

ŽELJKO STOJANOVIĆ
SANJA STANISAVLJEV
SNEŽANA RADOSAVLJEVIĆ

Originalni naučni rad
UDC:620.197.5:669.15.292

Primena postupka vanadiranja u funkciji produženja radnog veka delova

U radu je dat pregled literaturnih podataka o istraživanju uticaja sloja vanadijum karbida, formiranog termo-reaktivnom difuzijom na površini alatnih čelika i kalupa za livenje i kovanje. U zapadnoj naučno-stručnoj literaturi (USA i Japan) postoji dosta informacija o vanadiranim slojevima dobijenim na alatnim čelicima i kalupima, dok je u našim naučno-stručnim krugovima, i pored superiornih osobina koje sloj pruža u procesu eksploatacije, postupak ostao gotovo nepoznat. Kako je postupak vanadiranja još uvek uglavnom nepoznat našoj široj naučno-stručnoj javnosti, u radu su sistematizovana znanja i opisane osnovne zakonitosti, prednosti i nedostaci postupka vanadiranja, sa osvrtom na karakteristične primere njegove primene na sadašnjem nivou znanja. S obzirom da ekstremno tvrdi sloj formiran postupkom vanadiranja poseduje odlične osobine, od kojih treba izdvojiti: veoma visoku otpornost prema mehanizmu abrazije i athezije, dobre tribo-hemijske osobine i vrlo nizak koeficijent trenja, autori smatraju da će podaci u ovom radu poslužiti kao korisna referenca za proširenje primene ovog postupka i u našim proizvodnim pogonima, kao uobičajenog postupka obrade.

Ključne reči: vanadiranje, abrazija, athezija, tribo-korozija, alatni čelici, kalupi

1. UVOD

Životni vek mašinskih elemenata i alata je bitan faktor u proizvodnji, posebno u veliko serijskoj i sofisticiranoj proizvodnji. Tokom godina činjeni su značajni napori za povećanje otpornosti na habanje i radnog veka korišćenjem različitih tehnoloških postupaka. Pokušaji su činjeni u pravcu primene kvalitetnijih materijala i adekvatne termičke obrade, i u smeru primene različitih postupaka modifikacije i presvlačenja površina u cilju povećanja trajnosti. Površinski slojevi se razlikuju od tretiranog osnovnog materijala u pogledu hemijskog sastava, mikrostrukture, kristalne rešetke i ostalih fizičkih i hemijskih karakteristika koje rezultiraju različitim svojstvima u eksploataciji.

Već izvesno vreme, uporedo sa PVD postupcima, primenjuju se postupci difuzionog oblaganja. Ovi postupci imaju svoje poreklo u *Toyota Diffusion Process* i nekoliko patenata, i imaju neke tehničke i ekonomske prednosti nad PVD postupcima, ali i neka ograničenja u primeni [1]. Prednosti postupka difuzionog oblaganja su te da oni stvaraju slojeve veće dubine i veće tvrdoće, kao i superiorne tribološke karakteristike, posebno abraziju i tribokoroziju. Mana ili ograničavajući faktor ovih postupaka je primena na delovima sa bliskim tolerancijama dimenzija. Kako se postupci vrše na visokim temperaturama, izazivajući promene u mikrostrukтури osnovnog metala, posledica je promena dimenzija i stvaranje sloja na površini mašinskog elementa. Na taj način, promene dimenzija su veće nego kod primene PVD postupka.

Osnovna razlika između difuzionog formiranja karbidnog sloja i postupka presvlačenja je u tome, da je kod difuzionog formiranja karbidnih slojeva supstrat najvažniji faktor koji utiče na formiranje karbidnog sloja.

