

Mihailo Mrdak*

Istraživački i razvojni Centar, IMTEL Komunikacije a.d.,
Beograd, Srbija

Naučni rad

ISSN 0351-9465, E-ISSN 2466-2585

UDC:620.193.94:669.715.018.8

doi: 10.5937/ZasMat1704509M



Zastita Materijala 58 (4)
509 - 514 (2017)

Karakterizacija plazma sprej bioinertne kompozitne prevlake Al_2O_3 25tež.%(ZrO_2 8% Y_2O_3)

IZVOD

Kompoziti $\text{Al}_2\text{O}_3\text{ZrO}_2$ i $\text{ZrO}_2\text{Al}_2\text{O}_3$ su inertni perspektivni biomaterijali za primenu na implantatima zbog biokompatibilnosti i mehaničkih svojstava koja kombinuju visoku čvrstoću savijanja sa visokom žilavosti. Keramika Al_2O_3 ima odličnu biokompatibilnost i otpornost na habanje. Međutim, ova keramika ima malu čvrstoću savijanja i žilavost.

U cilju povećanja mehaničkih karakteristika keramici Al_2O_3 se dodaje oksidna keramika ZrO_2 . Oksid ZrO_2 je inertan u fiziološkom okruženju i pokazuje veću otpornost na savijanje, veću žilavost loma i manji Joungov modul u poređenju sa čistim oksidom Al_2O_3 . Keramike Al_2O_3 i ZrO_2 se intezivno primenjuju za proizvodnju proteza kuka. Sa mešavinom oba materijala mogu se povećati mehanička čvrstoća. Takođe, mešavina keramičkih materijala Al_2O_3 i ZrO_2 ima bolju otpornost protiv neravnina i oštećenja pod opterećenjem površine tokom testa iščašenja u poređenju sa čistom keramikom Al_2O_3 .

Cilj ovog rada je da se analiziraju mehaničke osobine (miktotvrdoća $HV_{0.1}$ i čvrstoća spoja) i mikrostruktura kompozitne prevlake APS- $\text{Al}_2\text{O}_3(\text{ZrO}_2$ 8% $\text{Y}_2\text{O}_3)$ sa sadržajem od 25tež.% ZrO_2 8% Y_2O_3 na optičkom mikroskopu (OM) i skening elektronskom mikroskopu (SEM). Rezultati ispitivanja mehaničkih i strukturnih karakteristika pokazuju da se slojevi keramičke prevlake $\text{Al}_2\text{O}_3\text{ZrO}_2$ mogu uspešno primeniti u ortopediji na implantima.

Ključne reči: APS, Al_2O_3 25tež.%(ZrO_2 8% Y_2O_3), implanti, mikrostruktura, miktotvrdoća, čvrstoća spoja

1. UVOD

Zadnjih decenija metalni materijali, koji su se koristili u ortopediji, počeli su da pokazuju probleme odbacivanja od strane živih tkiva. Iz tog razloga javila se potreba za razvojem novih materijala koji će biti bioinertni i biokompatibilni sa tkivom da zamene povređene i oštećene delove ljudskog tela. Istraživanja su pokazala da su keramički materijali najoptimalnije rešenje ovoga problema jer najbolje imitiraju koštana tkiva, iako pokazuju nisku žilavost u poređenju sa metalnim materijalima.

Oksidne keramike Al_2O_3 i ZrO_2 se nekoliko decenija koriste kao zasebni materijali za proteze kuka. Keramički elementi za zglobove se sastoje od Al_2O_3 , koji je uveden u oblasti protetike kuka pre vi

še od 30 godina [1]. U slučaju postoperativnih uganuća ili delimičnog iščašenja keramičke čaure pokazuju tendenciju povećanja površinskih neravnina ili lomljenja oboda čaure. To dovodi do većeg habanja i popuštanja implanta, što dovodi do nove operacije. To je naročito izraženo u slučaju zajedničkog uparivanja delova implanata od materijala Al_2O_3 koji je veoma krt. Jedina mogućnost da se smanji krtost keramike Al_2O_3 je dodavanje i primena keramike ZrO_2 koja ima višu čvrstoću i žilavosti. Izbor ZrO_2 u odnosu na druge oksidne keramike izvršen je zbog dobrih mehaničkih karakteristika (visoke čvrstoće i žilavosti loma) i fizičkih karakteristika, kao što je toplotna provodljivost λ (1.7W/mK), koeficijent termičke ekspanzije α (9×10^{-6} /K) i visoka temperatura topljenja 2710 °C [2-5]. Važna karakteristika čistog ZrO_2 je polimorfnost. Na atmosferskom pritisku postoje tri kristalografske faze: monoklinična (m), tetragonalna (t) i kubna (k). U cilju smanjenja efekta tetragonalne transformacije (t) u krtu monokliničnu (m) fazu, čistom oksidu ZrO_2 dodava se oksid Y_2O_3 kao stabilizator, koji u potpunosti stabilizuje kristalnu

