

Mihailo Mrdak^{1*}, Marko Rakin²,
Đorđe Janačković², Darko Veljić¹, Darko Bajić³

¹Univerzitet u Beogradu, Inovacioni centar, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd, Srbija, ²Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet, Srbija, ³Univerzitet Crne Gore, Mašinski fakultet, Podgorica, Crna Gora

Naučni rad

ISSN 0351-9465, E-ISSN 2466-2585

UDC: 669.058.67: 676.017: 669.248

doi: 10.5937/zasmat2002110M



Zastita Materijala 61 (2)

110 - 115 (2020)

Karakterizacija NiAl slojeva deponovanih atmosferskim plazma sprejom (APS)

IZVOD

U ovom radu analizirane su mehaničke osobine i mikrostruktura slojeva prevlake Ni30Al deponovane atmosferskim plazma sprejom (APS). Za depoziciju prevlake primenjen je kompozitni prah Ni30tež.%Al proizveden mehaničkim legiranjem granulacije ispod - 180 μm. Mehaničke karakteristike prevlake analizirane su merenjem mikrotvrdoće metodom HV_{0.3} i čvrstoće spoja metodom na zatezanje. Za analizu mikrostrukture slojeva prevlake primenjena je metoda svetlosne i skening elektronske mikroskopije (SEM). Ispitivanja mikrotvrdoće su pokazala da prevlaka ima širok opseg izmerenih vrednosti koje ukazuju na višefaznu heterogenu lamelarnu mikrostrukturu prevlake, koja je potvrđena metalografskaim ispitivanjem slojeva. Višefazna lamelarna mikrostruktura se sastojala od polaznih čvrstih rastvora α-Al, γ-Ni, formiranih čvrstih rastvora β-NiAl i NiAl martenzita, intermetalnih jedinjenja γ-Ni₃Al i Ni₂Al₃ i oksidne faze γ-Al₂O₃ nastale oksidacijim istopljenih čestica Al. Na osnovu sprovedenih ispitivanja dala se ocena kvaliteta prevlake. Rezultati eksperimenta su pokazali da tehnološki postupak proizvodnje kompozitnih prahova bitno utiče na mehaničke karakteristike i strukturu slojeva prevlake.

Ključne reči: atmosferski plazma sprej (APS), mikrostruktura, Ni30tež.%Al, mikrotvrdoća, čvrstoća spoja.

1. UVOD

Plazma sprej procesi APS i VPS se najčešće koriste za depoziciju prahova čistih metala i kompozitnih prahova. Prednost ovih tehnoloških procesa je što čestice praha prolaze kroz više temperaturnih zona mlaza plazme koji omogućuje niz hemijskih reakcija i faznih transformacija u procesu deponovanja istopljenih čestica. Fazne transformacije koje se odvijaju u istopljenim česticama su u direktnoj vezi sa hemijskim sastavom i mikrostrukturom početnih prahova, granulacijom i plazma sprej parametrima [1-4]. Prevlake se formiraju tako što čestice istopljenog praha udaraju velikom brzinom o podlogu pri čemu se spljošnjavaju i brzo hlade do temperature podloge. Kod pravilne deformacije ohlađene čestice imaju oblik diska koji na poprečnom preseku ima oblik zakrivljenih lamela [1,2].

Neke čestice praha sa izuzetno visokom temperaturom u sudaru sa podlogom se na krajevima rasprskavaju i odvajeni krajevi očvršćavanjem ostaju u prevlaci kao talozi (precipitati). Takođe, poluistopljene i neistopljene čestice ostaju u prevlaci, koje sa precipitatima formiraju mikro i makro pore i zone sa nepravilno spljoštenim česticama u deponovanoj prevlaci. Zbog inkorporiranja (usisavanja) vazduha u mlaz plazme dolazi do hemijske reakcije hemijskih elemenata iz praha sa kiseonikom na površini istopljenih čestica pri čemu se formiraju oksidi u vidu tankih filmova koji se nalaze na granicama lamela i razdvajaju lamele u prevlaci [1,2].

