

KARAKTERISTIKE TERMOZAŠTITNIH PREVLAKA VSDP-11**CHARACTERISTIC
THERMOPROTECTIVE COATING VSDP-11****Božidarka Arsenović, Zorana Živić, Slavko Vulić, Boško Ivanović***„Orao“ a.d., Bijeljina, Republika. Srpska***Izvod**

Uzorci za ispitivanje kvaliteta termozaštitne prevlake VSDP-11 su isecani iz lopatica prvog i drugog stepena rotora turbine motora Viper 632/633. Nanošenje termozaštitne prevlake na lopatice izvršeno je postupkom raspršivanja mete lučnim isparivačem. U radu su prikazani rezultati ispitivanja mikrotvrdoće HV 0,2; adhezije prevlake sa osnovnim materijalom, mikrografije metalografskih snimaka pomoću kojih se dao odgovor na pitanje veze između osnovnog materijala i nanešene prevlake, kao i poroznosti i debljine prevlake snimljenih na tri poprečna preseka lopatica. Potvrđeno je postizanje zadovoljavajućih mehaničkih i strukturno-morfoloških karakteristika kako na prevlaci nanešenoj na lopatice prvog, tako i na lopatice drugog stepena rotora turbine motora.

Abstract

The test samples for quality examinations of the thermoprotective coating VSDP-11 was cut from blades of the first and second stage of turbine rotor engine VIPER 632/633. Accumulation of thermoprotective coating on the blades was done by method of the target disprsn with using arc evaporator. This paper describe the results of examination microhardness HV 0.2, athesion of coating to basic material, metalografic micrographs as aim for giving the answer on question of connection between basic material and coating, as the porosity and thickness of coating too, with takig of photographs of microsucfures on three transversal cuttings of blades. It is confirmed the reachig of satisfied mechanical and structural-morphological characteristic, as on coatig of the first stage blade the same as on coatig of thefirst stage blade the same as on coating of the second stage blade of engine turbine rotor.

UVOD

Osnovna karakteristika plazma depozicije zaštitnih prevlaka fizičkim metodama iz parne faze (PVD) je da se depozicija materijala vrši atom po atom putem kondenzacije iz stanja gasne plazme i prelaska u čvrsto stanje - formiranje prevlake na površini radnog komada [1,2].

Karakteristike električnog luka, sužavanje plazma kolone koja je u kontaktu sa elektrodom pražnjenja, odnosno formiranja oblasti izuzetno velike gustine struje na površini katode koja se naziva katodni spot, koriste se u procesu plazma depozicije termozaštitnih prevlaka. U oblasti katodnog spota dolazi do direktnog isparavanja materijala bez topljenja, jer se vrši samo lokalno zagrevanje i brzo kretanje jednog ili više spotova po površini elektrode. Dobre osobine lučnih isparivača je velika brzina depozicije, jednostavna konstrukcija i visoki stepen jonizacije čestica u lučnoj plazmi, do 50%. Zbog ovih osobina, moguće je deponovati kvalitetne prevlake sa veoma dobrom adhezijom na podlogama od

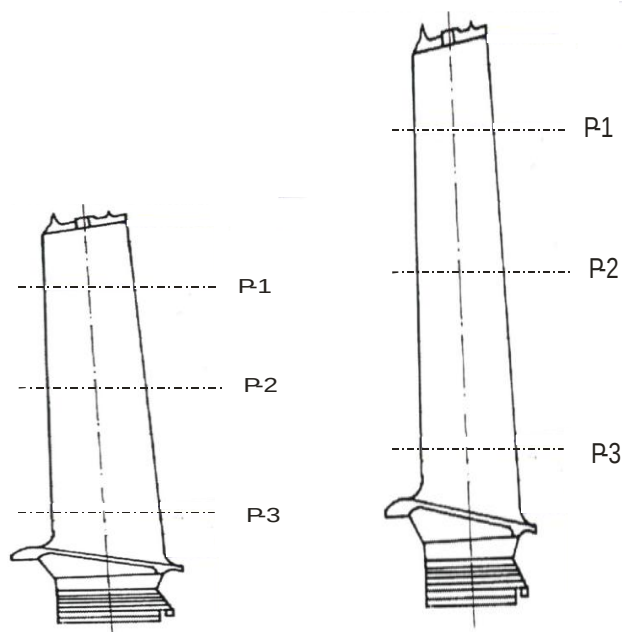
različitih materijala. Homogenost depozicije na uzorcima kompleksne prostorne geometrije postiže se postavljanjem više lučnih izvora na različitim mestima unutar komore za depoziciju i visokim stepenom jonizacije pare metala i gasa u kontaktu sa površinom uzorka [2].

