



PULSE PLASMA NITRIDING OF ALUMINIUM ALLOY EXTRUSION DIES

Veljko ZLATANOVIĆ, Batalab, Beograd

Milorad ILIĆ, Tehnomarket, Pančevo

Miodrag ZLATANOVIĆ, Elektrotehnički fakultet u Beogradu

Summary

The service life of aluminium alloy extrusion dies was investigated by field testing in production equipment. Two types of die bearing surface treatment were applied: conventional plasma nitriding and pulse plasma nitriding. In the laboratory experiments the ability of pulse plasma to enter deeply into small openings of complicated geometry was investigated. It was found that the inner bearing surface can successfully be nitrated by applying a pulse plasma with 57 μ s on period and 3 μ s off period. The dies made of steel grade H13 were plasma nitrated in conventional and pulse plasma equipment and the number of extrusions of aluminium alloy AA 6063 profiles was used as the tool operation criterion. After testing period, the conventionally plasma treated dies were subjected to pulse plasma nitriding. The number of extrusions between two subsequent nitriding was found to be 1.9 – 3.9 times larger in case of pulse plasma compared to conventional plasma treatment.

Keywords: pulse plasma nitriding, extrusion dies, tool wear, tool life

1. UVOD

Šipke različitih profila, cevi, žice i drugi proizvodi izrađeni od aluminijumskih legura široko se primenjuju u industriji i građevinarstvu. U poređenju sa čelikom, proizvodnja aluminijuma neprekidno se povećava. Legure aluminijuma su idealne za obradu izvlačenjem zahvaljujući njihovoj niskoj tvrdoći i plastičnosti na povišenoj temperaturi. Građevinska stolarija izrađena od legura aluminijuma ima superiorne karakteristike u odnosu na klasičnu zasnovanu na preradi drveta, a dizajn fasada u savremenoj arhitekturi široko koristi kombinaciju aluminijumskih profila i stakla, uz mogućnost integrisanja urbane solarne arhitekture. U postupku ekstruzije, valjkasti blokovi legure aluminijuma zagrevaju se do temperature pogodne za izvlačenje profila i hidrauličnom presom istiskuju kroz otvore alata oblikovane na osnovu zahteva za dobijanje određenog Al profila. Istisnuta legura se izvlači određenom silom kako bi se postigao pravolinijski oblik profila. Tokom

ekstruzije, radne površine alata izrađenog od čelika izložene su intenzivnom adhezivnom, abrazivnom i termičkom habanju, kao i dejstvu korozije u kontaktu sa zagrejanom aluminijumom. Alat se pre početka rada zagreva na temperaturu od 300-500^oC, dok temperatura legure, prethodno predgrejane u komori, tokom izvlačenja poraste u izvesnoj meri usled trenja i može, zavisno od primenjenog postupka, dostići maksimalnu vrednost od 500-620^oC. Za ekstruziju se koriste prese i od nekoliko tona, tako da je karakterističan pritisak u alatu oko 200 bar. Alat za ekstruziju mora posedovati dobra mehanička svojstva na povišenoj temperaturi, kao i otpornost na koroziju, na termički zamor i na abrazivno, adhezivno, termičko, hemijsko i difuzino habanje.

Alati za ekstruziju najčešće se izrađuju od čelika AISI H13 (\approx JUS Č.4753) i u praksi se ne koriste bez površinske obrade u cilju dobijanja zahtevanih triboloških osobina. Najčešće zastupljene metode obrade radnih površina alata su nitriranje i depozicija zaštitnih prevlaka, kao i

kombinacija ova dva postupka. Od postupaka nitriranja najviše se primenjuju nitriranje u sonom kupatilu i gasno nitriranje pošto oba postupka omogućuju obradu uskih procepa (otvora) širine manje od 1 mm. Rede korišćenje sonih kupatila uslovljeno je ekološkim a ne tehnološkim razlozima. Jednu varijantu gasnog nitriranja specijalno namenjenu obradi alata za ekstruziju aluminijumskih legura razvila je firma Nitrex [1]. U novije vreme sa uspehom se primenjuju postupak nitriranja impulsnom plazmom [2], plazma oksidacija [3], depozicija tvrdih prevlaka [4,5] i takozvani duplex postupak [6,7].