Prevlake proizvedene od mehanički legiranog praha Ni/Al sa različitim udelom Al imaju široku primenu u mnogim industrijskim granama zbog međumetalnih jedinjenja koja su prisutna u strukturi prevlaka, a koja imaju dobra fizička i hemijska svojstva kao što su: visoka temperatura topljenja, niska gustina, visoka toplotna provodljivost i visoka otpornost na oksidaciju. Zbog koeficijenta toplotnog širenja i dobre čvrstoće spoja za podloge na bazi legura Ni, slojevi prevlake NiAl su se pokazali pouzdani za izradu termalnih barijera koje štite

*Autor za korespondenciju: Mihailo R. Mrdak

E-mail: drmrdakmihailo@gmail.com

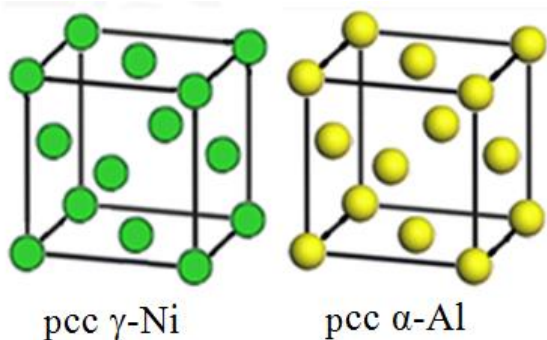
Rad primljen: 15. 12. 2019.

Rad prihvaćen: 05. 02. 2020.

Rad je dostupan na sajtu: www.idk.org.rs/casopis

gasne komore sagorevanja goriva i lopatice gasnih turbina od visokotemperaturne oksidacije i tople korozije [5, 6]. Ovaj tip prevlaka zbog egzotermne reakcije Ni i Al u plazmi daje znatno veće zatezne čvrstoće spoja sa podlogama u odnosu na prevlake proizvedene od legura NiAl. U radu koji se odnosi na prevlaku Ni20Al [7] prikazano je da se struktura slojeva prevlaka, zavisno od udela reakcije između Ni i Al, sastoji od elementarnog α -Ni, β -NiAl faze, precipitata γ '-Ni₃Al i oksidnih uključaka γ -Al₂O₃.

U mikrostrukturi prevlaka proizvedene od mehanički legiranog praha Ni30tež.Al su prisutni čvrsti rastvori γ -Ni i α -Al sa površinski centriranim kubnim rešetkama, koji su prisutni i u polaznim česticama praha, slika 1. Zbog visoke energije plazme u zonama gde su Al i Ni u bliskom kontaktu dolazi do difuzije i faznih transformacija pri čemu se formiraju intermetalne faze β -NiAl sa prostorno centriranom kubnom rešetkom, γ '-Ni₃Al sa površinski centriranom kubnom rešetkom i NiAl martenzit sa površinski centriranom tetragonalnom rešetkom [8,9]. Na slici 2 su prikazane kristalne rešetke β -NiAl i γ '-Ni₃Al faza. U Ni-Al dvofaznom dijagramu β -NiAl faza je stabilna u širokom opsegu ~ 32-58at.%Al na povišenim temperaturama i oko ~41-55at.%Al na sobnoj temperaturi [10]. Martenzitna transformacija zahteva sadržaj Al manji od ~ 37 at% i izlaganje istopljenog praha na temperaturama > ili ~ 1000 ° C i veliku brzinu hlađenja da potisne β - γ ' transformaciju [11 - 14]. Na slici 3 je prikazana fazna transformacija površinski centrirane kubne rešetke u površinski centriranu tetragonalnu rešetku NiAl martenzita.