Termalna difuzija (TD) ili termoreaktivni difuzioni (TRD) postupak oblaganja razvijen je od strane *Toyota Motor Corporations Central R & D Laboratories* u Japanu, posebno da reši problem habanja. [2] TD postupak proizvodi gladak, tanak i neporozan sloj ekstremno tvrdog vanadijum karbida na površini čelika. Glavna prednost TD postupka je ta, da je za razliku od drugih konvencionalnih presvlaka koje su samo deponovane na površinu, TD obloga metalurški difuziono vezana na čeličnom supstratu.

Ovo difuziono vezivanje (prijanjanje) pruža neuporedivu otpornost prema ljuštenju i atheziji TD obloge. [2] Nije bitno koliko tvrd ili gladak sloj može biti, ako ne ostaje na alatu, to nije od pomoći. To je ključ uspeha TD obloge u odnosu na ostale tvrde obloge.

Cilj ovog rada je suštinski doprinos interpretaciji i boljem razumevanju postupka vanadiranja, kao i afirmacija postupka, sa ciljem proširenja njegove primene u industriji radi proizvodnje fabrikata visokog kvaliteta.

2. OPŠTE O TERMOREAKTIVNOM FORMIRANJU KARBIDNIH SLOJEVA

Difuziono formiran karbidni sloj na površini čelika ima rastuću primenu u industriji. Ovo je usled činjenice, da su troškovi investicija u potrebnu opremu relativno niski, i visoke otpornosti na abraziju

Adresa autora: Partizanska 34/e, 23208 Elemir
Rad primljen: 20. 01. 2013

i tribokoroziju. [1] Postupak se najčešće sprovodi u sonom kupatilu odgovarajućeg sastava, uz dodatak jednog od karbidoobrazujućih elemenata (V, Cr, Nb, W, Ti). Karbidoobrazujući element (npr. vanadijum, V) reaguje na površini čelika sa ugljenikom (C), koji je na visokim temperaturama procesa atomski rastvoren u austenitu, formirajući veoma stabilan V_8C_7 karbid, ili neki drugi karbid (NbC , Cr_7C_3 , WC , TiC). Karbidni sloj raste na površini u procesu difuzije ugljenika iz površinskog sloja čelika prema karbidnom sloju, i kroz njega na novoformiranu površinu gde reaguje sa karbidoobrazujućim elementom. Istovremeno, mala količina karbidoobrazujućeg elementa difunduje kroz formirani karbidni sloj u površinski sloj čelika. Pored visoke temperature, stopa formiranja karbidnog sloja u velikoj meri je pod uticajem hemijskog sastava čelika.

TD postupak je veoma sličan konvencionalnim postupcima toplotnog tretiranja. Aktuelni postupci termomodifikacije uključuju potpuno uranjanje delova u rastopljeno sonno kupatilo, uglavnom na temperaturama između 950 i 1050 °C. [2] Soli TD postupka su specijalno formulisane i imaju sirup kao konzistenciju, za razliku od konvencionalnih soli za termičku obradu. Ova visokotemperaturna reakcija stvara ekstremno visoku čvrstoću vezivanja. TD oblaganje, metodom u sonom kupatilu, znači da se reakcija obloge javlja gde god so dođe u kontakt sa čelikom. To znači da je oblaganje složenijih dimenzija lako moguće usled potpunog potapanja delova u sonom kupatilu. Takođe, visoka gustina soli pomaže razmeštaju težine alata putem tzv. Arhimedovog principa, što na visokim temperaturama smanjuje distorziju alata pod njihovom sopstvenom težinom [2].

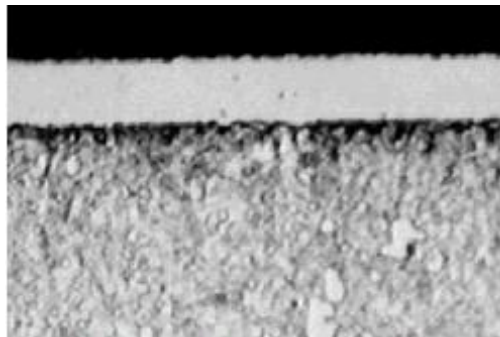
Debljina TD obloge može biti precizno kontrolisana preko prilagođavanja vremena obrade, temperature kupatila i vrste čelika. Delovi, takođe, mogu biti ponovo obloženi. Ponovno oblaganje zavisi od primene, a nakon otprilike 4 ili 5 ponovnih oblaganja potreban je nov alat.

