Dragutin Mišović,
inž. metalurgije

Regeneracija metalizacijom plazma-postupkom

U članku se obrađuje jedan od najsavremenijih postupaka regeneracije rezervnih delova, koji se primenjuje na nivou generalnog remonta tehničkih sredstava. Članak sadrži osnovne informacije i predstavlja dobru osnovu za dublje i potpunije izučavanje regeneracije metalizacijom plazma postupkom.

Uvod

U savremenim uslovima održavanja mašinskih delova, sklopova i TMS sve više se javlja potreba da se oštećeni i pohabani mašinski delovi regenerišu, jer se time znatno smanjuje cena remonta i održavanja TMS.

Za uspešno i sveobuhvatno izvođenje reparaturnih operacija neophodni su savremeno opremljeni pogoni.

Naučna dostignuća iz oblasti metoda regeneracije dala su više tehnoloških rešenja, koja omogućuju postizanje takvih rezultata da osobine regenerisanih delova po svojim karakteristikama prevazilaze osobine novih delova, ili bar zadržavaju kvalitet novih.

U ovom radu biće govora o nekim od tih metoda, a posebno o procesu metalizacije.

Postupci regeneracije

Za izvođenje regenerativnih zahvata primenjuje se više metoda u zavisnosti od vrste materijala, oblika oštećenja, konstrukciono tehnoloških karakteristika oštećenog dela, uslova rada i mogućnosti primene pojedinih metoda u datim uslovima, i sl.

Najčešće se primenjuju sledeće metode regeneracije:

- zavarivanje i navarivanje;
- tvrdo hromiranje;
- metalizacija — hladna i topla;
- primena tehničkih metala;
- »Metalock« postupak;
- razni postupci lepljenja, itd.

Postupci metalizacije

Proces metalizacije je nanošenje prevlaka od metala, legura, intermetalnih karbida, keramike, kermeta i nekih vrsta organskih plastičnih masa na osnovni materijal.

Obično se može naneti bilo koji materijal na odabranu osnovu, zavisno od toga kakav sloj želimo da dobijemo.

Materijal za formiranje prevlaka najčešće se proizvodi u obliku žice i praha.

Topljenje se vrši u plamenu gorivih gasova. Istopljene čestice nošene kinetičkom energijom komprimiranog vazduha udaraju u radni deo i na taj način se formira metalizirani sloj, čija debljina zavisi od broja uzastopnih prolaza.

Danas je poznato više postupaka metalizacije, od kojih su u industrijskoj primeni najčešći:

- metalizacija žicom;
- elektrolučna metalizacija;
- metalizacija prahom;
- metalizacija Dimond Jet procesom;
- metalizacija plazma-postupkom.

Metalizacija žicom

Dodatni materijal u obliku žice uvodi se u plamen kiseonika i nekog gorivog gasa, topi se i vrši atomizacija, komprimiranim vazduhom vrši se usmeravanje na pripremljenu površinu radnog komada i tako formira potrebni sloj.

Elektrolučna metalizacija

Oko žica za metalizaciju koje se nalaze na određenom električnom potencijalu stvara se jonizujuće polje. Sučeljavanjem ovih žica uspostavlja se električni luk. Ispred sučeljenih žica nalazi se dizna, koja služi za dovod komprimiranog vazduha za atomizaciju istopljenih čestica. Tako se stvara fini mlaz istopljenog materijala, koji se usmerava prema radnom komadu i tako vrši formiranje prevlake.

Metalizacija prahom

Materijal u obliku praha određene granulacije uvodi se u plamen kiseonika i nekog gorivog gasa, topi se i biva nošen i projektovan strujom ovih gasova potpomognutom komprimiranim vazduhom na pripremljenu površinu, gde se formira metalizirani sloj odgo-varajuće debljine.

Metalizacija prahom može biti hladna ili topla, zavisno od postupka nanošenja sloja.

Metalizacija DIMOND JET procesom

Ovo je novi supersonični proces metalizacije sa uređajem visokog pritiska, efikasno se koristi veliki energetski potencijal uz tačnu kontrolu toplotne moći za dobijanje gustih i veoma kompaktnih prevlaka.