*Autor za korespondenciju: Mihailo Mrdak

E-mail: drmrdakmihailo@gmail.com

Rad primljen: 30. 07. 2017.

Rad prihvacen: 14. 09. 2017.

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

strukturu ZrO_2 [2-4]. Iz tog razloga oksidna keramika od čistog ZrO_2 ne može se koristiti u proizvodnji delova implanata bez dodavanja oksida Y_2O_3 kao stabilizatora [2-4]. Danas se spojnice kuka zbog toga prave od žilavije kompozitne keramike $Al_2O_3ZrO_2$ i $ZrO_2Al_2O_3$ koje su kombinacija oksida Al_2O_3 i ZrO_2 .

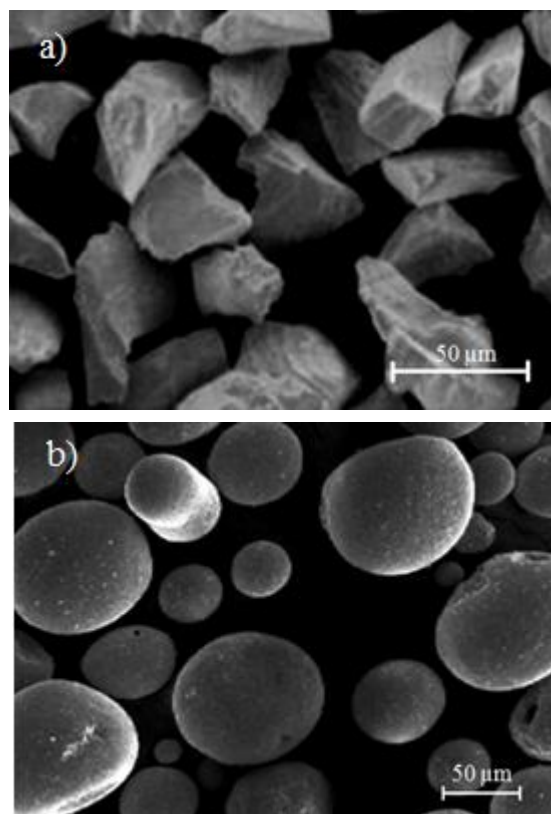
Polikristalni oksid $ZrO_2Y_2O_3$ sa tetragonalnom kristalnom rešetkom je postao pouzdana alternativa oksidu Al_2O_3 kao biomaterijala u ortopediji implantata [6]. Sposobnost polikristala $ZrO_2Y_2O_3$ da se transformiše iz tetragonalne kristalne strukture na višu zapreminsku monoklinu strukturu ometa širenje pukotine i na taj način daje materijalu čvrstoću i žilavost [6]. Kompozitna prevlaka $Al_2O_3ZrO_28\%Y_2O_3$ se sastoji od dve glavne faze $\gamma-Al_2O_3$ i ZrO_2 , a u manjem sadržaju od $\alpha-Al_2O_3$ i t- Y_2O_3 faze. Prisustvo $\gamma-Al_2O_3$ faze je posledica fazne transformacije tvrde faze $\alpha-Al_2O_3$ u meku $\gamma-Al_2O_3$ tokom plazma sprej depozicije praha [7]. Prisutna $\alpha-Al_2O_3$ faza u sistemu prevlake je pogodna za dobro tribološko ponašanje prevlake gde tvrdoća igra važnu ulogu u otpornosti na habanje. Prisustvo netransformisane tetragonalne faze t- ZrO_2 u sistemu prevlake $Al_2O_3-ZrO_28\%Y_2O_3$ je uzrokovano brzim pothlađenjem i gašenjem istopljenih čestica praha sa visoke temperature [8]. Tvrdoća Al_2O_3 u sistemu prevlake je niža od tvrdoće polaznog praha zbog transformacije polazne $\alpha-Al_2O_3$ faze u mekšu $\gamma-Al_2O_3$ fazu tokom plazma sprej prskanja praha i zbog mikro pora. Ovaj kompozit je mnogo otporniji na oštećenja tokom uganuća odnosno iščašenja u poređenju sa konvencionalnom Al_2O_3 keramikom zglobova. Dva materijala $Al_2O_3ZrO_2$ i $ZrO_2Al_2O_3$ pokazali su se kao perspektivni materijali za primenu kao biomaterijali u ortopediji. Osnovni razlog je odlična biokompatibilnost i dobra mehanička svojstva koja kombinuju visoku čvrstoću savijanja sa visokom žilavosti, što je poželjno za implante. Kombinacijom i mešanjem ovih materijala povećava se mehanička čvrstoća, sa odličnom otpornošću na habanje i oštećenja [1]. U poređenju sa konvencionalnim uparivanjem keramičke ili metalne glave sa polietilenskom čašom, uparivanje keramike na keramičku spojnicu odlikuje odlično ponašanje na habanje [1].

