazme je znatno modificirao površinu klipa što pokazuju rezultati merenja tvrdoće, čije vrednosti su i do 10 puta veće od tvrdoće izmerene kod uzoraka koji nisu tretirani mlazom plazme (tabela III). Na pojedinim mestima vrednost tvrdoće dostiže i do 883 HV, što potvrđuje pretpostavku da je došlo do obrazovanja intermetalnih faza. Daljim istraživanjima neophodno je izvršiti identifikaciju tih faza čime bi se omogućilo upravljanje i optimizacija procesa obrade površine mlazom plazme, kao i dobijanje unapred zadatih svojstva tretiranih površina.

ZAKLJUČAK

Prikazani rezultati ispitivanja modifikacije površine klipova mlazom plazme su početnog karaktera. Dalja istraživanja treba usmeriti na identifikaciju novoformiranih faza na površini uzorka. Njihova identifikacija bi omogućila upravljanje i optimizaciju procesa obrade površine mlazom plazme i dobijanje unapred zadatih osobina uzoraka. Takođe u cilju oplemenjivanja površine keramičkim intermetalnim jedinjenjima ili kompozitima, primenom plazme i aditiva (keramičkih prahova kao što su α -Al₂O₃, SiC i drugi), neophodno je konstruktivno rešenje odgovarajućeg plazmatrona.

LITERATURA

- [1] I. Radisavljević: „Modifikacija površine odlivaka aluminijum – silicijum legura mlazom plazme“, diplomski rad, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd, (2005)
- [2] Z. Aćimović – Pavlović: „Proizvodnja legura Al iz sekundarnih sirovina“, Tehnološko – metalurški fakultet, Beograd, (2005)
- [3] S. Tripković: „Izučavanje uticaja antimona i stroncijuma kao modifikatora na strukturu i osobine klipnih legura Al₁₂CuMgNi i Al₁₈CuMgNi“, doktorska disertacija, Tehnološko – metalurški fakultet, Beograd, (2001)
- [4] I. Belić: „Tehnologija obrade“, Viša tehnička mašinska škola, Beograd, (1997)
- [5] R. Cmih: „Thermal Cpraying I: Powder Consolidation – From Coating to Forming“, JOM, page 32 – 39, (August 1995)
- [6] I. Dojčinović: „Istraživanje magnetoplazmenog kompresora kompaktne geometrije“, magistarski rad, Fizički fakultet, Beograd, (2003)
- [7] C. Campath: Plasma Cpray Forming Metals, Intermetalics and Composites“, JOM, page 42 – 48, (July 1993)