Sistem koristi za rad mešavinu kiseonika i gorivog gasa. Čestice praha se projektuju na radni komad supersoničnom brzinom od 1370 m/s.

Metalizacija plazma-postupkom

Jedan od najsavremenijih postupaka metalizacije je plazma-postupak, koji ima više prednosti i specifičnosti u odnosu na druge postupke metalizacije.

Razvojem tehnologije špricanja metala bilo je potrebno da se šprica ju legure metala koje se tope na temperaturama preko 15000°C. Ovakav tehničko-tehnološki zahtev jedino se mogao ostvariti plazma-postupkom.

Plazma je dobila ime koje su naučnici upotrebili da opišu pare materijala koje se podižu na viši stepen energije nego obično gasovito stanje. Za plazmu se često kaže da je to četvrto agregatno stanje materije.

Plazma gas, (sl. 1) najčešće argon ili azot, koristi se kao izvor toplote i kao sredstvo za transport istopljenih čestica.

Pobuđivanje i prevođenje u stanje plazma-gasa vrši se jonizacijom uz pomoć visokonaponskog luka koji nastaje između anode i katode u pištolju. Ovako pobuđeni plazma-gas usmerava se kroz posebno konstruisanu diznu koja može biti konvergentnog ili divergentnog oblika, zavisno od vrste praha i namene sloja.

Prolaskom kroz diznu gas se vraća u normalno stanje, oslobađajući ogromnu količinu toplote.

Prah za metalizaciju uvodi se pod određenim pritiskom u plazma mlaz. Čestice praha se tope i vrši se njihova projekcija velikom brzinom na pripremljenu površinu. Kao rezultat ovog procesa dobijamo prevlake visokog kvaliteta i velike vezivne moći.

Sl. 1 — Šematski prikaz stvaranja plazma-gasa

Poznat je veliki broj raznih materijala za kreiranje plazma-prevlake određenih osobina. One, po svom sastavu, mogu biti:

- prevlake na bazi gvožđa, nikla i kobalta, nerđajući čelici i ugljeni čelici, egzoterni nikl-aluminijum, samovezujuće jednostepene prevlake;

- prevlake od samotečnih legura nikla hroma, prevlake na bazi volfram-karbida i kobalta;

- prevlake od obojenih metala: sve vrste bronz, aluminijum, mesing, bakar, itd.;

- oksidokeramičke prevlake: aluminijum-oksidi, hrom-oksidi, kompozitni hrom-oksidi silicijum, kompozitni materijali na bazi titan-dioksida, cirkonijum-oksida, magnezijum i kalcijum-cirkonati;

- volfram-karbidne prevlake, kompozitni materijali na bazi volfram-karbida, kobalta, mešavine karbida i kobalta;

- hrom-karbidne i ostale prevlake, mešavine hrom-karbida i nikl-aluminida, ostale karbidne prevlake;

- teško topivi metali: molibden, volfram, tantal, itd.;

- kermiti, bor-nitridi i aluminij-ske bronz, hrom-nikal ili aluminijum-grafit, oksidokeramičke mešavine;

- prahovi sa plastičnom osnovom, poliesteri i silicijum-aluminijum, mešavine aluminij-ske bronz sa poliestrom, specijalni vezujući materijali za ovu vrstu prevlaka.

Najčešći zahtevi koje prevlake treba da zadovolje su: otpornost na habanje u svim uslovima; otpornost na abraziju; otpornost na trenje i ciklična opterećenja; otpornost na kavitaciju, kao posledicu protoka tečnosti koje koje izazivaju mehanička oštećenja površina; otpornost na eroziju, koja nastaje kao posledica protoka gasova i tečnosti koje nose sa sobom čestice koje se kreću velikom brzinom; otpornost na oksidaciju i toplotnu koroziju; otpornost na atmosfersku koroziju i koroziju u uslovima kvašenja i potapanja.