3. PRIMENA NA RAZLIČITIM MATERIJALIMA

Formirani slojevi su bez pora, kao što je prikazano na slici 1, koja prikazuje sloj vanadijum karbida formiran na alatnom čeliku. Iako su različite granične linije jasno uočljive između sloja i osnovnog materijala, visoka temperatura postupka ubrzava međusobnu difuziju atoma između sloja i osnovnog materijala, obezbeđujući tako veliku snagu vezivanja, tako da se sloj neće ljuštiti u teškim eksploatacionim uslovima, kao što je hladno kovanje [3].

Ovaj postupak obezbeđuje sloj koji se sastoji samo od karbida, bez vezivne faze, a to slabo smanjuje žilavost supstrata. [3] Shodno tome, čelici obloženi

karbidom pokazuju površinu karakterističnih osobina svojstvenih karbidima, kao što je visoka tvrdoća, odlična otpornost prema habanju, otpornost prema oksidaciji i koroziji, kao i unutrašnju jačinu svojstvenu osnovnom materijalu.



Slika 1 - Vanadirana površina alatnog čelika [3]

Vanadijum karbid, V_8C_7 ima kubnu rešetku visoke tvrdoće (3200-3800 HV) sa veoma dobrim tribološkim svojstvima. [1] Otpornost prema habanju je veoma visoka zato što je sloj vanadijum karbida tvrdi od većine tvrdih mineralnih materijala. Otpornost prema tribokorozivnoj ateziji je veoma visoka, pošto je sloj veoma stabilan i hemijski otporan na agresivna sredstva (NaOH, HCL...). Visoka tvrdoća karbidnog sloja ukazuje na to da je sloj krt i samim tim je smanjena otpornost prema zamoru površine.

Jak metalurški spoj između karbidnog sloja i osnovnog materijala (čeličnog supstrata) daje dobru atezivnost površinskog sloja za osnovni materijal. Čak se mogu dobiti i znatno veće debljine tvrdih površinskih slojeva, od 5 do 20 μm , u poređenju sa debljinom PVD slojeva, od 1 do 3 μm .

Yang i saradnici [4] istraživali su mikrostrukturu i osobine površinskog sloja $Cr_{12}MoV$ čelika, tretiranog postupkom vanadiranja u sonom kupatilu. Rezultati istraživanja su pokazali da je, nakon tretiranja vanadiranjem u sonom kupatilu na temperaturi od 950 °C u trajanju od 5 h zatim kaljenja u ulju, i starenja na temperaturi od 180 °C u trajanju od 2 h, $Cr_{12}MoV$ čelik dobio površinski sloj čija je debljina oko 11,4 μm . Sloj se uglavnom sastojao od vanadijum karbida a njegova debljina i mikrostruktura su jednolike i kompaktne. U isto vreme, dobijeni sloj pokazao je izuzetno visoku površinsku tvrdoću od 2586 HV. Otpornost prema habanju čelika $Cr_{12}MoV$ drastično je poboljšana. Pored toga, rezultati istraživanja su pokazali da nije primećen efekat vanadiranja na hrapavost površine $Cr_{12}MoV$ čelika.

