

UTICAJ BRZINE DEPOZICIJE PRAHA NA MEHANIČKE KARAKTERISTIKE I STRUKTURU APS – NICR/AL PREVLAKE

Mrdak R. *Mihailo*, Institut za mikrotalasnu tehniku
i elektroniku IMTEL, Beograd

UDC: 669.245.7'268'71:621.793.7

Sažetak:

U radu su prikazani rezultati ispitivanja atmosferskih plazma-sprej prevlaka APS-NiCr/Al. Kompozitni prah NiCr/Al koji se sastoji od NiCr čestica obloženih finim česticama Al u procesu depozicije omogućuje egzotermnu reakciju. Reakcija ovih metala dovodi do formiranja samovezujućih NiCrAl prevlaka koje poseduju jedinstvene kombinacije osobina. Radi dobijanja najboljih strukturnih i mehaničkih karakteristika izvršena je optimizacija parametara depozicije. U ovom istraživanju urađene su tri grupe uzoraka prevlake NiCrAl sa različitim brzinama depozicije praha da bi se dobili depoziti velike čvrstoće i žilavosti. Kod prve grupe uzoraka brzina depozicije praha bila je 50 g/min, kod druge 40 g/min, a kod treće 30 g/min. Procena osobina depozita rađena je ispitivanjem mikrotvrdoće metodom $HV_{0.3}$ i čvrstoće spoja ispitivanjem na zatezanje. Metalografska procena strukture rađena je tehnikom svetlosne mikroskopije. Verifikovane prevlake primenjene su za zaštitu i revitalizaciju delova turbomlaznih motora izloženih oksidaciji na povišenim temperaturama.

Ključne reči: *atmosferski plazma-sprej (APS), mikrostruktura, interfejs, mikrotvrdoća, čvrstoća spoja, oksidacija, vrela korozija.*

Uvod

Plazma-sprej proces ima široku primenu u mnogim industrijama, a koristi se radi poboljšanja performansi ili resursa komponenti. Ovaj proces je našao široku primenu u mnogim industrijama kao što su: vazdu-

hoplovstvo, petrohemija, automobilska industrija i dr. Termo sprej prevlake imaju nekoliko prednosti u odnosu na druge tehnike inženjerstva površina. Pri primeni ove tehnologije supstrat se ne topi i omogućuje mu da zadrži originalne karakteristike, kao što su hemijski sastav, struktura i mehanička svojstva. Jedna od karakteristika procesa je da se između deponovanih čestica praha i supstrata ostvaruje mehanička veza [1]. Plazma-sprej proces je jedan od najefikasnijih termičkih procesa i konfigurisan je tako da mlaz čestica plazme ima širok opseg temperature i brzine. Tipičan raspon temperature plazme je 8700–12000°C i brzine od 80 do 400 ms⁻¹ [2].

Kompozitni prah NiCr/Al sastoji se od čestica (jezgara)legure NiCr obloženih finim česticama Al. Pri plazma-sprej depoziciji dolazi do egzotermne reakcije između metala pri čemu se formiraju prevlake koje poseduju jedinstvene kombinacije osobina. To su guste i neporozne prevlake velike čvrstoće i žilavosti sa vezom fuzionog tipa za metalnu osnovu. Deponovane prevlake su bolje od prevlaka tipa NiCr i Ni/Al. Otporne su na oksidaciju, vrelu koroziju, nagle promene temperatura, abraziju, eroziju i dobro podnose mehaničke udare. Čvrstoća veze ostaje adekvatna do radnih temperatura od 980°C [3]. Zbog svojstva samovezivanja za metalne supstrate prevlake NiCrAl se preporučuju za mnoge supstrate. Ove prevlake su našle široku primenu i kao vezni i prelazni međuslojevi pri izradi termalnih barijera. Na resurs prevlake utiču karakteristike deponovanih slojeva: njihov fazni sastav, udeo i raspodela oksida, udeo pora, udeo nestopljenih čestica, koheziona čvrstoća i adhezija. Zavisno od parametara depozicije u strukturi deponovanih slojeva u određenoj meri su prisutne mikropore i lamele oksida, koje umnogome utiču na mikrotvrdoću i čvrstoću spoja prevlake sa supstratom.