Cilj rada je bio da se deponuju slojevi kompozitne prevlake Al_2O_3 sa 25tež.%($ZrO_28\%Y_2O_3$) koji će svojim kvalitetom naći primenu u procesu izrade delova implanata. Prevlaka je deponovana atmosferskim plazma sprej postupkom APS bez veznog sloja sa plazma strujom od 700A i 900A. Izvršena su mehanička ispitivanja i analize strukture slojeva da se utvrdi da li keramički slojevi sadrže defekte kao što su mikro pukotine i šupljine koje presudno utiču na mehaničke karakteristike i degradaciju prevlake u eksploataciji.

2. EKSPERIMENTALNI DEO

2.1. Materijali i eksperimentalni detelji plazma sprej depozicije prevlaka

Za depoziciju prevlake upotrebljen je prah Al_2O_3 proizveden tehnikom topljenja i mlevenja odlivenih blokova i prah $ZrO_28\%Y_2O_3$ proizveden aglomeracijom i HOSP™ tehnikom pretapanja aglomerisanih čestica [9, 10]. Prach je pre depozicije pomešan u odnosu 75tež.% Al_2O_3 i 25tež.% $ZrO_28Y_2O_3$. Na slici 1, SEM mikrofotografija prikazuje pod a) morfologiju čestice praha Al_2O_3 nepravilnog oblika oštih ivica i b) morfologiju čestica praha $ZrO_28Y_2O_3$ sfernog oblika.



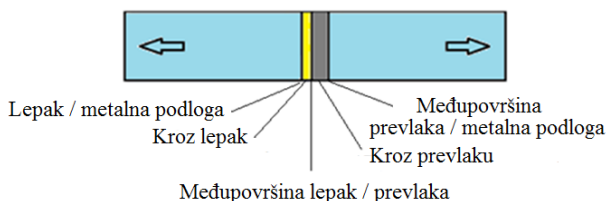
Slika 1. SEM: morfolologija: a) čestice praha Al_2O_3 ; b) čestice praha $ZrO_28\%Y_2O_3$

Figure 1. SEM: morphology: a) powder particles Al_2O_3 ; b) powder particles $ZrO_28\%Y_2O_3$

Ispitivanje mehaničkih karakteristika prevlaka je sprovedeno prema standardu [11]. Osnovni materijal na kome su deponovane prevlake za ispitivanje mikrotvrdoće slojeva i analizu mikrostrukture bio je od čelika Č.4171 (X15Cr13 EN10027) dimenzija 70x20x1,5mm, a za ispitivanje adhezije čvrstoće spoja dimenzija $\varnothing 25 \times 50$ mm. Ispitivanje mikrotvrdoće je rađeno metodom $HV_{0.1}$. Merenje mikrotvrdoće je sprovedeno očitavanjem pet vrednosti u sredini i na krajevima uzoraka duž lamela, a u radu su prikazane min. i max. vrednosti. Ispitivanje čvrstoće spoja je metoda ispitivanja na zatezanje.

Ispitivanje se radi na hidrauličnoj kidalici na sobnoj temperaturi pri maloj i konstantnoj brzini zatezanja. Mala brzina zatezanja i postepeno opterećenje se koristi zbog naponskog stanja slojeva u prevlaci i na međupovršini podloga/prevlaka. Opterećenje na zatezanje je normalno na međupovršinu podloga/prevlaka. U toku ispitivanja opterećenje raste od nule do nivoa opterećenja koje izaziva lom.