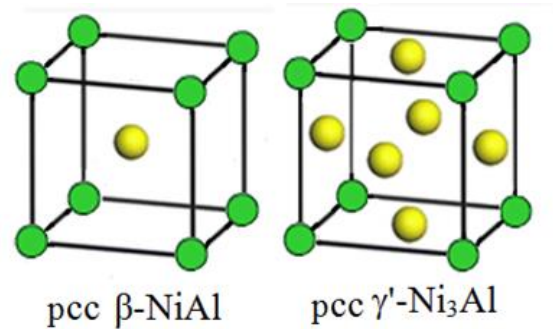


Slika 1. Površinski centrirane kubne rešetke γ -Ni i α -Al faza

Figure 1. Face - centered cubic lattice γ -Ni and α -Al phases

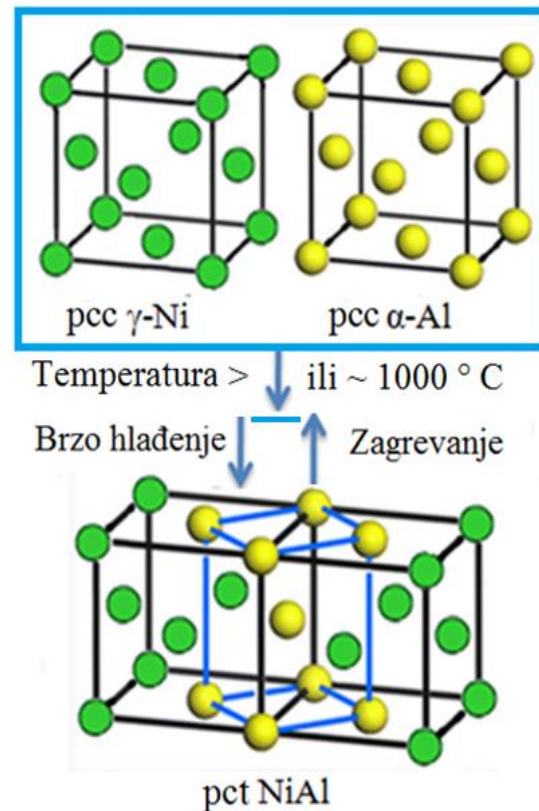
Prisutna faza γ '-Ni₃Al u mikrostrukturi prevlaka je produkt ravnotežnog razlaganja γ -Ni i β -NiAl faza u binarnom sistemu Ni-Al, što ukazuje da za neke regione ili oblasti hlađenje nije bilo toliko brzo da u potpunosti potisnu difuziju. U strukturi je zbog

oksidacije istopljenih čestica prisutna i oksidna γ -Al₂O₃ faza izdvojena na granicama lamela.



Slika 2. Prostorno centrirana kubna β -NiAl i površinski centrirana kubna rešetka γ '-Ni₃Al faza

Figure 2. Body - centered cubic β -NiAl and face - centered cubic lattice γ '-Ni₃Al phases



Slika 3. NiAl martenzit sa površinski centriranom tetragonalnom rešetkom

Figure 3. Martensitic NiAl with face-centered tetragonal lattice

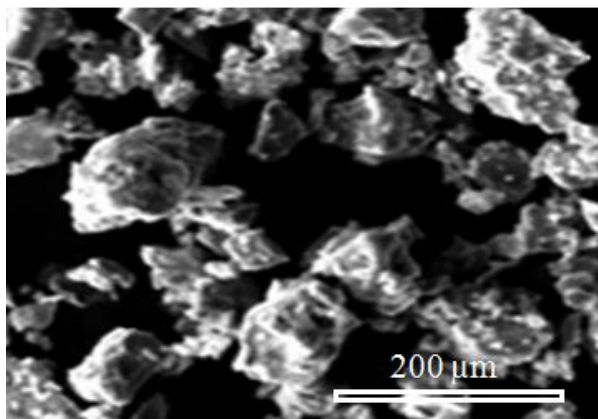
Cilj rada je bio da se proizvedu slojevi prevlaka Ni-30Al koji će imati primenu za zaštitu podloga od oksidacije i abrazije. Ovo je postignuto depozicijom mehanički legiranog praha Ni30tež.Al atmosferskim plazma sprej procesom (APS). Rad sumira rezul-

tate svih metoda ispitivanja koje se primenjuju za karakterizaciju slojeva. S tim u vezi sprovedeno je mehaničko ispitivanje slojeva prevlake merenjem čvrstoće spoja metodom zatezanja i mikrotvrdoće metodom $HV_{0.3}$. Mikrostruktura i homogenost slojeva prevlake ispitani su svetlosnom mikroskopijom (OM) i skening elektronskom mikroskopijom (SEM) na poprečnom preseku i na površini prevlake.