S tim u vezi, u radu su predstavljeni kompleksni rezultati ispitivanja mehaničkih i strukturno-morfoloških karakteristika nanešene termozaštitne prevlake VSDP-11 na lopatice 1. i 2. stepena rotora turbine motora VIPER 632/633.

EKSPERIMENTALNI DEO

Uzorci za ispitivanje su isecani iz lopatica 1. i 2. stepena turbine motora VIPER 632/633 na koje je izvršeno nanošenje prevlake VSDP-11 postupkom raspršivanja mete lučnim isparivačem na uređaju VPT-12M u trajanju od 50 minuta.

Merenje mikrotvrdoće nanešenih prevlaka vršeno je uređajem za određivanje mikrotvrdoće Karl Frank, tip 38536 na uzorcima za metalografska ispitivanja. Ispitivanje je vršeno metodom Vickers sa opterećenem od 1,961 N (HV 0,2). Mesta merenja mikrotvrdoće prikazana su na slici 1. Ispitivanje adhezije prevlake sa osnovnim materijalom urađeno je na epruvetama savijanjem pod uglom od 90° na stezaču prečnika 12,7 mm. Epruvete za savijanje izrađene su od istog materijala kao i lopatice dimenzija (75x45x1,2) mm i tretirane su pod istim uslovima kao i lopatice.



*Slika 1. Šema isecanja uzoraka iz lopatica
1. stepena-levo; 2. stepena-desno*

Metalografska ispitivanja vršena su na metalografskom mikroskopu Neophot 21 na pripremljenim metalografskim uzorcima lopatica. Nakon poliranja u trajanju od 4 minute (predpoliranje, fino poliranje i završno poliranje) izvršeno je nagrivanje uzoraka u Murakani rastvoru sastava 10 g $K_3Fe(CN)_6$ + 10 g KOH + 100 ml destilovane vode. Debljina prevlake merena je na metaliziranim delovima pomoću metalografskog mikroskopa na uzorcima za metalografska ispitivanja, a pri uvećanju od 100 puta. Poročnost nanešene prevlake utvrđena je na uzorcima u nenagriženom stanju pri uvećanju od 200 puta.

Ciklično ispitivanje prevlaka na termički zamor vršeno je na pristroju urađenom u "ORAO" a.d., ručno pomoću plamenika za gasno zavarivanje dok je merenje površinske temperature lopatica izvršeno optičkim pirometrom Land, tip R7QB. Lopatice su hladene komprimovanim vazduhom iz instalacije.

REZULTATI I DISKUSIJA

U tabeli 1 prikazana su mesta merenja i dobijene vrednosti mikrotvrdoće HV 0,2 na prevlaci VSDP-11 nanešenoj na lopatice 1.i 2. stepena rotora turbine.

Tabela 1. Merna mesta na prevlakama VSDP-11 i rezultati mikrotvrdoće, HV 0,2

OZNAKA LOPATICE	MESTO MERENJA MIKROTVRDOĆE NA PREVLACI VSDP - 11		IZMERENA TVRDOĆA HV 0,2
1. stepen lopatice RT	P-1	1.merenje	618
		2.merenje	593
		3.merenje	593
	P-2	1.merenje	746
		2.merenje	644
		3.merenje	766
	P-3	1.merenje	644
		2.merenje	672
		3.merenje	644
2. stepen lopatice RT	P-1	1.merenje	733
		2.merenje	655
		3.merenje	701
	P-2	1.merenje	683
		2.merenje	655
		3.merenje	713
	P-3	1.merenje	644
		2.merenje	683
		3.merenje	701

Prema rezultatima prikazanim u tabeli 1, tvrdoća prevlake VSDP-11 na lopatici 1. stepena se kreće u intervalu od 593 HV 0,2 do 766 HV 0,2 dok je tvrdoća prevlake na lopatici 2. stepena od 644 HV 0,2 do 733 HV 0,2.