Wang [5] je ispitivao ponašanje habanja $Cr_{12}MoV$, 65 Nb i GCr15 čelika obloženih sa vanadijum karbidom i kaljenih bez tog sloja. Ispitivanja na habanje vršena su korišćenjem aparature pinondisc pod uslovima suvog klizanja. Mikrostruktura sloja je

određena korišćenjem optičke mikroskopije i rendgenske difrakcije (XRD). Površinske i podpovršinske promene koje su se desile tokom habanja posmatrane su skenirajućom elektronskom mikroskopijom (SEM). Otpornost na habanje obloženog Cr₁₂MoV čelika poređena je sa otpornošću na habanje obloženog 65 Nb čelika. Vanadirani Cr₁₂MoV i 65 Nb čelici pokazali su od 9 do 30 puta nižu stopu habanja od neobloženih čelika. Stopa habanja vanadiranih Cr₁₂MoV, 65 Nb i GCr15 čelika povećana je sa povećanjem opterećenja. Potvrđeno je da habanje vanadijum karbida zavisi od karakteristika sloja i snage vezivanja osnovnog materijala i sloja. Visoka otpornost na habanje vanadiranih čelika pripisuje se visokoj tvrdoći sloja vanadijum karbida.

Horvath i Perry [6] vanadirali su komplet ugljeničnih čelika (0,15 do 1,45 % C) hemijskom depozicijom iz parne faze sa ciljem proizvodnje sloja vanadijum karbida. Karbid je bio veoma blizu stalnog sastava (VC_{0,84}-VC_{0,89} i mikrotvrdoće 2630 HV_{0,025}), nezavisno od sadržaja ugljenika u čeliku. Mikrostruktura karbida je bila sitnozrnasta bez očigledne preferencijalne orijentacije. Međusloj cementita formiran je ispod karbida na čelicima koji su sadržali više od 1,4 % C.

Na primer, na 800 °C tvrdoća sloja vanadijum karbida opada na vrednost od oko 900 HV, koja je još uvek iznad tvrdoće ostalih tretiranih površina. [9] Kako se sloj vanadijum karbida hladi na sobnoj temperaturi, tvrdoća se vraća na vrednost blizu prvobitne tvrdoće od 3200 HV. [9] Njegova sposobnost da održi svoju tvrdoću pod visokim temperaturama dozvoljava mu da dobro obavlja opracije livenja.

Postupak je, takođe, efikasan u operacijama livenja, pošto je tvrdoća vanadijum karbida veća od tvrdoće abraziva, kao što je Al₂O₃, koji se nalazi u glavama za honovanje i brusnim papirima koji se koriste za poliranje jezgara i valjčića (igala). Ovo omogućava da se lako ukloni aluminijum koji se mehanički zalepi za valjčić, bez značajnih oštećenja ili promena dimenzije valjčića. Vreme poliranja i rezultantno habanje valjčića znatno su smanjeni. [7] Drugi razlog njegove efikasnosti u operacijama livenja je taj što vanadijum karbid hemijski ne reaguje sa aluminijumom. On štiti kalupe od agresivne prirode aluminijuma i sprečava hemijske interakcije između legure za livenje i kalupa. Zbog toga su korozija i spajanje smanjeni. [7] U Japanu, postupak se pokazao posebno efikasnim kod konvencionalnih čeličnih kalupa, kao što je H13, alatni čelik obično korišćen za izradu jezgara i jezgrenih valjčića. Štete prouzrokovane livenjem u kalupima značajno su smanjene.

Aghaie-Khafri i Fazlalipour [8] izvršili su termoreaktivno difuziono oblaganje vanadijum karbidom

DIN 1.2367 čelika za kalupe, u mešavini praha koja se sastojala od ferovanadijuma, amonijum hlorida, glinice i naftalina, na temperaturama od 950, 1050 i 1150 °C u trajanju od 1 do 5 h. Karbidni slojevi su karakterisani mikrostrukturnom analizom, rendgenskom difrakcijom (XRD), analizom mikrotvrdoće i hemijskom analizom. U zavisnosti od vremena i temperature procesa debljina sloja vanadijum karbida formiranog na osnovnom materijalu se kretala u rasponu od 2,3 do 23,2 μm. Tvrdoća slojeva vanadijum karbida bila je oko 2487 HV. Ispitivanje suvog habanja netretiranog i tretiranog DIN 1.2367 čelika za kalupe vršena je na aparaturi pinondisc (valjčić po disku) pri kliznoj brzini od 0,13 m/s. Rezultati su pokazali superiorne karakteristike pri habanju obloženih uzoraka. Takođe je proučavana kinetika vanadijum karbidne obloge ostvarene *pack*-metodom i aktivaciona energija za termoreaktivni difuzioni proces je procenjena na 173,2 kJ/mol.