2. EXPERIMENT

2.1. Materijali i eksperimentalni detalji plazma sprej depozicije prevlake

Za deponovanje nikel-aluminid slojeva upotrebljen je kompozitni prah $Ni_{30}tež.\%Al$, proizveden mehaničkim legiranjem, koji je namenjen za atmosferski plazma sprej proces (APS). Mehaničko legiranje je visoko - energetski proces mlevenja u kojem su čestice praha podvrgnute višestrukom hladnom zavarivanju, lomljenju i ponovnom zavarivanju. Tokom mlevenja se javlja blagi porast temperature praha što dovodi do legiranja komponenti mešavine praha tokom procesa mlevenja. Pošto mehaničko legiranje može dovesti do stvaranja intermetalnih faza koja se često teško formiraju čak i na visokim temperaturama, plazma sprej prahovi pripremljeni visokom energijom mlevenja je odlična alternativa za izradu prevlaka od kompozitnih faza [1,15]. Izgled morfologije površine čestica primenjenog praha granulaciju ispod - 180 μm prikazan je na SEM mikrofotografiji, slika 4.



Slika 4. SEM: morfologija čestica praha $Ni_{30}tež.\%Al$

Figure 4. SEM: micrography of $Ni_{30}wt.\%Al$ powder particles

Slojevi prevlake su deponovani na podlogama od čelika X15Cr13 (EN10027) u termički neobrađenom stanju. Podloge na kojima su deponovani slojevi za ispitivanje mikrotvrdoće i procenu mikrostrukture slojeva su imale dimenzije $70 \times 20 \times 1,5$ mm. Procena adheziona / koheziona čvrstoće spoja slojeva prevlake sprovedena je na uzorcima $\varnothing 25 \times 50$ mm po standardu ASTM C633-1 [16.]. Ispitivanje

mikrotvrdoće deponovanih slojeva rađeno je metodom $HV_{0.3}$. Izvršeno je dvadeset očitavanja vrednosti mikrotvrdoće a u radu je prikazan raspon od minimalne do maksimalne vrednosti kao i srednja vrednost. Adheziiona čvrstoća spoja je ispitana na pet kompleta uzoraka sa brzinom zatezanja 1 mm/min. U radu je prikazana srednja vrednost adheziiona čvrstoće.

Analiza mikrostrukture slojeva i kvantitativna analiza srednjeg sadržaja pora u slojevima sprovedena je na optičkom mikroskopu (OM). Analiza udela mikro pora urađena je obradom 10 fotografija na uveličanju 200x. U radu je prikazan srednji sadržaj mikro pora. Takođe je izvršeno ispitivanje mikrostrukture slojeva i analiza morfologije površine prevlake na skening elektronskom mikroskopu (SEM).

Praha $Ni_{30}tež.\%Al$ deponovan je na atmosferskom pritisku sa plazma sprej sistemom Plasma-dyne. Za depoziciju praha koristio se plazma pištolj SG-100 koji se sastojao od katode tipa K 1083A-129, anode tipa A 2083-145 i gas injektora tipa GI 2083-130. Kao lučni gas korišćen je argon u kombinaciji sa helijumom kao plazma gas i snaga napajanja do 40 kW. Za karakterizaciju slojeva deponovane su prevlake sa debljinom od 0,25 mm do 0,30 mm. Parametri depozicije praha su prikazani u tabeli 1.