Pošto legura NiCr predstavlja osnovu razvoja složenih sistema legura tipa NiCrAl i NiCrAlY, važno je razumeti mehanizam i brzinu oksidacije i znati koji se sve tipovi oksida mogu formirati u procesu depozicije i eksploatacije. Zbog oksidacije čestica praha u procesu izrade prevlake u slojevima su, pored pora, prisutni oksidi: NiO, NiCr₂O₃, Cr₂O₃ i u manjem udelu CrO₃. Oksid NiO kao površinski centrirana kubna faza nalazi se na krajevima lamela i u centralnim delovima lamela. Ovaj tip oksida formira se sa oksidacijom i jednim delom izdvaja na krajevima lamela usled sudara lamela sa površinom supstrata i usled širenja NiCr lamela [4]. Takođe, u prevlacima se nalazi porozna nanokristalna spinel faza NiCr₂O₄. Prisustvo oksida NiO je povezano sa formiranjem pora. Kada istopljena NiCr čestica udari o površinu osnove dolazi do zagrevanja osnove i oslobađanja gasova apsorbiranih na njenoj površini (vlage). Priroda i količina oslobođenih gasova zavisi od hemijskog sastava površine osnove na koju se nanosi prevlaka [4]. Prisustvo oslobođenih gasova i vodene pare utiče na formiranje pora u slojevima i na granici između prevlake i osnove, a uz prisutnu oksidaciju

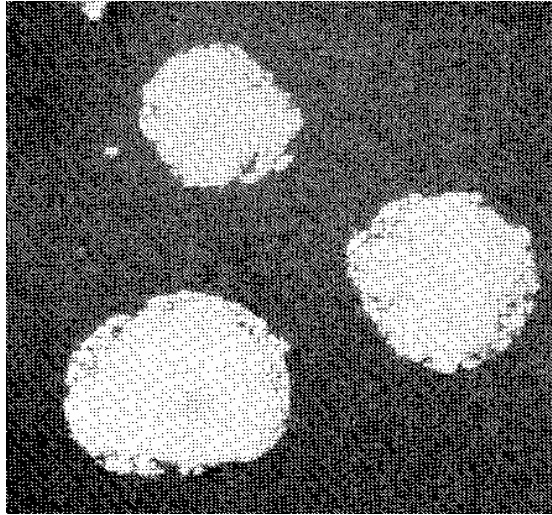
pospešuju i formiranje oksida kao što je NiO [5, 6]. Od oksida hroma u većini slučajeva je prisutan oksid Cr₂O₃ kao tanak sloj na površini NiCr lamela, a mnogo ređe je prisutan oksid tipa CrO₃ [5].