Liu je sa saradnicima [9] vanadirao čelik za rad u hladnom stanju, Cr₁₂MoV. Proučavali su strukturu obloge i snagu vezivanja. Osim toga, vršeno je poređenje eksperimenata otpornosti prema habanju između obloge i osnovnog materijala, a na osnovu rezultata eksperimenta uočeno je opadanje otpornosti vanadiranog sloja prema mehanizmu habanja. Rezultati su pokazali da je obloga vanadijum karbida gusta, sa finostrukturnom strukturom i visokom snagom vezivanja. Ove pojave pomažu poboljšanju otpornosti obloge prema habanju. Poređenje performansi habanja obloge i osnovnog materijala pokazalo je da vanadirani površinski sloj može značajno poboljšati otpornost osnovnog materijala prema habanju. Koeficijent trenja je smanjen sa 0,48 na 0,33 a gubitak mase pri habanju je smanjen za 95 %.

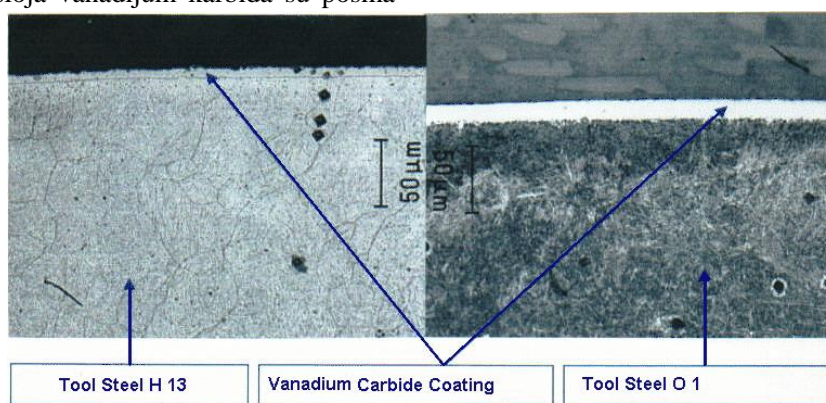
Fazluddin i saradnici [10] oblagali su vanadijum karbidom ugljenični čelik EN9 i meki čelik. Uzorci su bili uronjeni u otopljeno sono kupatilo koje je sadržalo odgovarajuće karbido obrazujuće komponente na temperaturama u rasponu od 850 °C do 1100 °C. Uzorci su tretirani sa različitim vremenskim trajanjem u cilju dobijanja obloga različitih debljina. Korozivno ponašanje obloga vanadijum karbida ocenjivano je pomoću ubrzanih elektrohemijskih testova. Rezultati su pokazali da je otpornost karbidne obloge prema koroziji superiornija od netretiranih osnovnih legura.

AISI (American Iron and Steel Institute) 1040 čelici su srednje ugljenični čelici i jeftini materijali koji se široko koriste u proizvodnji jednostavnijih konstrukcija i mašinskih elemenata. Glavna ograničenja ovih materijala su njihova niska tvrdoća i loše karakteristike trenja i habanja. Iz tog razloga, činjeni su mnogi pokušaji poboljšanja njihove tvrdoće i triboloških svojstava.