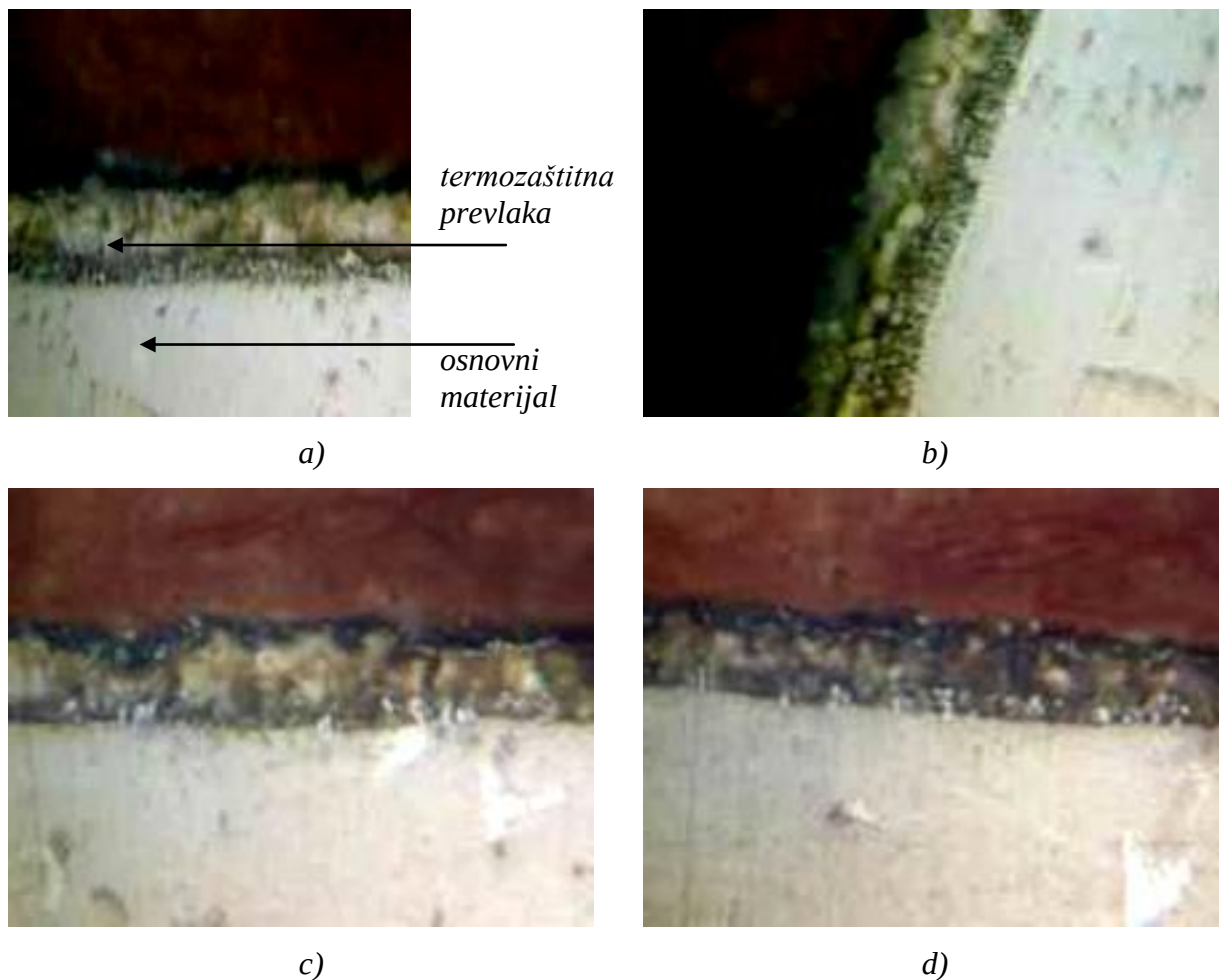
Na slici 2 prikazan je izgled savijene epruvete sa prevlakom (75x45x1,2)mm pod uglom od 90° na stezaču prečnika 12,7mm.