Zavisno od kvaliteta prevlake (hrapavosti površine prevlake, udela i veličine pora u prevlaci, naponskog stanja slojeva prevlake) i kvaliteta spoja prevlake sa površinom podloge, prelom epruvete može da se dogodi na više nepoželjnih mesta kako je prikazano na slici 2 [12-14]. Čvrstoća spoja prevlaka $\bar{\sigma} = F/A$ (MPa) izračunava se kao maksimalno opterećenje (F_{\max}) na uzorku podeljeno na površinu (A) preloma prevlake. Površina preloma uzoraka (A) izračunava se na sledeći način $A = 3.14 \times R^2/4$, gde je R izmeriti prečnik preloma [11].



Slika 2. Moguća mesta nastanka preloma epruvete

Figure 2. Possible places of fracture of the tubes

Za ispitivanje čvrstoće spoja upotrebljeno je pet epruveta, a ispitivanje je sprovedeno na sobnoj temperaturi sa brzinom zatezanja 1cm/1min. U radu su prikazane srednje vrednosti čvrstoće spoja. Morfologija loma prevlake ispitana je SEM metodom. Mikrostruktura slojeva i sadržaj mikro pora u slojevima je analiziran na optičkom mikroskopu (OM) obradom pet mikrofotografija (*Image analysis*). U radu je prikazan srednji sadržaj mikro pora u slojevima.

Postupak depozicije slojeva prevlake Al_2O_3 25tež.%(ZrO_2 8% Y_2O_3) sproveden je na atmo-

sferskom pritisku, a sastoji se od pripreme površine metalne podloge i procesa depozicije praha na pripremljenim površinama metalne podloge. Priprema površine metalne podloge je jedan od najvažnijih faktora koji utiče na kvalitet spoja između površine metalne podloge i deponovane prevlake. Priprema površine podloge sprovodi se u cilju čišćenja oksidnog sloja sa površine metalne podloge u cilju povećanja površine između metalne podloge i vezne prevlake čime se uvećava sila vezivanja. Da bi se obezbedili navedeni faktori, površine metalnih podloga se čiste hemijskim i abrazivnim sredstvom. Hemijsko čišćenje površine metalnih podloga radi se trihloretilenom, a abraziono plemenitim belim elektrokorundom PKB-S granulacije 0,7-1,5mm. Na slici 3 je prikazana oprema firme Plasmadyne, koja se koristi za depoziciju plazma prevlaka na atmosferskom pritisku. Procesna oprema se sastoji od: prostora za snabdevanje strujom, vodom i gasovima; kabine za zaštitu od buke tipa TB - KA; uređaja za manipulaciju, robot STAR - REIS - V sa obrtnim stolom PD10 koji se nalazi u kabini; komandnog pulta 3600; izvora za napajanje strujom 2x40 kW tip PS61S; plazma pištolja tip SG-100; dodavača praha model 1251; visokofrekventnog startera za paljenje luka i zatvorenog sistema vode za hlađenje plazma pištolja sa kontrolom pritiska u instalaciji [7]. Parametri procesa depozicije se tako podešavaju da se za konkretan prah postigne optimalni efekat topljenja praha u plazmi i transport istopljenih čestica praha sa optimalnim brzinama do površine metalne podloge. Najvažniji parametri koji se moraju kontrolisati su snaga plazme, protok gasova i brzina dodavanja praha u plazmi. Za depoziciju praha primenjen je plazma pištolj SG-100 atmosferskog plazma sprej sistema firme Plasmadyne. Plazma pištolj se sastojao od katode K 1083A-129, anode A 1083-165 i gas injektora GI 1083A-113. Depozicija praha izvedena je sa mešavinom gasova Ar i He i snagom napajanja do 40 kW.



Slika 3. APS oprema za depoziciju praha plazmom na atmosferskom pritisku

Figure 3. APS equipment for plasma powder deposition at atmospheric pressure

Urađene su dve grupe uzoraka sa dve vrednosti plazma struje. Prevlake su deponovane sa debljinama od 0,12-0,15 mm. Parametari depozicije praha su prikazani u tabeli 1.