Zbog inkorporiranja vazduha u mlaz plazme, u prevlaci NiCrAl su, pored oksida nikla i hroma, prisutni oksidi tipa α -Al₂O₃ i spinel faza Ni (Cr, Al)₂O₄ [3]. Osnovu deponovane prevlake čini čvrst rastvor hroma i aluminijuma u niklu. Ono što daje veliku otpornost na oksidaciju je prisutan aluminijum u prevlaci. U strukturi deponovanih slojeva su, pored oksida, u određenoj meri prisutne nestopljene čestice i mikropore koje zajedno sa oksidima znatno utiču na mikrotvrdoću i čvrstoću spoja prevlake sa supstratom. Zbog mogućnosti velikog udela pora i nestopljenih čestica veličine $\phi \leq 60 \mu\text{m}$ u količini iznad 15%, slojevi ne bi smeli imati vrednosti mikrotvrdoće manje od 170 HV_{0,3} i čvrstoću spoja manju od 32 MPa [7]. Pošto materijal NiCrAl predstavlja prvu generaciju složenih sistema legura tipa MeCrAl i MeCrAlY, važno je poznavati mehanizam stvaranja oksida u eksploataciji. Na samom početku oksidacije na površini NiCrAl prevlake formiraju se oksidi tipa NiO, α -Al₂O₃, Cr₂O₃ i spinel faze, čiji udeo i odnos zavisi od sastava legure, tj. od sadržaja Cr i Al u prevlaci. Kada je u prevlaci niska koncentracija Cr i Al, na njenoj površini se ne mogu formirati zaštitni kontinualni slojevi oksida tipa α -Al₂O₃ i Cr₂O₃. U tom slučaju na površini prevlake se formira nepoželjan kontinualni sloj oksida tipa NiO, koji se nalazi iznad podsloja koji sačinjavaju oksidi tipa α -Al₂O₃ i Cr₂O₃. Mehanizam rasta oksida NiO rezultuje u formiranju pora na interfejsu prevlaka /oksidni sloj. Formirane pore na interfejsu su posledica veće brzine rasta oksida NiO zbog veće brzine difuzije jona Ni ka frontu oksidacije od brzine difuzije kiseonika ka unutrašnjim slojevima prevlake. Kako mehanizam oksidacije napreduje pore se povezuju i prave zamorne mikroprskotine. Nagle promene temperature u eksploataciji i različiti koeficijenti termalne ekspanzije formiranog keramičkog sloja i žilave prevlake uzrokovaju pucanje i odvajanje keramičkog sloja sa površine prevlake. Da bi se na površini prevlake formirali zaštitni kontinualni slojevi oksida tipa α -Al₂O₃ i Cr₂O₃ i sprečilo formiranje oksida tipa NiO u eksploataciji, za prevlake na bazi Ni donja koncentracija Cr u prevlaci treba da bude oko 20% i Al najmanje od 5%. Za druge sisteme prevlaka tipa MeCrAl i MeCrAlY menja se sadržaj Cr i Al u leguri zavisno od njene namene [3]. U eksploataciji na povišenim temperaturama zbog difuzije kiseonika duž granica lamela dolazi do promene u mikrostrukturi prevlake. U prevlaci se formira samo jedan oksid tipa Cr₂O₃, dok se na površini formiraju svi tipovi oksida, kao što su: NiO, Cr₂O₃ i NiCr₂O₄. Kako oksidacija napreduje, na površini prevlake brže rastu oksidi tipa Cr₂O₃ i NiCr₂O₄ od oksida tipa NiO i na taj način formiraju kontinualan zaštitni sloj. Ovaj zaštitni sloj usporava dalju oksidaciju nikla i produžava resurs prevlake. Oksidni slojevi tipa Cr₂O₃ i NiCr₂O₄ su žilaviji od oksida tipa NiO i otporniji na nagle promene temperature.

Radi izrade NiCrAl prevlake sa najboljim strukturno-mehaničkim karakteristikama urađene su tri grupe uzoraka sa različitim brzinama depozicije praha. S obzirom na to da plazma-sprej dopušta kontrolisanu brzinu depozicije praha (g/min), optimizirani su parametri depozicije praha. U radu su prikazani i analizirani rezultati mehaničkih i strukturnih ispitivanja NiCrAl prevlaka namenjenih za revitalizaciju i zaštitu nekih delova turbomlaznih motora, kao i primene prevlaka na nekim delovima vazduhoplova. Analiza ispitnih slojeva omogućila je da se uspostavi korelacija između parametara depozicije i strukturno-mehaničkih karakteristika i izvrši odabir najboljih slojeva. Cilj ovog rada bio je da se unapredi remont na sekcijama turbomlaznih motora koje su se odbacivale zbog pohabanosti uzrokovane oksidacijom, vrelom korozijom i drugim mehanizmima oštećenja. Novi sistem primene prevlaka u procesu remonta obezbeđuje veću efikasnost i pouzdanost rada u eksploataciji, uz smanjene troškove održavanja.

Detalji eksperimenta i materijal

Za eksperiment se koristio obloženi prah firme Sulzer Metko (Sulzer Metco) sa oznakom AMDRY 960. Prah NiCr/Al je razvijen za izradu prevlaka koje se najčešće koriste zasebno, kao zaštita metalne osnove od oksidacije i vrela korozije pri visokim temperaturama ili u kombinaciji sa keramičkim prevlakama kao vezni sloj. Kompozitni prah NiCr /Al se sastoji od čestica praha legure nikla i hroma (75%Ni, 19%Cr) koje su obložene sa 6% Al. Prah NiCr/Al se proizvodi tehnikom suvog raspršivanja (Spray drying). Kao jezgra za oblaganje koriste se čestice legure NiCr. Ove čestice mogu se dobiti postupkom suvog raspršivanja ili atomizacijom tečnog rastopa inertnim gasom. Jezgra od legure NiCr oblažu se česticama Al granulacije od 1 do 10 μm , uz upotrebu silikasola kao organskih veziva. Obloženi prahovi u procesu deponovanja omogućuju da dođe do egzotermne reakcije između komponenti praha da bi se oslobađanjem toplote obezbedilo bolje vezivanje prevlake za metalnu podlogu. Proizvedene čestice su približno sferičnog oblika i imaju dobru protočnost u mlaz plazme [8]. Na slici 1 prikazana je (SEM) skening elektronska mikrofotografija morfologije obloženih čestica praha NiCr/Al. Temperatura topljenja čestica legure NiCr je 1339°C, a čestica Al 660°C. Raspon granulacije čestica praha koji se koristio u eksperimentu bio je od 45 do 120 μm .