Slika 2. Izgled savijene epruvete sa prevlakom pod uglom od 90°

U toku savijanja nanešena prevlaka je pratila deformaciju baznog metala, bez ljuštenja sa pojavom poprečnih pukotina. Analizirajući izgled prevlake nakon savijanja može se konstatovati da su nastale poprečne pukotine dozvoljene [3].

Na slici 3 (a, b, c i d) prikazane su mikrofotografije izgleda spoja osnovnog materijala i prevlake VSDP-11 na posmatranim presecima P-1; P-2 i P-3 na lopatici 1. stepena rotora turbine.



Slika 3. Mikrofotografije izgleda spoja osnovnog materijala i prevlake VSDP-11¹⁾ na posmatranim presecima lopatice 1. stepena rotora turbine

a) P-1 (napadna ivica), uvećanje 400 puta

b) P-1 (prikazano merno mesto 2 merenja debljine prevlake sa slike 4), uvećanje 400 puta

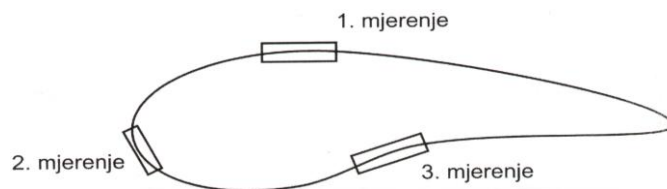
c) P-2 (napadna ivica), uvećanje 400 puta

d) P-3 (napadna ivica), uvećanje 400 puta

¹⁾ hemijski sastav termozaštitne prevlake VSDP-11, %: Si 4,67-4,83; Al osnova; Y 1,30; Fe 0,76-0,80.

Na posmatranim presecima lopatice 1. stepena rotora turbine zapažena je dobra veza između osnovnog materijala i nanešene prevlake, posmatranjem uzorka pri uvećanju od 200 puta nije uočeno prisustvo pora. Prisustvo oksida i nevezanih čestica je neznatno i nalazi se u okviru kriterijuma prihvatljivosti.

Na slici 4 prikazana su mesta merenja debljine prevlake pri uvećanju 100 puta.



Slika 4. Šematski prikaz mesta merenja debljine prevlake

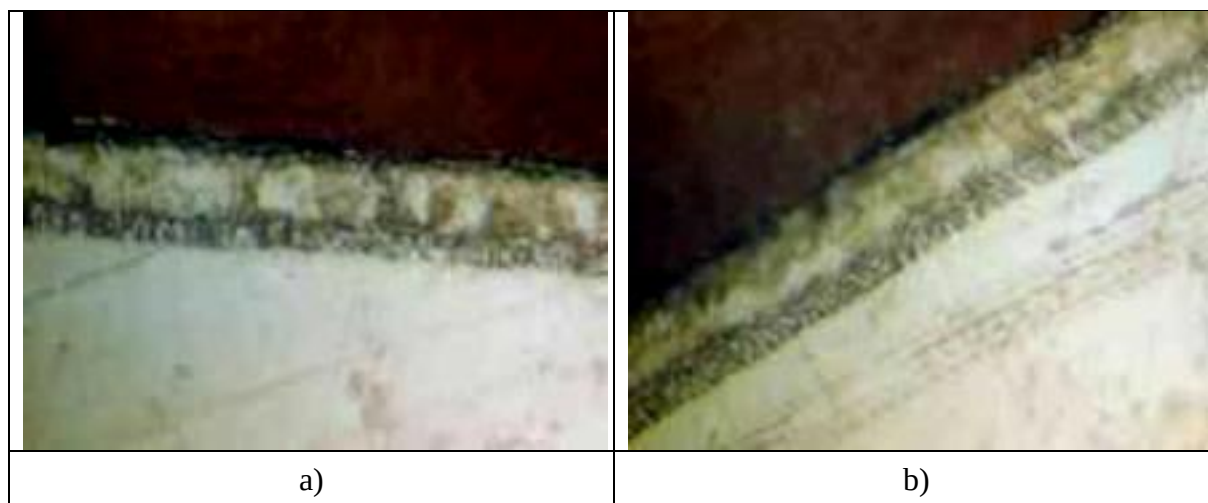
U tabeli 2 prikazani su rezultati merenja debljine prevlake po posmatranim presecima (rezultati se odnose na po 3 merenja po jednom preseku, (slika 4), rađeno pri uvećanju 100 puta.