Tabela 1. Parametri depozicije praha Al_2O_3 25tež.%(ZrO_2 8% Y_2O_3)

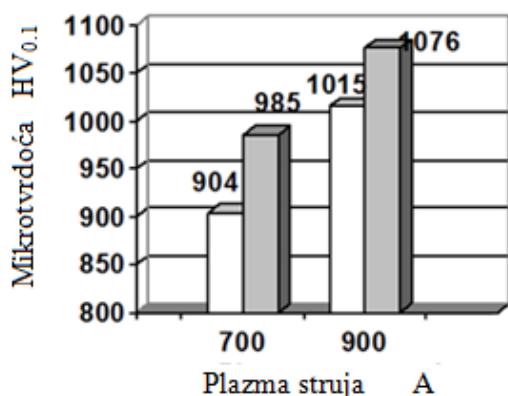
Tabla 1. Parameters deposition powder Al_2O_3 25tež.%(ZrO_2 8% Y_2O_3)

Parametri depozicije	Vrednosti
Plazma struja, I (A)	700/900
Napon luka, U (V)	38
Protok primarnog gasa, Ar (l/min)	47
Protok sekundarnog gasa, He (l/min)	32
Protok nosećeg gasa praha, Ar (l/min)	6
Brzina dotura praha, (g/min)	40
Odstojanje (mm)	110

3. REZULTATI I DISKUSIJA

3.1. Rezultati ispitivanja prevlaka

Na slici 4 su prikazane vrednosti mikrotvrdoće slojeva prevlaka Al_2O_3 25tež.%(ZrO_2 8% Y_2O_3), koje su bile u direktnoj vezi sa primenjenom jačinom plazma struje. Slojevi deponovani sa 700A pokazuju niže vrednosti mikrotvrdoće od 904 - 985HV_{0.1} sa rasponom od 81HV_{0.1}, dok slojevi deponovani sa 900A pokazuju više vrednosti mikrotvrdoće od 1015 - 1076HV_{0.1} i niži raspon mikrotvrdoće od 61HV_{0.1}.

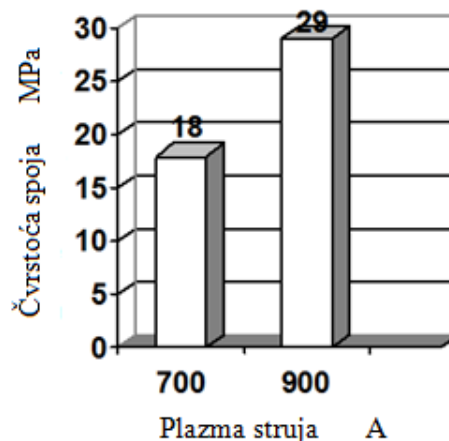


Slika 4. Mikrotvrdoća Al_2O_3 25tež.%(ZrO_2 8% Y_2O_3) slojeva

Figure 4. Microhardness Al_2O_3 25tež.%(ZrO_2 8% Y_2O_3) layers

Mikrotvrdoće i raspodele mikrotvrdoća slojeva bile su u direktnoj vezi sa sadržajem mikro pora, što je potvrđeno analizom slika pri određivanju ukupnog sadržaja pora u deponovanim slojevima. Slojevi deponovane sa plazma strujom od 900A

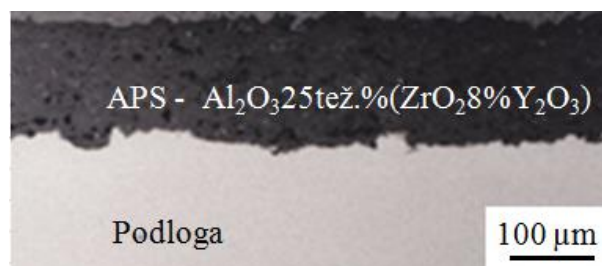
imaju veću čvrstoću spoja čija vrednost iznosi 29MPa, a slojevi deponovani sa plazma strujom od 700A imaju čvrstoću spoja 18MPa, kako je prikazano na slici 5. Tokom sprovođenja testova uočeno je da je za sve uzorke mehanizam razaranja bio atehzioni na međupovršini podloga/prevlaka. To ukazuje na dobru kohezionu međulamelarnu čvrstoću slojeva prevlaka.