Slika 1 – (SEM) Skening elektronska mikrografija čestica praha NiCrAl
Figure 1 – (SEM) Scanning electron micrography of NiCrAl powder particles

Depozicija praha izvršena je na atmosferskom pritisku sa mešavinom plazma-gasova Ar-He i sa snagom napajanja od 40KW. Na slici 2 prikazan je atmosferski plazma-sprej sistem (APS) firme Plasmadyne koji se koristio za izradu prevlaka.



Slika 2 – Atmosferski plazma sprej sistem
Figure 2 – Atmospheric plasma spraying system

Oprema se sastoji od: zaštitne kabine, komandnog pulta 3600, dodavača praha 1251, robota i plazma-pištolja SG-100. Materijal osnove na koje su deponovane prevlake bio je čelik X15Cr13 (AMS 5504). Pre deponovanja praha osnove nisu predgrevane, a površine supstrata su ohrapavljene belim plemenitim elektrokorundom granulacije od 0,7 do 1,5 mm. Cilj povećanja hrapavosti površine supstrata je uklanjanje tankog oksidnog sloja kako bi se površina učinila reaktivnijom sa istopljenim prahom i dobila bolja veza između prevlake i supstrata. Pri izboru parametara depozicije praha kao osnovni parametar uzeta je brzina deponovanja praha (g/min.). Brzina depozicije praha je jedan od najvažnijih parametara koji utiče na naponsko stanje prevlake koje je u direktnoj vezi sa kohezionom čvrstoćom, mikrotvrdoćom i adhezijom prevlake. Sa brzinom depozicije praha u velikoj meri se može regulisati udeo nestopljenih čestica, oksida i pora u prevlaci. Brzina deponovanja praha mora da bude optimalna da bi se obezbedilo potpuno topljenje čestica praha i na minimum smanjio procenat nestopljenih čestica, oksida i pora u slojevima prevlake. Sa većom brzinom deponovanja praha od optimalne brzine, čestice praha nemaju dovoljno vremena da se potpuno istope, što dovodi do povećanja udela nestopljenih čestica i pora u slojevima prevlake. Neistopljene čestice zajedno sa porama umanjuju kohezionu i adhezionu čvrstoću prevlake. Sa manjom brzinom deponovanja praha od optimalne brzine čestice praha su potpuno istopljene i imaju dovoljno vremena da u većem udelu reaguju sa kiseonikom u mlaz plazme, što dovodi do povećanja stepena oksidacije praha i udela oksida u deponovanim slojevima. Veliki udeo oksida, neistopljenih čestica i pora znatno umanjuje zaštitno dejstvo prevlake u eksploataciji. U ovom istraživanju urađene su tri grupe uzoraka da bi se dobili depoziti velike čvrstoće i žilavosti. Kod prve grupe uzoraka brzina depozicije praha bila je 50 g/min sa protokom nosećeg gasa od 7 l/min, kod druge grupe uzoraka ova brzina bila je 40 g/min sa protokom nosećeg gasa od 6 l/min, a kod treće grupe uzoraka 30 g/min sa protokom nosećeg gasa od 5 l/min. Ostali parametri deponovanja praha bili su konstantni i imali su sledeće vrednosti: jačina električne struje 800 A, napon luka 36 V, protok primarnog gasa (Ar) 47 l/min, protok sekundarnog gasa (He) 32 l/min, i odstojanje mlaza plazme 90 mm od supstrata. Prevlake su formirane sa debljinama od 0,55 do 0,6 mm koje su u skladu sa propisanim debljinama za funkcionalne delove turbomlaznih motora.