U radu su prikazani rezultati eksploatacionih ispitivanja postojanosti nekih vrsta alata za ekstruziju aluminijumskih legura obrađenih postupkom impulsnog plazma nitriranja i izvršeno je poređenje sa alatima nitriranim klasičnim postupkom u plazmi.

2. IMPULSNO PLAZMA NITRIRANJE

Jedan od savremenih načina formiranja nitriranog sloja na površini materijala sa sadržajem gvožđa je uspostavljanje tinjavog pražnjenja (plazme) oko radnog komada koji predstavlja katodu gasnog pražnjenja. Primenjen jednosmerni napon između katode (uzorak) i anode (zid vakuum komore) može biti kontinualan ili u impulsima čija se frekvencija kreće u opsegu od 1 Hz do 500 kHz. Zbog mogućnosti precizne kontrole površinskih struktura i ekološke prihvatljivosti, plazma nitriranje postepeno zamenjuje nitriranje u drugim aktivnim sredinama.

Plazma postupci nisu pogodni za obradu otvora malih prečnika i uskih procepa kompleksne prostorne geometrije kao što su alati za izvlačenje profila od aluminijumskih legura. Pri obradi ovakvih delova može doći do efekta “šuplje katode” i lokalnog pregrevanja alata, kao i do slabog prodiranja plazme u procepe koje je potrebno nitrirati. Impulsna plazma znatno dublje prodire u male otvore i smanjuje verovatnoću pojave efekta šuplje katode u poređenju sa klasičnim postupkom nitriranja u vremenski kontinualnoj plazmi [2].

Tabela 1. Raspodela “metalografske” debljine zone difuzije d po dubini kanala (procepa) l

l [mm]	0	3.5	5.2	6.2	7	8
d [μ m]	78	67	56	45	29	16

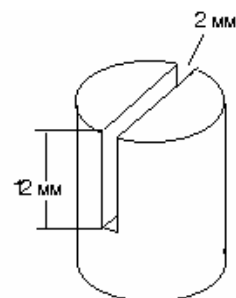
Napomena: Na sredini dna kanala debljina nitrirane zone na osnovu mikrotvrdoće je $d_{dif}=38 \mu$ m

2.1 Eksperiment obrade uskih otvora

Uređaj za plazma nitriranje u impulskoj plazmi korišćen za eksperimente u ovom radu prikazan je u radovima [2,8]. Obrada alata klasičnim plazma postupkom vršena je u industrijskom uređaju sa tinjavim pražnjenjem koji kao radnu atmosferu koristi amonijak umesto smeše gasova i kod koga nije moguća promene frekvencije plazma generatora. Oba uređaja su sa hladnim zidovima, odnosno vrši se vodeno hlađenje zida vakuum komore.

Uzorci su izrađeni od čelika za topli rad Č.4751 koji sadrži manje legirajućih elemenata od čelika korišćenog za izradu alata, ali zadovoljava uslove ispitivanja sposobnosti prodiranja tinjavog pražnjenja u uske otvore. Na slici 1. prikazana je geometrija uzorka koji je služio za ispitivanje sposobnosti prodiranja plazme u uske procepe u impulsnom režimu rada. Otvor je izabran tako da odgovara prosečnoj geometriji procepa matirica alata za ekstruziju legura Al, a u eksperimentima su korišćeni uzorci sa dubinom kanala 8 mm i 12 mm.

Obrada uzorka prve grupe vršena je pri standardnim parametrima procesa i pri frekvenciji tinjavog pražnjenja od 16,7 kHz. Ova frekvencija izabrana je uz pretpostavku da dubina prodiranja plazme u uske procepe raste sa porastom frekvencije. Plazma je periodično uspostavljena i gašena pri čemu je vreme trajanja napajanja plazme iznosilo $\tau_{on}=57 \mu$ s, a vreme trajanja pauze $\tau_{off}=3 \mu$ s.