Osobine metaliziranih slojeva

Metalurške osobine metaliziranih prevlaka razlikuju se od osobina osnovnog materijala od kojeg su žica ili prah napravljeni. Metalne prevlake teže da budu tvrđe od osnovnog materijala od kojih su sačinjene, čineći ih otpornijim na habanje. Glavni razlog za stvaranje ovih metalurških razlika je u tome što se osnovni materijal u obliku žice ili praha topi i ove čestice udaraju i zavaruju se u osnovni materijal, čime se vrši njihova termička obrada. Ova osobina stavlja korisnicima na raspolaganje širok izbor materijala raznih osobina. Izborom i kombinacijom procesa i parametara metalizacije može se stvoriti prevlaka koja će zadovoljiti skoro svaki zahtev i primenu.

Slojevi prevlake mogu biti, teoretski posmatrano, neograničeno debeli. Međutim, u praksi postoje ograniča-

vajući faktori, zavisno od aplikacije, izbora postupka i vrste materijala. Uopšte posmatrano moguće je naneti slojeve debljine max. 250 mm i min. 0,05 mm, što predstavlja granične vrednosti.

Način vezivanja prevlake: mehanizam vezivanja prevlake za osnovu veoma je kompleksno pitanje.

Zavisno od izbora osnovnog materijala i procesa metalizacije, veza čestica sa osnovom može biti: mehanička, metalurška, hemijska i kombinacija svih njih.

Pravilna priprema površine spada u kritične faktore procesa metalizacije od kojeg zavisi snaga vezivanja cele prevlake. Pri pripremi površine, dva osnovna cilja su: čišćenje osnove radi boljeg vezivanja prevlake i stvaranje što grublje površine, čime se povećava snaga vezivanja prevlake.

Završna obrada metaliziranih slojeva: većina metaliziranih prevlaka zahteva tačno definisane uslove da bi se postigao željeni kvalitet obrade.

Posebno se mogu dobro obrađivati prevlake dobijene plazma-postupkom, tako da se mogu polirati do $Ra=0,025$ mikrona.

Prednosti metalizacije plazma-postupkom

Postoji više verzija plazma-uređaja u odnosu na snagu i to do 40 kW i od 40 do 80 kW.

Jedna plazma stanica (sl. 2) sastoji se od: plazma-pistolja, dvostrukog dovodača za prah, elektronskog uređaja za merenje i regulaciju protoka praha, tiristorskog ispravljača velike snage, odnosno napojne jedinice za plazma-sistem, kontrolne jedinice kojom se pomoću računara upravlja sistemom i kabine za metalizaciju sa vodenom zavesom i akustičnom sobom.

Plazma-prevlake nanete ovim uređajima su u principu boljeg kvaliteta od prevlaka nanetih ostalim metodama metalizacije, posebno tvrdoća i gustina, učinak je veći, a troškovi radne snage mali. Zatim imaju veću otpornost na habanje i abraziju, a ono što ih posebno čini kvalitetnim to je veća gustina sloja između čestica što povećava otpornost na smicanje.

Sl. 2 — Stanica za plazma-metalizaciju

Pored ovih uređaja postoji najnovija tehnologija nanošenja prevlaka plazma uređajima u vakumu, što eliminiše okside i prevlake postaju još gušće i tvrdje, a zagrevanje radnog komada manje.

Stručna lica Tehničkog remontnog zavoda Čačak u zajednici sa najpoznatijim svetskim proizvođačima opreme i dodatnih materijala su vršili eksperimentalna i praktična ispitivanja metalizacije plazma postupkom.

U tabeli 1. dati su rezultati ispitivanja karakteristika prevlaka u zavisnosti od procesa metalizacije i vrste sloja koji su dobijeni prilikom ovih ispitivanja.