Ispitivanje mikrotvrdoće, čvrstoće spoja i mikrostrukture

Ispitivanja i karakterizacija slojeva prevlake rađena su prema TURBOMEKA (TURBOMECA) standardu [7].

Mikrotvrdoća je merena duž lamela slojeva metodom Vickers (Vickers) sa opterećenjem od 300 g (HV 0.3). Merenje je izvršeno u tri obla-

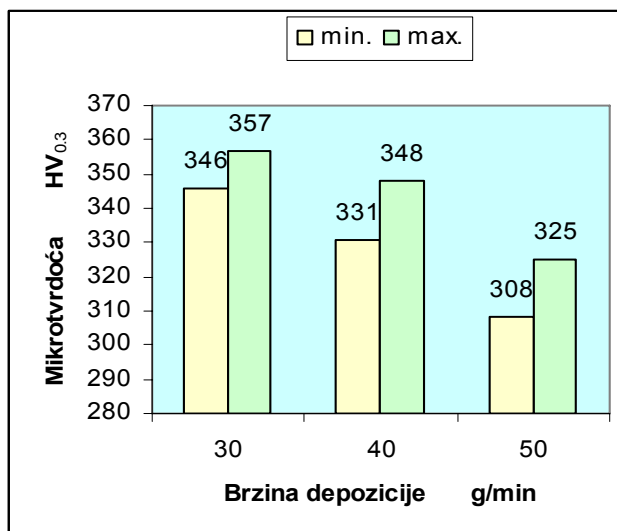
sti: u sredini i na krajevima uzoraka. Prikazani vrednosti mikrotvrdoće su usrednjene zbog većeg broja merenja. Uzorci za merenje mikrotvrdoće, kao i za analizu mikrostrukture, izrađeni su od čelika Č.4171 (X15Cr13 EN10027) u termički neobrađenom stanju, dimenzija 70x20x1,5 mm [14].

Ispitivanje čvrstoće spoja između prevlake i osnove je metoda ispitivanja zatezanjem na kidanje. Uzorci za merenje čvrstoće spoja izrađeni su po standardu TURBOMEKA (TURBOMECA) od čelika Č.4171 (X15Cr13 EN10027) u termički neobrađenom stanju dimenzija $\phi 25 \times 50$ mm [14]. Za ispitivanje su korišćena po dva uzorka u paru, od kojih je jedan sa depovanom prevlakom. Epruvete su ispitivane na sobnoj temperaturi sa brzinom kidanja od 1 mm/60 s [7]. Za ispitivanje se koristilo po pet parova epruveta za svaku grupu prevlaka, a dobijene vrednosti su usrednjene.

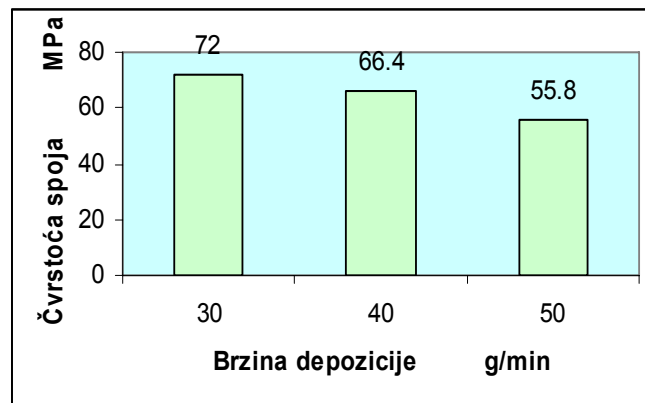
Mikrostruktura slojeva i kvalitet spoja između prevlake i osnove analizirana je pomoću svetlosnog mikroskopa pri uvećanju od 400x. Uzorci su sečeni normalno na površinu prevlake. Pre ispitivanja uzorci su obrušeni i ispolirani do ogledala. Procentualni udeo i veličina pora u slojevima prevlake određeni su poređenjem slike sa svetlosnog mikroskopa sa šablonima datim u odgovarajućem standardu [7].

Rezultati i diskusija

Na slici 3 dijagramski su prikazane vrednosti mikrotvrdoće slojeva NiCrAl prevlake.