U cilju poboljšanja mehaničkih osobina AISI 1040 čelika, Calik i saradnici [11] izveli su postupak vanadiranja u kupatilu sa rastopljenim boraksom (55 % Fe-V + 45 % boraksa) na temperaturi od 937 [°C] u trajanju od 4 h pod atmosferskim pritiskom. Ispitni uzorci su sa mešavinom zagrejani u elektrotopornoj peći. Nakon procesa, uzorci su uklonjeni iz peći, ohlađeni na vazduhu, odrezani sa jedne strane, metalografski pripremljeni brušenjem sa brusnim papirom veličine zrna od 1200 i polirani korišćenjem aluminijumske paste prečnika zrna 3 μm. Pre ispitivanja, polirani uzorci su nagriženi sa 4 % Nitalom. Morfološka i debljina sloja vanadijum karbida su posma-

trani korišćenjem optičkog mikroskopa. Prisustvo karbida na površini vanadijum karbidne obloge utvrđen je korišćenjem difraktometra, a tvrdoća obloge vanadijum karbida određena je korišćenjem Vickersovog aparata sa opterećenjem od 100 g. Efektivna debljina difuzionog sloja uzoraka vanadijum karbidne obloge bila je oko 5 μm, dok je mikrotvrdoća obloge vanadijum karbida bila oko 1650 HV.

Slika 2 pokazuje deponovani sloj vanadijum karbida na alatnom čeliku za rad u toplom stanju AISI H13 i na alatnom čeliku za rad u hladnom stanju AISI O1.



Slika 2 - Deponovani (nanešeni) sloj vanadijum karbida na alatnom čeliku za rad u toplom stanju-AISI H13 i na alatnom čeliku za rad u hladnom stanju AISI O1. [12]

4. INDUSTRIJSKA PRIMENA

Tvrđ i tanak površinski sloj često se primenjuje na čeliku za rad u hladnom stanju od kojeg je formiran kalup. Obloge su obično ekstremno tvrde keramike sa debljinom od samo nekoliko mikrona, ali su posebno efikasne u poboljšavanju performansi kalupa u otporu prema habanju, pucanju i atheziji. Samo nekoliko tipova obloga se efektivno koriste u industriji nerđajućeg čelika. [13]

U industriji hladnog kovanja, kvalitet proizvoda i cena kalupa za kovanje značajno utiču na performanse kalupa. Iz tog razloga, činjeno je mnogo napora za poboljšanje performansi kalupa. [3] Nažalost, ispitivanja sa različitim površinskim tretmanima nisu uspešna da dobiju plodonosne rezultate u mnogim zemljama. U Japanskoj industriji hladnog kovanja, primetan uspeh ostvaren je zahvaljujući upotrebi dve vrste postupka oblaganja karbidom. Jedan od njih je sloj titanijum karbida (TiC) proizveden postupkom hemijske depozicije iz parne faze, koji je razvijen u zapadnoj nemačkoj, a zatim predstavljen u Japanu. Drugi je sloj vanadijum karbida proizveden upotrebom rastopljenog sonog kupatila. Ovaj proces, nazvan TD procesom, razvijen je od strane *Toyota Central Research and Development Labs of Japan*, i predstavljen razli-

čitim japanskim industrijama počevši od 1971. godine.

Prema profesoru Božidaru Matijeviću [14], postupak ima jedan nedostatak: parcijalno (delimično) razugljeničenje čelične površine ispod sloja karbida smanjuje tvrdoću i kapacitet opterećenja površine. Ovaj nedostatak je eliminisan od strane razvijenog i patentiranog dupleks postupka, prethodno uvođenje cementacije kako bi se sprečilo razugljeničenje i formirao otvrdnuti podsloj ispod sloja karbida. Novo razvijeni proces bi trebalo da doprinese širokoj primeni difuzione karbidne obloge u automobilske industriji.