Slika 5. Čvrstoća spoja Al_2O_3 25tež.%(ZrO_2 8% Y_2O_3) slojeva

Figure 5. The strength of the joint Al_2O_3 25tež.%(ZrO_2 8% Y_2O_3) layer

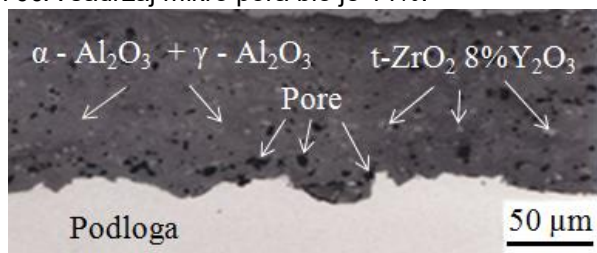
Na slikama 6 i 7 su prikazane mikrostrukture slojeva prevlaka Al_2O_3 25tež.%(ZrO_2 8% Y_2O_3) koji su pokazali najbolje mehaničke karakteristike, a koji su deponovani sa plazma strujom 900A. Granice između podloga i deponovanih slojeva prevlaka su izuzetno čiste, što potvrđuje da je izvršena dobra priprema površine podloga. Na granici je ostvarena dobra mehanička veza sidrenjem istopljenih čestica praha za podlogu, što je u saglasnosti sa izmerenim vrednostima čvrstoće spoja. Analiza spoja deponovanih slojeva sa podlogama je pokazala da su prevlake po celom preseku deponovane ravnomerno bez prekida. U slojevima prevlaka nisu prisutne nestopljene čestice i mikro pukotine.



Slika 6. Mikrostruktura Al_2O_3 25tež.%(ZrO_2 8% Y_2O_3) prevlake deponovane sa 900° (100μm)

Figure 6. Microstructure Al_2O_3 25tež.%(ZrO_2 8% Y_2O_3) of the coating deposited with 900° (100μm)

Analiza mikrofotografija je pokazala da je ukupan sadržaj mikro pora u slojevima deponovanim sa 900A bio 9%, a u slojevima deponovanim sa 700A sadržaj mikro pora bio je 14%.

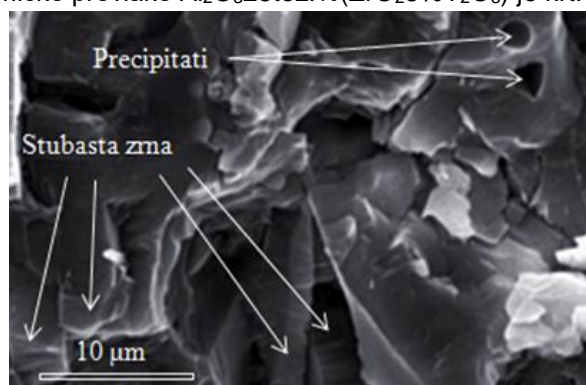


Slika 7. Mikrostruktura Al_2O_3 25tež.%(ZrO_2 8% Y_2O_3) prevlake deponovane sa 900° (50 μm)

Figure 7. Microstructure Al_2O_3 25tež.%(ZrO_2 8% Y_2O_3) of the coating deposited with 900° (50 μm)

U prevlakama mikropore su nepravilnog oblika crne boje. Struktura slojeva prevlake je lamelarna. Osnova prevlake se sastoji od tamne faze osnovnog oksida Al_2O_3 . U strukturi su prisutne dve modifikacije $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ i $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$. Faza $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ je uzrokovana transformacijom $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3 \rightarrow \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ ispod 1200°C tokom hlađenja istopljenih čestica. $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ faza u prevlaci je pogodna za dobro tribološko ponašanje prevlake, dok je mekša $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ faza pogodna za dobro vezivanje lamela i veću koheziju čvrstoću prevlake [7]. Kroz slojeve Al_2O_3 jasno se uočavaju svetle lamele cirkonijumdioksida ZrO_2 stabilizovanog sa 8% Y_2O_3 . U lamelama sistema ZrO_2 8% Y_2O_3 prisutna je tetragonalna faza t- ZrO_2 zbog rapidnog pothlađenja, odnosno gašenja istopljenih čestica praša ZrO_2 8% Y_2O_3 sa visoke temperature do temperature deponovane prevlake [9].

Na slici 8, SEM mikrofotografija prikazuje morfologiju loma prevlake Al_2O_3 25tež.% (ZrO_2 8% Y_2O_3) deponovane sa plazma strujom 900A. Prelom keramičke prevlake Al_2O_3 25tež.%(ZrO_2 8% Y_2O_3) je krt.