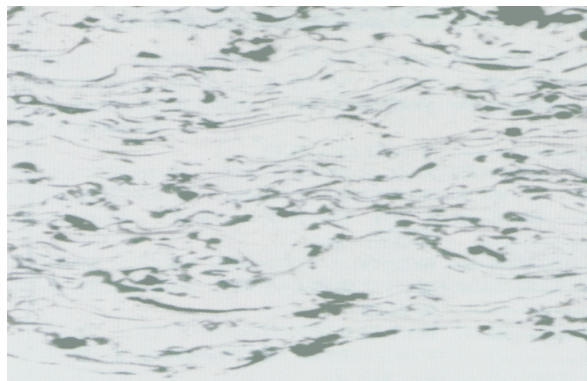


Slika 3 – Mikrotvrdoća NiCrAl slojeva
Figure 3 – Microhardness of NiCrAl layers



Slika 4 – Čvrstoća spoja NiCrAl slojeva
Figure 4 – Bond strength of NiCrAl layers

Iz dobijenih vrednosti se vidi da su se za sve tri grupe uzoraka dobile mikrotvrdoće slojeva iznad $170\text{HV}_{0.3}$. Najveću vrednost mikrotvrdoće od 346 do $357\text{HV}_{0.3}$ pokazali su slojevi deponovani brzinom depozicije praha od 30 g/min. Razlika između minimalne i maksimalne vrednosti mikrotvrdoće za ovu brzinu depozicije je mala i iznosi $11\text{HV}_{0.3}$, što ukazuje na to da je raspodela oksida i pora ravnomerna u deponovanim slojevima. Na slici 4 dijagramski su prikazane vrednosti čvrstoće spoja prevlaka čije su vrednosti za sve tri grupe uzoraka bile iznad 35 Mpa [7]. Najveće vrednosti čvrstoće spoja pokazali su slojevi deponovani brzinom depozicije praha od 30 g/min. Vrednosti čvrstoće spoja potvrđuju da je adhezija prevlaka sa supstratima dobra, kao i koheziona čvrstoća lamela u slojevima prevlake. Karakter razaranja za sve prevlake bio je adhezioni na interfejsu prevlaka/supstrat. Izuzetno visoke vrednosti čvrstoće spoja i vrednosti mikrotvrdoće slojeva pokazatelj su da su udeli pora i nestopljenih čestica minimalni. Na slici 5 je prikazana mikro-struktura slojeva NiCrAl prevlake koji su pokazali najbolje mehaničke karakteristike. To su slojevi deponovani brzinom depozicije praha od 30 g/min. Kvalitativna analiza prevlake je pokazala da se dobila uniformnost slojeva na supstratu bez segmentnog odvajanja slojeva sa površine supstrata. Struktura slojeva je lamelarna. Na međupovršini se ne uočavaju oksidi, mikroprskotine i odvajanje slojeva od supstrata. Takođe, na međupovršini se ne uočava kontaminacija od sredstva za hrapavljenje. Veza deponovanih slojeva sa površinom supstrata je izvanredna. Unutrašnji slojevi prevlake su bez prisutnih mikroprskotina i makroprskotina. Kvantitativna analiza prevlake je pokazala da strukturu osnove čini čvrst rastvor hroma i aluminijuma u niklu svetlosive boje. U slojevima se ne uočavaju nestopljene čestice praha, što govori o dobroj istopljenosti čestica i dobrom razlivanju čestica praha u procesu depozicije na supstrat.



Slika 5 – Mikrostruktura prevlake NiCrAl
Figure 5 – Microstructure of NiCrAl coating

Na granicama lamela svetlosive boje prisutne su lamelle oksida tipa NiO i Cr_2O_3 tamnosive boje i lamelle oksida $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ crne boje, što je posledica inkorporiranja vazduha u mlaz plazme i mikropore. Prisutne pore su crne boje sa udelom ispod 8%.

Zaključak

Atmosferskim plazma-sprejom (APS) izrađene su tri prevlake NiCrAl sa tri različite brzine depozicije praha (30,40 i 50 g/min). Njihove mehaničke karakteristike su ispitane i analizirana je mikrostruktura prevlake čije su mehaničke karakteristike zadovoljavajuće, na osnovu čega se došlo do određenih zaključaka.