Industrijska primena difuzionog vanadiranja u većem obimu, počela je u Japanu a zatim se proširila na ostale industrijski razvijene zemlje, usled odličnih triboloških svojstava površinskih slojeva vanadijum karbida. Primena vanadiranja na strukturne elemente i alate u različitim granama inženjerstva doprinosi značajnom povećanju njihove dugotrajnosti u eksploataciji. Primena vanadiranja u proizvodnji alata je proizvela odlične rezultate sa brojnim vrstama alata koji su u svojoj eksploataciji izloženi athezivnom i tribohemijom mehanizmu habanja. Za abrazivni mehanizam habanja, vanadiranje je pravi izbor za tretiranje delova alata koji su izloženi habanju tvrdim abrazivnim česticama. Površinski sloj vanadijum karbida

produžava životni vek alata za nekoliko puta. Tipičan primer su delovi alata za sabijanje praha i delovi za ekstrudiranje.

Što se tiče athezivnog mehanizma habanja, vanadiranje se primenjuje na alate za procese oblikovanja metala, kao što su ekstruzija, kovanje i izvlačenje [1]. Koliko god je tribokorozivni mehanizam habanja u pitanju, vanadijum karbidni površinski sloj efikasno štiti alate koji se koriste u veoma agresivnim sredinama, čak i u HCl (hlorovodonična kiselina) i HNO₃ (azotna kiselina) [1]. Karbidni sloj se posebno koristi u reaktivnom spajanju za delove alata za livenje aluminijuma. Proces ima široki spektar primene, od pijala (hranitelja) do formiranja probojaca i kalupa, i pruža značajno poboljšanje performansi. Najveća industrijska primena su probojci za pirsing i ekstrudiranje [1]. Primena na različitim čelicima za kalupe takođe je evidentna. U mnogim slučajevima, vanadijum karbid je obložen na čeliku za kalupe i brzo-reznom čeliku. Međutim, vanadijum karbid se takođe koristi na kovačkim kalupima od volfram karbida, sa značajnim unapređenjem veka trajanja kalupa. Postupak se, takođe, uspešno koristi u kovanju nerđajućeg čelika, na čelicima za kuglične ležajeve, i obojenim metalima. Kalupi koji se koriste kod toplog kovanja nerđajućeg čelika se, takođe, tretiraju ovim postupkom. Sloj vanadijum karbida se stalno primenjuje čak i za kalupe za toplo kovanje.

Povećanje životnog veka od nekoliko puta nije neuobičajeno, usled eliminacije problema habanja. Kao rezultat toga, u industriji su postignute velike uštede u potrošnji kalupa. Dodatne prednosti, u nekim slučajevima su bile daleko veće.

5. ZAKLJUČCI

U ovom poglavlju rada učinjen je pokušaj da se proceni značaj sprovedene analize i da se pronađe odgovarajuće mesto predočenih rešenja u okviru šireg pogleda na oblast termoreaktivnog postupka vanadiranja. Daje se osvrt na raspoložive podatke i sumira znanje iz oblasti inženjerstva površina. Objektivno sprovedeno istraživanje i analiza podataka pokazalo je osnovne zakonitosti i postavke, mogućnosti i ograničenja postupka vanadiranja.

Tekst ovog rada je imao za zadatak da objektivno pokaže prednosti i mane vanadijum karbidnog sloja. Sve u svemu, zaključeno je da prednosti vanadiranja nadmašuju njegove mane. Takođe je pokazana opravdanost izbora ove vrste rešenja za probleme abnormalnog trošenja delova u dodiru sa okolnom agresivnom sredinom. TD postupak znatno povećava otpornost prema habanju čeličnih kao i kalupa za hladno kovanje od volfram karbida, bez složene procedure i komplikovane opreme.