Tabela 1

Fizičke osobine sloja	Vrsta sloja	Postupak metalizacije			
		Metalizacija žicom	Metalizacija prahom	Elektrolučna metalizacija	Metalizacija plazmom
Sila vezivanja [N/mm ²]	Metali	28	29	61	47
	Obojeni metali	20	20	40	38
	Keramika	—	36	—	57—76
Gustina sloja (% u odnosu na osnovni materijal)	Metali	85	85	85	91
	Obojeni metali	85	85	85	90
	Keramika	—	85	—	94
Makrotvrdoća u Rockwelima	Metali	22—36 HRC	20—32 HRC	25—38 HRC	22—40 HRC
	Obojeni metali	35—84 HRB	30—80 HRB	40—60 HRB	38—75 HRB
	Keramika	—	50—65 HRC	—	55—66 HRC
Ograničena debljina sloja	Metali	postoji do 12 mm	postoji do 10 mm	postoji do 15 mm	optimalan 0,5 mm
	Obojeni metali	ne postoji	ne postoji	ne postoji	2 mm najbolji rezultati
	Keramika	—	postoji	—	oko 0,5 mm

Rezultati navedeni u tabeli 1 jasno govore o prednostima metalizacije plazma-postupkom u odnosu na druge postupke ovog procesa.

Ovaj postupak metalizacije ima široku i nezamenljivu primenu kod avionskih motora, gasnih turbina, kod održavanja dizel-motora. Zatim kod tekstilnih mašina, kod povećanja efikasnosti rada računara, u papirnoj industriji, formiranju termobarijera, vrlo efikasno se primenjuje za zaštitu plastičnih delova od toplote i abrazije, kao i kod ispravke grešaka nastalih u serijskoj proizvodnji.

Ovim postupkom mogu se regenerisati i najvitalniji mašinski delovi sa najstrožim režimom eksploatacije.

Kao primer u ovom članku će nešto detaljnije biti prikazani rezultati metalizacije plazma-postupkom radilice dizel-motora (sl. 3). Da bismo shvatili značaj uspešne regeneracije radilice, navodimo nekoliko njenih karakteristika.

Radilica je važan deo motora, koji ima zadatak da stvoreni mehanički rad na klip, a prenesen preko klipnjače na njegov rukavac pretvori u mehanički rad obrtanja, koji će preko spojnice koristiti van motora.

Radilica sa klipnjačom je najteže opterećeni deo motora izložen dejstvu vrlo promenljivih gasnih i inercijalnih sila koje izazivaju velika naprezanja u pojedinim delovima radilice.

Tokom eksploatacije motora na radilici nastaju različita oštećenja: Istrošenost površina, mehanička oštećenja, deformacije rukavaca, pukotine i td.

Sl. 3 — Metalizacija radilice dizel motora

Radilica koja je ovom prilikom bila predmet eksperimenta je od V-2 motora sa sledećim karakteristikama:

- izrađena kao otkivak od Č. 4734 (18 HNVA), u poboljšanom stanju (34 HRC);

- snaga motora je 430 kW.

- tri glavna rukavca i dva rukavca klipnjače bila su pohabana oko 1 mm.

Na osnovu karakteristika ove radilice je odgovarao prah sledećih svojstava:

- hemijski sastav:

- $\%C = 2-3$;

- $\%Mo = 2-3$;

- $\%Al = 2-3$;

- $\%B = 0,1-0,3$;

- $\%Fe = \text{ostalo}$;

- mikrotvrdoća sloja 40 HRC.

Metalizacija je vršena mašinom NBN sa gasovima N_2/H_2 .

Radna temperatura nije prelazila $150^\circ C$, što je posebno značajno zbog

strukturnih preobražaja i toplotnih naprezanja radilice.

Uporedo sa radilicom rađeni su i test-uzorci kako bi se mogle kontrolisati neke karakteristike koje u ovom trenutku nije bilo moguće izvesti na samoj radilici, zbog njene dalje upotrebe i praktične provere u samom motoru.

Interesantno je uporediti mikrostrukturu na test-uzorcima koja je dobijena sa prahom navedenih svojstava koji je nanešen sa uređajem za metalizaciju prahom (sl. 4) i uređajem za metalizaciju plazmom (sl. 5).