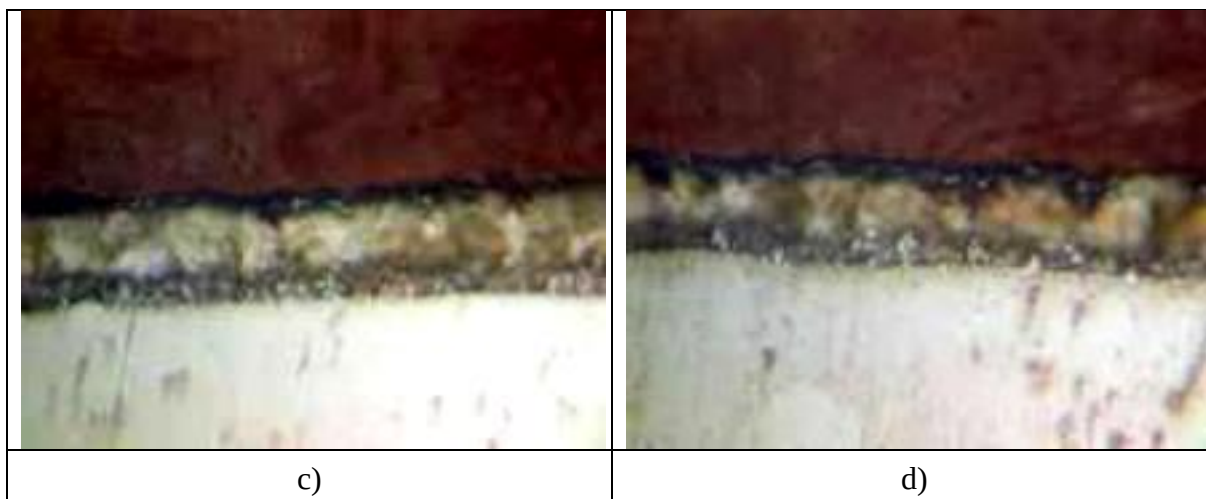
Tabela 2. Rezultati merenja debljine prevlake po presecima za lopatice 1. i 2. stepena rotora turbine

OZNAKA LOPATICE	IZMERENE VREDNOSTI DEBLJINE PREVLAKE PO PRESECIMA, μm								
	P - 1			P - 2			P - 3		
	1 merenje	2 merenje	3 merenje	1 merenje	2 merenje	3 merenje	1 merenje	2 merenje	3 merenje
1. stepen lopatice RT	39	41	44	38	42	38	38	38	34
2. stepen lopatice RT	41	34	38	42	38	39	39	39	34

Prema rezultatima izmerenih debljina prevlake može se zaključiti da se debljine prevlake za lopatice 1. stepena kreću u intervalu od 34 do 44 μm a za lopatice 2. stepena od 34 do 42 μm i nalaze se u okviru prihvatljivih vrednosti [3].

Na slici 5 (a, b, c i d) prikazane su mikrofotografije izgleda spoja osnovnog materijala i prevlake VSDP-11 na posmatranim presecima P-1, P-2 i P-3 na lopatici 2. stepena rotora turbine.