Slika 8. (SEM) morfologija loma Al_2O_3 25tež.% (ZrO_2 8% Y_2O_3) prevlake deponovane sa 900°

Figure 8. (SEM) fracture morphology Al_2O_3 25tež.% (ZrO_2 8% Y_2O_3) coating deposited 900°

Na površini loma se vide krti prelomi lamela oštih ivica i među lamelarni kontakti. Na površinama preloma lamela jasno se vide stubasta zrna

koja su nastala brzim i usmerenim očvršćavanjem tečnih keramičkih kapi. Stubasti zrna su označena belim strelicama i imaju normalni pravac na pravac lamela, a granice stubastih zrna se vide jasno. Formiranje stubaste strukture sloja po sloja je uzrokovano brzim očvršćavanjem istopljenih čestica na površini depozita kao mesta za nukleaciju i očvršćavanje do konačnog formiranja stubaste strukture. Debljina formiranih lamela se kretala od 5 μm do 8 μm . Na prelomu se u prevlaci uočavaju precipitati veličine manje od 5 μm označeni belim strelicama.

4. ZAKLJUČAK

Na osnovu sprovedenih ispitivanja mehaničkih karakteristika, mikrostrukture i površine loma prevlake Al_2O_3 25tež.%(ZrO_2 8% Y_2O_3), došlo se do sledećih zaključaka.

Mehaničke karakteristike i mikrostrukture slojeva prevlaka su bile pod uticajem plazma struje. Prevlaka deponovana sa 900 A imala je veće vrednosti mikrotvrdoće, manji raspon mikrotvrdoće u slojevima i veću čvrstoću spoja. Za sve uzorke prelom je bio athezioni na spoju substrat/prevlaka.

Struktura deponovanih prevlaka se sastoji od keramičkih lamela između kojih se nalaze mikro pore nepravilnog oblika crne boje. Slojevi deponovani sa plazma strujom od 900A su imali manji udeo mikro pora od 9%. U mikrostrukтури su prisutne dve kristalne modifikacije aluminijum oksida ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ i $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$) i tetragonalna faza cirkonijum oksida t- ZrO_2 . Morfologija loma površine poprečnog preseka prevlake je potvrdila pravilnu deformaciju istopljenih čestica u sudaru sa podlogom, koje su formirale lamele i ostvarile dobru vezu sa prethodno deponovanim česticama. U slojevima prevlake nisu prisutne mikro pukotine. Analiza loma prevlake je pokazala da se lamele sastoje od kristalnih stubastih zrna sa jasnim granicama, koja su vertikalna u odnosu na pravac deponovanih lamela.

Ispitivanja su pokazala da kompozitna plazma sprej prevlaka Al_2O_3 25tež.%(ZrO_2 8% Y_2O_3) deponovana sa 900A ima mehaničke i strukturne karakteristike, koje u potpunosti omogućavaju njenu primenu na površinama delova implanata u ortopediji.

Zahvalnica

Ovaj rad je podržan od strane Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj (projekat broj OI 174004 & TR34016).

5. REFERENCE

- [1] T.Oberbach, S.Begand, W.Glien, C.Kaddick (2007) Luxation Test of Different Ceramic on Ceramic Couplings, Key Engineering Materials, 330-332, 1235-1238.
- [2] M.Mrdak, M.Rakin, B.Medjo, N.Bajić (2015) Experimental Study of Insulating Properties and Behaviour of Thermal Barrier Coating Systems in Thermo Cyclic Conditions, Materials & Design, 67, 337-343.