Tabela 1. Parametri depozicije praha $Ni_{30}tež.\%Al$

Table 1. Parameters deposition powder $Ni_{30}wt.\%Al$

Parametri depozicije	Vrednosti
Plazma struja, I (A)	800
Napon plazme, U (V)	39
Primarni plazma gas, Ar (l/min)	48
Sekundarni plazma gas, He (l/min)	32
Noseći gas praha, Ar (l/min)	7
Protok praha (g/min)	45
Odstojanje plazma pištolja, (mm)	90

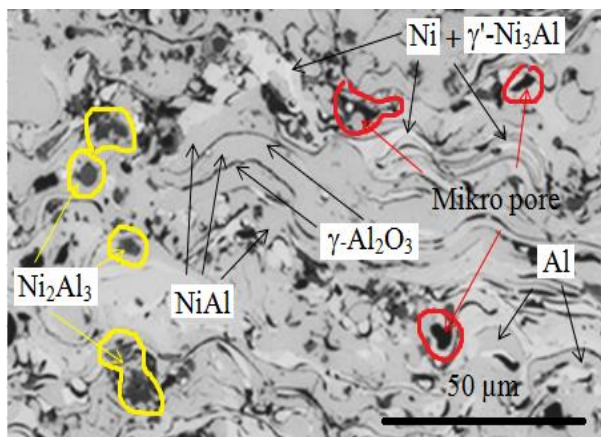
3. REZULTATI I DISKUSIJA

3.1. Rezultati ispitivanja prevlake

Merenja mikrotvrdoće metodom $HV_{0.3}$ su pokazala da deponovani slojevi prevlake na poprečnom preseku imaju širok opseg vrednosti koji se kretao u rasponu od 134 $HV_{0.3}$ do 298 $HV_{0.3}$. Prosečna vrednost mikrotvrdoće je bila 194 $HV_{0.3}$. Izmerene vrednosti ukazuju na heterogenost deponovanih slojeva što su potvrdila metalografska ispitivanja na

svetlosnom i skening elektronskom mikroskopu. Srednja vrednost zatezne čvrstoće spoja prevlake je bila 35,8 MPa. Dobra vrednost adhezione čvrstoće spoja proizilazi iz egzotermne reakcije Al i Ni koja se odvija za vreme topljenja praha i boravka tečnih kapljica u plazmi pre depozicije na metalne podloge. Mehanizam loma na pet ispitanih uzoraka je bio adhezioni na međupovršini podloga uzorka / prevlaka.

Ispitivanjem mikrostrukture deponovanih slojeva ustanovljeno je da se u osnovi prevlake mogu jasno videti prisutne faze i mikro pore bez nagrizanja. Na slici 5 i slici 6 mikrofotografije prikazuju mikrostrukturu APS-Ni30tež%Al prevlake na poprečnom preseku uzorka, koja je snimljena na optičkom mikroskopu (OM) i skening elektronskom mikroskopu (SEM). Struktura prevlake je lamelarna što je tipično za plazma sprej prevlake. Slojevi prevlake su deponovani kontinualno bez prisustva mikro i makro pukotina. U slojevima prevlake nisu prisutne neistopljene čestice praha. Tokom procesa depozicije praha u strukturi prevlake su se formirale heterogene lamele koje se razlikuju po boji, a koje se sastoje od mešovitih faza. U lamelarnoj strukturi prevlake se uočavaju svetla i siva polja po nijansama što je karakteristično za prisutne faze. Između svetlih, svetlo sivih i tamno sivih lamela jasno se uočavaju mikro pore crne boje. Između lamela osnovnih faza se jasno uočavaju podužne međulamele oksida u obliku tankog filma. Struktura prevlake Ni30Al se sastoji od lamela čvrstih rastvora γ -Ni i α -Al koji su prisutni u početnim česticama praha, zbog čega se pojavljuju i u deponovanim slojevima prevlake.