Vrednosti mikrotvrdoće prevlake zavise od brzine depozicije praha. Najveće vrednosti mikrotvrdoće, od 346 do 357HV_{0,3}, pokazali su slojevi deponovani brzinom depozicije praha od 30 g/min. Sa povećanjem brzine depozicije praha mikrotvrdoća slojeva opada.

Čvrstoća spoja je dobra za sve tri prevlake. Najveće vrednosti čvrstoće spoja od 72 MPa imali su slojevi deponovani brzinom depozicije praha od 30 g/min. Sa povećanjem brzine depozicije praha opada čvrstoća spoja prevlake. Mehanizam loma išao je kroz sloj prevlake blizu površine prevlaka/supstrat. Vrednosti mikrotvrdoće i čvrstoće spoja prevlaka ukazuju na to da je optimalna brzina depozicije praha 30 g/min.

Prva prevlaka koja je formirana brzinom depozicije praha od 30 g/min i pokazala najbolja mehanička svojstva ima dobru mikrostrukturu. Ova svojstva prevlake potvrđena su u eksploataciji funkcionalnih delova. Primenom ove prevlake znatno se poboljšala efikasnost i pouzdanost rada delova turbomlaznog motora u eksploataciji i znatno su se smanjili troškovi održavanja i remonta.

Literatura

- [1] Dorfman, M., Adv. Mater., Process., (2002) 47.
- [2] Bunshah, R. F., Handbook of Hard Coatings, deposition Technologies, Properties and Applications, Noyes Publications, Park Ridge, New Jersey, U. S.A. and William Andrew Publishing, LLC, Norwich, New York, U. S.A., 2001.
- [3] Nicoll, A. R., The Environment – High Temperature Oxidation and Hot Corrosion, Plasma Technik AG, 5610 Wohlen Switzyerland.
- [4] Brossard, S., Munroe, P. R., Tran, A. T. T., Hyland, M. M., Study of the effects of surface chemistry on splat formation for plasma sprayed NiCr onto stainless steel substrates, Surface&Coatings Technology SCT-15342, No Pages 1–9, 2009.
- [5] Brossard, S., Munroe, P. R., Tran, A. T. T., Hyland, M. M., Study of the microstructure of NiCr splats plasma sprayed on to stainless steel substrates by TEM, Surface&Coatings Technology SCT-15341, No Pages 1–8, 2009.
- [6] Tran, A. T. T., Hyland, M. M., Qin, T., Withy, B., James, B. J., in: E. Lugscheider (Ed.), Thermal Spray 2008: Crossing Borders (Proceedings of International Thermal Spray Conference 2008). Pub. DVS – Verlag GmbH, 40223 Dusseledorf, Germany, 2008, p. 701.
- [7] "Turbojet engine-standard practices manuel" TURBOMECA.
- [8] Kushner, B. A., Thermal Spray powders – Manufacturing Methods and Quality Control Procedures, 1st plasmatechnik symposium Lucerne /Switzerland may 18th - 20th, 1988.

EFFECT OF THE POWDER DEPOSITION RATE ON THE MECHANICAL PROPERTIES AND THE STRUCTURE OF THE APS – NICR / AL COATING

Summary:

The paper presents the results of the examination of atmospheric plasma spraying of APS-NiCr/Al coatings. Composite NiCr/Al powders, composed of NiCr particles coated with fine Al particles, enable an exothermic reaction during the deposition process. The exothermic reaction of these metals results in the formation of selfbonding NiCrAl coatings with a unique combination of properties. For the purpose of obtaining excelent structural and mechanical properties, the deposition parameters were optimised. In this study, three groups of NiCrAl coating samples with different powder deposition rate were made to get deposits of greater strength and toughness. In the first group of samples, the deposition rate was 50g/min, in the second group the powder deposition rate was 40 g/ min. while in the third group it was 30 g/min. The assessment of the properties of deposits was made by the HV0.3 microhardness testing method and the bond strength was examined by tensile strength testing. The metallographic evaluation of the structure was done by optical microscopy The verified coatings were applied for the protection and revitalization of parts exposed to oxidation at elevated temperatures.