Sl. 4 — Mikrostruktura sloja dobijenog pištoljem za prah (povećanje $\times 100$)

Sl. 5 — Mikrostruktura sloja dobijenog plazma-postupkom (povećanje $\times 100$)

Na sl. 5. jasno se vidi bolja gostina sloja, usitnjenost i kompaktnost mikrostrukture.

Mikrostruktura sloja nanetog uređajem za metalizaciju prahom je 32 HRC, a plazma-postupkom 41 HRC.

Posle metalizacije radilica je mašinski obrađena brušenjem brusom C120 KGV i parametrima brušenja:

— uz hlađenje sredstvom za hlađenje BIOSINT-050, obimna brzina radnog komada 21—30 m/min;

— obimna brzina brusa $V_t=1700$
do 2000 m/min;

— broj obrtaja brusa $n=650$ do 800 o/min;

— brzina aksijalnog pomeranja
brusa $S_a = 0,3$ m/min. za prethodno
brušenje;

— brzina aksijalnog pomeranja
brusa $S_a=0,1$ m/min za završno bru-
šenje;

— veličina dubine brušenja po jednom duplom hodu brusa $t=0,015 \div 0,030$ mm/dh.

Tabela 2

ISPITIVANJE IZVRSENO !!!

----- DOBIJENI REZULTATI ODGOVARAJU
----- PROPISANIM KARAKTERISTIKAMA MOTORA

ZEILE NR	LAUFZEIT ST:MI:SE	ZKENN TYP	N 1/MIN	ND x 10N	PE X 10KV	POZGASA Z	VRENPOT SEC	PULJAGN BAR	TULJAU CEL	TVODEUL CEL	PVAZTUR BAR
		PGASKAR NBAR	OBRTAJI 1/MIN	NDRED X 10N	PERED X 10KV	SPECPOT G/KWH	POTROS KG/H	PULJAZL BAR	TULJAIZ CEL	TVODIZD CEL	TVODIZL CEL
1	0: 0: 0	ND 1	2009 2010	254 264	50.9 53.1	99.9 0.0	0.0 0.00	8.7 0.0	41 85	74 83	0.00 84
TULVAZT PIZGASD PIZGASL TIZDG 3 TIZDG 4 TIZDG 5 TIZDG 6 PDIZELA PBENZIN PBARON VLAZDOS TVAZDUN CEL BAR BAR CEL CEL CEL CEL BAR BAR NBAR Z CEL											
TVAZTUR TIZGASD TIZGASL TIZDG 7 TIZDG 8 TIZDG 9 TIZDG10 TGORIVA PCILIND KORAK GRESKA GRPOLJE CEL CEL CEL CEL CEL CEL CEL CEL BAR NR KOD NR											
21	0.00 0	0.00 733	0.00 728	0 0	0 0	0 30	0.0 20	0.0 2.6	984	60	25

Ovako obrađena radilica ugrađena je u motor i proverena u probnoj stanici čiji su završni rezultati ispitivanja prikazani u tabeli 2.

U tabeli su navedeni rezultati ispitivanja motora, koji je bio podvrgnut četiri puta dužem vremenu ispitivanja od propisanog, a snaga motora je povećana za 81 kW iznad gornje granice eksploatacije.

Rezultati ovog ispitivanja izuzetno su dobri, što je omogućilo da radilica bude ugrađena u motor-TMS koje se već više godina nalazi u eksploataciji.

Prilikom generalnog ponovnog remonta ovog motora radilica se podvrgava detaljnim laboratorijskim ispitivanjima radi dobijanja statističkih podataka o kvalitetu regeneracije radilica dizel motora PLAZMA-postupkom.

Zaključak

Teoretske postavke i rezultati praktičnih i laboratorijskih ispitivanja govore da metalizacija PLAZMA-POSTUPKOM može biti jedna od vodećih metoda regeneracije posebnih vitalnih delova i sklopova TMS-a.

Literatura:

[1] METCO — Technical Bulletin.

[2] N. Đurić i D. Mišović: Ispitivanje metaliziranih slojeva.

[3] METCO — Application Bulletin No 421 i No 422.

[4] D. Mišović: Metode regeneracije.