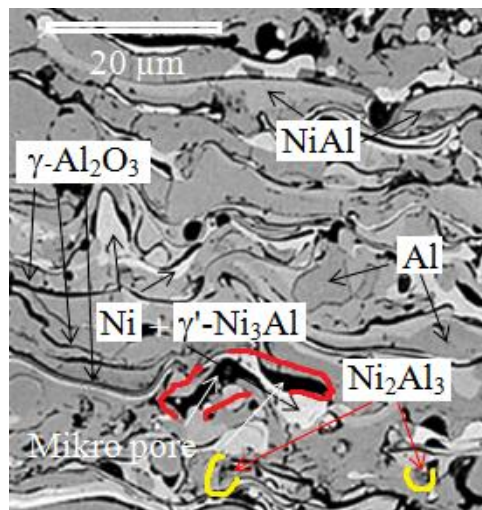


Slika 5. OM: Mikrostruktura Ni30Al prevlake

Figure 5. OM: Microstructure of Ni30Al coatings

Svetle lamele sadrže najviši udeo Ni a u tamnim lamelama najviši je udeo Al. Područja sa visokim sadržajem Ni odnose se na čvrsti rastvor γ -

Ni sa površinski centriranom kubnom rešetkom, dok oblasti sa velikim sadržajem Al se odnose na čvrsti rastvor α -Al takođe sa površinski centriranom kubnom rešetkom. U oblastima sa visokim sadržajem Ni u γ -Ni lamelama su prisutni taloži γ' -Ni₃Al faze sa površinski centriranom kubnom rešetkom koja se formira po reakciji $3\text{Ni} + \text{Al} \rightarrow \text{Ni}_3\text{Al}$ [4,10 - 14].

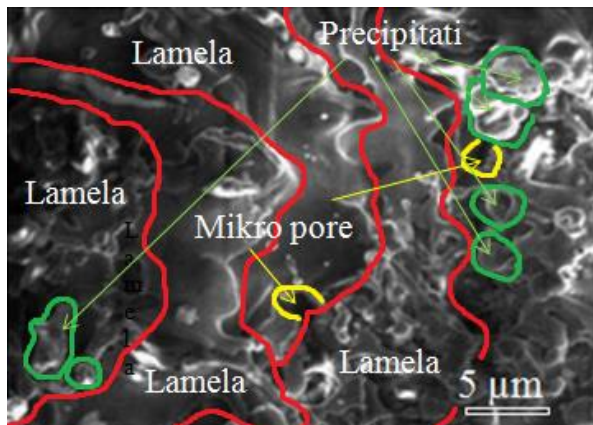


Slika 6. SEM: Mikrostruktura Ni30Al prevlake

Figure 6. SEM: Microstructure of Ni30Al coatings

U prevlaci su najprisutnije srednje sive lamele koje se sastoje od faza oba hemijska elementa Ni i Al. Najčešće se pojavljuje čvrsti rastvor β -NiAl sa površinski centriranom kubnom rešetkom i NiAl martenzitna faza sa površinski centriranom tetragonalnom rešetkom koja nastaje brzim hlađenjem (gašenjem) čvrstog rastvora NiAl sa temperature iznad 1000°C. Takođe se u strukturi prevlake lokalno uočava aluminid tipa Ni₂Al₃ zaokružen i označen strelicama, koji nastaje po reakciji $3\text{Al} + 2\text{Ni} \rightarrow \text{Ni}_2\text{Al}_3$ [4,10-14]. U mikrostrukturi prevlake se u međugraničnim regionima lamela osnove uočavaju uključci u vidu tankih filmova sa morfologijom zakrivljenih lamela. Tamno sivi uključci sadrže pretežno Al i O. Identifikovani oksidni uključci se često javljaju kod atmosferskog plazma spreja zbog inkorporiranja vazduha u mlaz plazme i oksidacije istopljenih čestica. Međulamelarni oksidi se sastoje od oksida tipa γ -Al₂O₃ koji nastaje po reakciji $4\text{Al} + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{Al}_2\text{O}_3$ [6]. Duž granica deponovanih čestica se jasno uočavaju među-lamelarne pore i pore nepravilnog oblika koje su prisutne po celom preseku prevlake sa niskim sadržajem od 1,8%, koje nisu uticale na kohezionu i athezionu čvrstoću. Kroz slojeve prevlake se ne uočavaju mikro i makro pukotine.