Slika 5. Mikrofotografije izgleda spoja osnovnog materijala i prevlake VSDP-11 na posmatranim presecima lopatice 2. stepena rotora turbine

- a) P-1 (napadna ivica), uvećanje 400 puta*
- b) P-1 (prikazano merno mesto 2 merenja debljine prevlake sa slike 4), uvećanje 400 puta*
- c) P-2 (napadna ivica), uvećanje 400 puta*
- d) P-3 (napadna ivica), uvećanje 400 puta*

Iz prikazanih mikrofotografija očigledno je da je postignuta dobra veza osnovnog materijala i nanešene prevlake i kod lopatica 2. stepena rotora turbine, pri posmatranju uzoraka u nenagriženom stanju potvrđena je dobra poroznost prevlake. Prisustvo oksida i nevezanih čestica je neznatno i kreće se u okviru dozvoljenih granica [3].

Na slici 6 prikazan je izgled lopatica 1.i 2. stepena rotora turbine nakon izdržanih 450 ciklusa termocikličnog zamora .



Slika 6. Izgled lopatica 1.i 2. stepena rotora turbine nakon izdržanih 450 ciklusa termocikličnog zamora

Termociklično zagrevanje na temperaturi od 900 do 950⁰C a zatim hlađenje do 250⁰C na vazduhu izdržale su lopatice kako 1. stepena tako i lopatice 2. stepena rotora turbine. Nije došlo do oštećenja napadnih strana lopatica i kod izdržanih 50 ciklusa zagrevanja od 900 do 950⁰C a zatim hlađenjem u vodi.

ZAKLJUČAK

Prema rezultatima ispitivanja mehaničkih i strukturno-morfoloških karakteristika dobijenim na posmatranim presecima lopatica 1. i 2. stepena rotora turbine motora VIPER 632/633 postupkom raspršivanja mete lučnim isparivačima na uređaju VPT -12 M, zadovoljeni su kriterijumi prihvatljivosti.

Nakon savijanja epruvete pod uglom od 90⁰ nije došlo do pojave ljuštenja, odvajanja prevlake i pojave pukotina. Pri metalografskom ispitivanju nije uočeno prisustvo pora u prevlaci, ostvarena je dobra veza između osnovnog materijala i nanešene prevlake, debljina prevlake je u dozvoljenim granicama. Nakon izdržanih 450 ciklusa grejanja i hlađenja u struji komprimovanog vazduha, na posmatranim napadnim ivicama nisu uočena oštećenja. Takođe, nakon izdržanih 50 ciklusa zagrevanja u oksido-acetilenskom plamenu i brzom hlađenju u hladnoj vodi, na lopaticama nisu uočena oštećenja.

LITERATURA

- [1] Г.В.Болотников: Установка ВПТ-12М, Инструкция по техническому обслуживанию (ИЕВГ.68ІІІ.00І. ІО), 2002.
- [2] Г.В.Болотников: Установка ВПТ-12М, Инструкция по эксплуатации (ИЕВГ 68І.3ІІ.0ІІ.ІЕ)
- [3] SNECMA Standardi: DMP 14.009, DMP 14.010.
- [4] Н. Šuman: Metalografija, TMF Univerzitet u Beogradu, 24-52, 1981.
- [5] ROLLS ROYCE Standardi: QAS A.12.
- [6] Л.Б. Гецов: Циклическаја прочност жапопрочних сплавов с покритијами, Проблеми прочності, N⁰ 12, 1988.
- [7] "Orao" a.d.: Program verifikacionih ispitivanja termozaštitnih prevlaka na lopaticama 1. i 2. stepena rotora turbine motora VIPER 632/633, 023/11-33, SIRA, 2006.
- [8] VZ"Orao": Uputstvo za ispitivanje karakteristika termozaštitnih prevlaka na lopaticama 1. i 2. stepena rotora turbine motora RD 33, OP-12-00-008, SLAB, 2003.