- [3] M.R.Mrdak, A.Vencl, B.D.Nedeljkovic, M.Stanković (2013) Influence of plasma spraying parameters on properties of the thermal barrier coatings, *Materials Science and Technology*, 29(5), 559-567.
- [4] M.R.Mrdak (2013) Ispitivanje mehaničkih i strukturnih osobina prevlaka otpornih na eroziju i visoke temperature, *SERBIATRIB'13*, 13th International Conference on Tribology, Kragujevac, Serbia, p.426 – 432.
- [5] D.Kakaš, M.Mrdak, Z.Kolumbić, D.Krumes (2005) Influence on the parameters of plasma spraying process at thermal fatigue of thermal barrier coating - ZrO_2MgO , 1th International conference on heat treatment and surface engineering of tools and dies, Pula, Croatia, p.335-340.
- [6] B.I.Ardlin (2002) Transformation-toughened zirconia for dental inlays, crowns and bridges: chemical stability and effect of low-temperature aging on flexural strength and surface structure, *Dental Materials*, 18(8), 590-595.
- [7] M.R. Mrdak (2016) Monografija: Plazma sprej procesi i svojstva zaštitnih prevlaka, ISBN 978-86-89775-00-0, COBISS.SR-ID 224313356.
- [8] M.R.Mrdak (2017) Mechanical properties and the microstructure of the plasma-sprayed $ZrO_2Y_2O_3 / ZrO_2Y_2O_3CoNiCrAlY / CoNiCrAlY$ coating, *Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier*, 65(1), 30-44.
- [9] Material Product Data Sheet, Metco 105NS Aluminum Oxide Thermal Spray Powders, DSMTS-0005.1, Sulzer Metco, 2012.
- [10] Material Product Data Sheet, Metco 204B-NS, 8% Yttria Stabilized Zirconia Agglomerated and HOSP™ Thermal Spray Powders, DSMTS-0001.2, Sulzer Metco, 2012.
- [11] ASTM C633-1 (2008) Standard Test Method for Adhesion or Cohesion Strength of Thermal Spray Coatings, Reapproved.
- [12] A.Vencl, S.Arostegui, G.Favaro, F.Zivic, M.Mrdak, S.Mitrović, V.Popovic (2011) Evaluation of adhesion/cohesion bond strength of the thick plasma spray coatings by scratch testing on coatings cross-sections, *Tribology International*, 44(11), 1281-1288.
- [13] M.Mrdak, N.Bajić, D.Veljić, M.Rakin, J.Pekez, Z.Karastojković (2017) Testing adhesive bond strength and fracture mechanisms of thicker and porous plasma spray coatings, *ANNALS of Faculty Engineering Hunedoara – International Journal of Engineering*, Tome XV, Fascicule 1, p.153-156.
- [14] M.Mrdak, N.Bajić, D.Veljić, M.Rakin, J.Pekez, Z.Karastojković (2016) Testing adhesive bond strength and fracture mechanisms of thicker and porous plasma spray coatings, VI International Conference Industrial Engineering and Environmental Protection 2016 (IIEZS 2016), University of Novi Sad, Technical faculty "Mihajlo Pupin" Zrenjanin, p.249-253.

ABSTRACT

CHARACTERIZATION OF COMPOSITE BIO INERT APS- Al_2O_3 25WT.%(ZrO_2 8% Y_2O_3) COATING

Composites $Al_2O_3ZrO_2$ and $ZrO_2Al_2O_3$ are inert perspective biomaterials for use in implants due to their biocompatibility and mechanical properties that combine high flexural strength with high toughness. Ceramics Al_2O_3 has excellent biocompatibility and wear resistance, however, this ceramics has low flexural strength and toughness.

In order to increase the mechanical properties of Al_2O_3 ceramics oxide ceramics ZrO_2 is added to it. Oxide ZrO_2 is inert in a physiological environment and has higher flexural strength, higher fracture toughness, and lower Young's modulus, compared with pure oxide Al_2O_3 . Ceramics Al_2O_3 and ZrO_2 are extensively used for the production of hip prosthesis. By mixing both materials the mechanical strength can be increased. Also, the mix of ceramic materials Al_2O_3 and ZrO_2 has a better resistance against uneven surfaces and damage under load during a luxation test compared to the pure ceramics Al_2O_3 .

The aim of this study was to analyze the mechanical characteristics (microhardness $HV_{0.1}$ and bond strength) and microstructure of the composite coating APS- $Al_2O_3(ZrO_2$ 8% $Y_2O_3)$ with a content of 25wt.%(ZrO_2 8% Y_2O_3) on an optical microscope (OM) and scanning electron microscope (SEM). Results of testing mechanical and structural characteristics indicate that the layers of ceramic coating $Al_2O_3ZrO_2$ can be successfully applied in orthopedic implants.

Keywords: APS, Al_2O_3 25wt.%(ZrO_2 8% Y_2O_3), implants, microstructure, microhardness, bond strength

Scientific paper

Paper received: 30. 07. 2017.

Paper accepted: 14. 09. 2017.

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