Na slici 7 je prikazana skening elektronska mikrofotografija (SEM) morfologije površine prevlake Ni₃₀Al. Analiza morfologije površine prevlake pokazuje potpuno topljenje čestica praha i njihovu pravilnu deformaciju sa preklapanjem jednih preko drugih na prethodno deponovane slojeve. Na mikrofotografiji su linijama označene ivice istopljenih i razlivenih čestice praha, koje su formirale diskove (splates) koje se na poprečnom preseku vide kao tanke lamele.



Slika 7. SEM: Morfologija površine Ni₃₀Al prevlake

Figure 7. SEM: Morphology surface of Ni₃₀Al coatings

Na površinama formiranih diskova i u ivičnoj zoni jasno se uočavaju prisutni fini precipitati veličine od 2 μm - 5 μm. Precipitati (taloz) su nepravilnog oblika koji su zaokruženi i označeni strelicama. Nastali su kao posledica sudara istopljenih čestica praha sa prethodno razlivenim i deponovanim česticama, pri čemu se na krajevima delovi istopljenih čestica odlamaju i očvršćavaju kao talog u prevlaci. Na površini prevlake se jasno vide otvorene mikro pore koje su na mikrofotografiji zaokružene i označene strelicama. Mikro pore su nepravilnog oblika veličine manje od 5 μm. Na površini prevlake nisu prisutne neistopljene čestice, što ukazuje na potpuno topljenje čestica praha koje su odlaganjem na podlogu ostvarile dobru adheziju i kohezionu vezu sa prethodno deponovanim slojevima.

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu je atmosferskim plazma sprejom procesom (APS) deponovan prah Ni₃₀tež.%Al proizveden mehaničkim legiranjem. Analizirane su mikrotvrdoća, čvrstoća spoja i mikrostruktura slojeva prevlake u deponovanom stanju, na osnovu čega se došlo do sledećih zaključaka.

Slojevi prevlake pokazali su raspon mikrotvrdoće od 134 HV_{0.3} - 298 HV_{0.3} zbog heterogenih

slojeva i srednju vrednost od 194 HV_{0.3}. Zatezna čvrstoća spoja prevlake od 35,8 MPa i adhezioni mehanizam loma ukazuje na dobru vezu deponovanih čestica praha za podlogu i na dobru međulamelarnu kohezionu čvrstoću. Vrednosti mehaničkih karakteristika prevlake bile su u korelaciji sa njihovim mikrostrukturama.

Mikrostruktura prevlake u deponovanom stanju je bila višefazna i heterogena. U mikrostrukturi prevlake su prisutne faze čvrstih rastvora γ-Ni, α-Al, β-NiAl, NiAl martenzit, intermetalna jedinjenja γ'-Ni₃Al, Ni₂Al₃ i međulamelarni oksidi γ-Al₂O₃. Mikrostruktura prevlake je bila u skladu sa tehnološkim procesom proizvodnje praha i sa plazma sprejom procesom depozicije praha. Deponovani slojevi prevlake su imali nizak udeo mikro pora od 1,8%.

APS - Ni₃₀tež.%Al imala je mehaničke i strukturne karakteristike koje joj omogućuju primenu za zaštitu metalnih podloga od oksidacije i abrazije.

Zahvalnica

"This work was supported by the Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia (Contract No. 451-03-68/2020-14/200287)".

5. LITERATURA

- [1] M.R.Mrdak (2016) Monografija: Plazma sprej procesi i svojstva zaštitnih prevlaka, ISBN 978-86-89775-00-0, COBISS.SR-ID 224313356.
- [2] M.R.Mrdak (2019) Characteristics of plasma spray coatings, Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier, 67(1), 115-129.
- [3] M Mrdak, Č.Lačnjevac, M.Rakin, N.Bajić (2018) Characterization of tantalum coatings deposited using vacuum plasma spray process, Zastita materijala, 59(4), 489-494.
- [4] M.Mrdak, Č.Lačnjevac, M.Rakin, (2018) Mechanical and structural features of Nb coating layers deposited on steel substrates in a vacuum chamber, Zastita materijala, 59(2), 167-172.
- [5] M.Mrdak, Č.Lačnjevac, M.Rakin, D.Veljić, (2019) Karakterizacija vakuum plazma sprej prevlake NiCoCrAlY otporne na visokotemperaturnu oksidaciju, Zastita materijala, 60 (4), 336-341.
- [6] Aleksandar A. Venci¹, Mihailo R. Mrdak (2019) Thermal cycling behaviour of plasma sprayed NiCr-Al-Co-Y₂O₃ bond coat in thermal barrier coating system. Thermal Science, .23(6B), .3985-3992.
- [7] M.Mrdak, (2013) Structure and properties of plasma sprayed coatings APS-Ni₂₀Al, Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier, 61(2), 7-22.