Introduction

Plasma spraying is widely used in many industries to improve performance of components. This process has found wide applications in many industries such as aviation, petrol chemistry or automotive industry.

Plasma spraying is one of the most efficient thermal processes. A jet of plasma particles has a wide range of both temperature and rate. A typical plasma temperature range is from 8700 to 12000°C and the rate range is from 80 to 400ms⁻¹.

Composite NiCr/Al powder consists of NiCr alloy particles (nuclei) coated with fine Al particles.

Deposited coatings are better than NiCr and Ni/Al-type coatings. They are resistant to oxidation, hot corrosion, sudden changes in temperature, abrasion, erosion, and they react well to mechanical damage. Mechanical strength of bonding remains adequate up to a working temperature of 980°C.

For designing NiCrAl coatings with the best structural mechanical properties, three groups of samples with different powder deposition rates were made.

The aim of this work was to improve the repair of the sections of turbo jet engines rejected due to wear-based oxidation, hot corrosion and other damage mechanisms.

Experiment details and materials

The coated AMDRY 960 powder of the Sulzer METCO company was used in the experiment. The NiCr / Al powder was developed for the production of coatings which are often used separately as a protection of the base metal from oxidation and hot corrosion at high temperatures or in a combination with ceramic coatings as a middle layer.

Powder deposition was performed at atmospheric pressure with a mixture of Ar-He plasma gases and the power supply of 40KW.

The study examined three groups of samples to get deposits of high toughness. The powder deposition rate in the first group of samples was 50g/min with a carrier gas flow of 7 l / min, the second group of samples had a powder deposition rate of 40 g / min. with a carrier gas flow of 6 l / min. while the third group of samples had 30 g / min. of the deposition rate with a carrier gas flow of 5 l / min.

Testing microhardness, bond strength and microstructure

The testing and characterization of the coating layers were made in accordance with the TURBOMECA standard.

Microhardness was measured along the lamellar layers with the Vickers test with 300 g load (HV 0.3).

The microhardness test samples and the samples for microstructure analysis were made of Č.4171 (X15Cr13 EN10027) steel in the thermally raw state with the dimensions of 70x20x1.5 m.

Testing the coating/supstrate interface strength was done by the tensile test. The specimens for tensile bond strength testing were made in accordance with the TURBOMECH standard, out of Č.4171 (X15Cr13 EN10027) steel in the raw thermal state with 25x50 mm in diameter.

The microstructure of the layers and the quality of the coating/supstrate interface was analyzed using an optical microscope with a magnification of 400X.

Results and discussion

The obtained results show that the microhardness values for layers in all three groups of specimens were over 170HV0.3. The highest microhardness values (from 346 to 357 HV0.3) occurred in the layers deposited with the powder deposition rate of 30 g / min.

The values of the bond strength confirm that there is good adhesion between the coating and the substrate; the cohesion strength of the lamellae in coating layers is good as well. The destruction in all coatings was of an adhesive type along the coating/supstrate interface.

The coating qualitative analysis showed that the uniformity of layers on the substrate was obtained without the segment separation of layers from the surface of the substrate.

The coating quantitative analysis showed that the structure of the substrate is a solid solution of chromium and aluminum in nickel light gray color.

On the light gray lamellar boundaries, there are dark gray oxide (NiO and Cr₂O₃) lamellae and black α-Al₂O₃ lamellae as a result of air penetration into the plasma jet and micro pores. The existing pores are black and account for less than 8%.

Conclusion

Atmospheric plasma spraying (APS) was used for three NiCrAl coatings with three different powder deposition rates (30, 40 and 50 g / min). Their mechanical properties were investigated and the coating microstructure was analyzed, resulting in satisfactory mechanical properties. The following conclusions were drawn:

The highest values of micro hardness of 346–357HV0.3 were found in the layers deposited with the powder deposition rate of 30 g / min.

With the increase of the powder deposition rate, the microhardness of layers decreases.

The highest values of the bond strength of 72MP were found in the layers deposited with the powder deposition rate of 30 g / min.

The coating properties were confirmed in the exploitation of functional parts.

Key words: Atmospheric Plasma Spraying (APS), microstructure, microhardness, bond strength, oxidation, hot corrosion.

Datum prijema članka: 17. 03. 2010.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 30. 03. 2010.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 01. 04. 2010.