Na osnovu postavljenog cilja ovog rada i definisanog sadržaja istraživanja, kao i na osnovu obrađenih literaturnih podataka, može se zaključiti da difuziono formiranje tvrdih karbidnih slojeva nudi nove mogućnosti alatima za obradu, čime se značajno povećava otpornost prema habanju, omogućava duži životni vek u eksploataciji i shodno tome veća ekonomičnost primene. Iz navedenog, nedvosmisleno se može zaključiti da postupak vanadiranja predstavlja obećavajući metod za poboljšanje osobina različitih vrsta čelika pošto daje slojeve odličnog kvaliteta i ujednačenosti, visoke tvrdoće i dubine, glatke i kompaktne morfologije.

LITERATURA

- [1] B. Matijević, M. Stupnišek: *Application of vanadizing process of tools and dies*, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, University of Zagreb, Croatia.
- [2] TD coating centre, Coating and Manufacture of performance tooling, <http://www.td.co.za/td.html>
- [3] Carbide Coating Process and Application in Japanese Cold Forging Industry, http://www.tdcoating.com/SME_February96.htm (posećeno oktobra 2011).
- [4] M.B. Yang, L.W. Tang, H. Yang, W.L. Zhao, *Key Enginee. Mater.*, 373-374, (2008) 196.
- [5] G.B. Wang, *Wear*, 212, (1997) 25.
- [6] E. Horvath, A.J. Perry, *Thin Sol. Fil.*, 65, (1980) 309.
- [7] Tool Treatment Extends Core and Pin Life in Die Cast Operations, http://www.tdcoating.com/DCE_tool_treatment.htm (posećeno oktobra 2011).
- [8] M. Aghaie-Khafri, F. Fazlalipour, *Journ. of Phys. and Chem. of Sol.*, 69, (2008) 2465.
- [9] X.J. Liu, Q.L. Li, J.X. Jiang, B. Liu, *Advan. Mater. Resea.*, 150-151, (2010) 183.
- [10] S.B. Fazluddin, A. Koursaris, C. Ringas, K. Cowie, *Mater. and Manufact. Proce.*, 10, (1995) 159.
- [11] A. Calik, F. Taylan, O. Sahin, N. Ucar, *Ind. Journ. of Enginee. & Mater. Scienc.*, 16, (2009) 326.
- [12] IBC Coating Technologies Inc, Vanadium Carbide Coating (TDC & TD-H),
- [13] <http://www.ibccoatings.com/vanadium-carbide-coating-tdc-tdh.html>
- [14] J. Ferreira, A. Banach, *Hard thin film coatings for forming tools*, TD Coating Centre (Pty) Ltd, South Africa, 1450.
- [15] B. Matijević, M. Stupnišek: *Novelty in Diffusion Coating Technology*, Materials and Manufacturing Processes, Vol. 24, Numbers 7-8, pp. 887-893 (7), Taylor and Francis Ltd, 2009.

ABSTRACT**APPLICATION PROCESS OF VANADIZING IN THE FUNCTION OF EXTENSION WORKING LIFE OF PARTS**

This paper gives review of literature data about the research influence of vanadium carbide layer formed by thermal-reactive diffusion on the surface of the tool steel and die for casting and forging. In western scientific and professional literature (USA and Japan) exists a lot of information about the vanadized layers obtained on tool steel and dies, while in our scientific and professional circles, and beside of the superior qualities whose layer provides in the process of exploitation, the process remained almost unknown. As the procedure of vanadizing still largely unknown our broader scientific and professional public, therefore, in the paper are systematized knowledge and described the basic principles, advantages and disadvantages of the procedure of vanadizing, with emphasis on specific examples of its application on current level of knowledge. Considering that the extremely hard layer formed by procedure of vanadizing possesses excellent properties, of which should be singled out: very high resistance to the abrasion and adhesion mechanism, good tribo-chemical properties and very low coefficient of friction, the authors believe that the data in this paper serve as a useful reference for the expansion of application this procedure in our manufacturing facilities, as the usual treatment process.

Key words: vanadizing, abrasion, adhesion, tribo-corrosion, tool steel, dies

Paper received: 20.01.2013.

Scientific paper