- [8] M.M.Javadi, H.Edris, M.Salehi (2011) Plasma Sprayed NiAl Intermetallic Coating Produced with Mechanically Alloyed Powder, *Journal of Materials Science & Technology*, 27(9), 816-820.
- [9] Q.Zhang, C.J.Li, X.R.Wang, Z.L.Ren, C.X.Li and G.J.Yang (2008) Formation of NiAl intermetallic compound by cold spraying of ball-milled Ni/Al alloy powder through postannealing treatment, *Journal Thermal Spray Technology*, 17(5-6), 715-720.
- [10] ASM Handbook (1992) Volume 3, Alloy Phase Diagrams, ASM International, Metals Park.
- [11] K.S.Kumar, S.K.Mannan, R.K.Viswanadham (1992) Fracture toughness of NiAl and NiAl-based composites, *Acta Metallurgica et Materialia*, 40, 1201-1222.
- [12] A.S.Murthy, E.Goo, (1993) TEM studies of microtwins in the L1₀ phase in 63.1 at.% NiAl, *Acta Metallurgica et Materialia*, 41(12), 3435-3443.
- [13] Y.Zhang, J.A.Haynes, B.A.Pint, I.G.Wright, W.Y, Lee (2003) Martensitic transformation in CVD NiAl and (Ni,Pt)Al bond coatings, *Surface and Coatings Technology*, 163-164, 19-24.
- [14] N.S.Stoloff, C.T.Liu and S.C.Deevi (2000) Emerging applications of intermetallics, *Intermetallics*, 8(9-11), 1313-1320.
- [15] C.Suryanarayana (2004) Mechanical Alloying and Milling, *Materials Science and Engineering*, p.466.
- [16] ASTM C633-1 (2008) Standard Test Method for Adhesion or Cohesion Strength of Thermal Spray Coatings, Reapproved.

ABSTRACT

CHARACTERIZATION OF NiAl LAYERS DEPOSITED BY ATMOSPHERIC PLASMA SPRAY (APS)

In this paper analyzed were the mechanical properties and microstructure of the Ni30Al coating layers deposited using atmospheric plasma spray (APS). For deposition of the coating applied was a composite Ni30wt.% Al powder, manufactured by mechanical alloying of granulation below - 180 μm. The coatings mechanical properties were analyzed by microhardness measuring with the HV_{0.3} method and the bond strength by tension method. For the analysis of the microstructure of the coating layers applied was the method of light and scanning electron microscopy (SEM). Microhardness tests showed that the coating has a wide range of measured values which indicate a heterogeneous multiphase lamellar microstructure of the coating, which was confirmed by metallographic examination of the layers. The multi-phase lamellar microstructure consisted of the initial solid α-Al, γ-Ni solutions, formed solid β-NiAl and NiAl martensite solutions, intermetallic compounds γ'-Ni₃Al and Ni₂Al₃ and the oxide γ-Al₂O₃ phase formed by oxidation of molten Al particles. Based on these tests given was an evaluation of the quality of the coating. The results of the experiment showed that the technological process of production of composite powders significantly affects the mechanical properties and structure of the coating layers.

Keywords: atmospheric plasma spray (APS), microstructure, Ni30wt.% Al, microhardness, bond strength.

Scientific paper

Paper received: 15. 12. 2019.

Paper accepted: 05. 02. 2020.

Paper is available on the website: www.idk.org.rs/journal