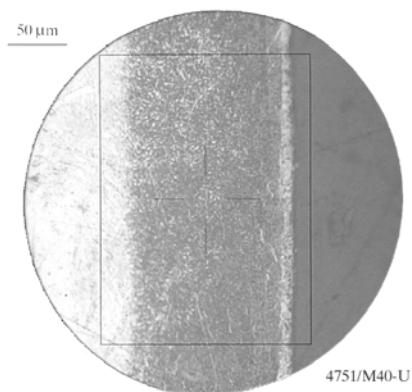


Sl. 1 Geometrija uzorka za ispitivanja dubine prodiranja nitriranog sloja

Posle obrade u plazmi uzorci su presečeni po vertikalnoj osi u ravni normalnoj na ravan procepa radi posmatranja raspodele nitriranog sloja po dubini proreza. Nakon zatapanja i poliranja, debljina sloja na različitim dubinama u procepu uzoraka određivana je metalografski razvijanjem strukture nagrizanjem u 3% nitalu. Merenjem dubinskog toka mikrotvrdoće vršeno je poređenje stvarne debljine sloja i vrednosti dobijene na osnovu metalografskih ispitivanja.

Na uzorku sa oznakom 4751/M38, pri vrhu kanala debljina zone difuzije iznosila je $d_{dif} = 76 \mu m$, a debljina "bele zone" $d_b = 7 \mu m$, dok su pri dnu kanala izmerene vrednosti: $d_{dif} = 31 \mu m$, $d_b = 7 \mu m$.

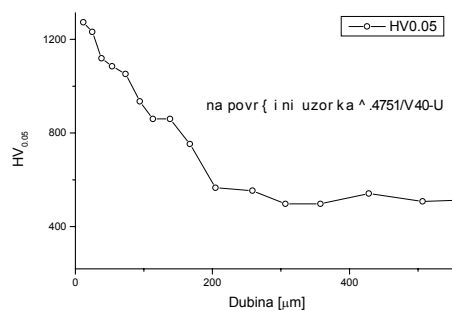
U istoj šarži obrađen je i uzorak od materijala približnog sastava kao čelik Č.4753 i označen oznakom 4751/M38-U. Raspodela "metalografske" dubine nitriranog sloja na ovom uzorku merena po dubini otvora uzduž vertikalne ose uzorka data je u Tabeli 1. Iz tabele 1 se vidi da debljina difuzione zone relativno brzo opada idući od površine kanala ka njegovoj dubini, ali se i metalografskom analizom, bez merenja dubinskog toka tvrdoće, može konstatovati postojanje nitriranog sloja na dnu kanala. Metalografska debljina nitriranog sloja određivanja je merenjem rastojanja od površine poprečnog preseka do dubine na kojoj je vidljivo nagrizanje strukture većeg intenziteta usled postojanja mehaničkog napona u zoni difuzije. Ova debljina je manja od debljine određene na osnovu snimanja dubinskog toka mikrotvrdoće.



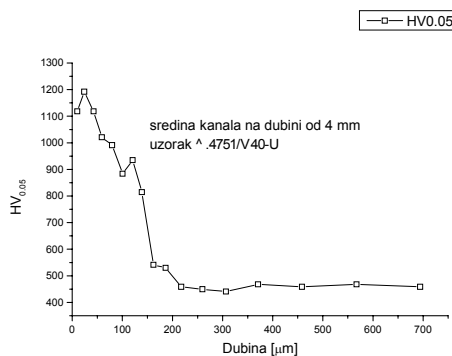
Sl. 2 Struktura sloja na preseku uzorka 4751/M40-U. Nital 3%

Radi postizanja veće dubine zone difuzije neophodne za primenu na alatima produženo je vreme nitriranja. Na slici 2 prikazan je izgled poprečnog preseka nitrirane zone na površini uzorka 4751/M40-U obrađenog na ovaj način. Jasno se uočava zona jedinjenja na površini i zona difuzije ispod nje. Deljina zona difuzije iznosi $d_{dif} = 150 \mu m$, dok je debljina "bele zone" $d_b = 15 \mu m$.

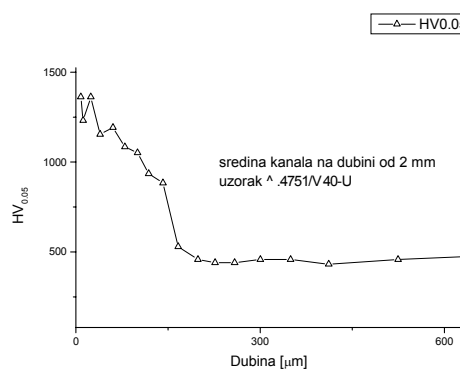
Merena je raspodela mikrotvrdoće u funkciji rastojanja od površine poprečnog preseka uzorka (dubinski tok) na različitim mestima u kanalu i prikazana je na slici 3.



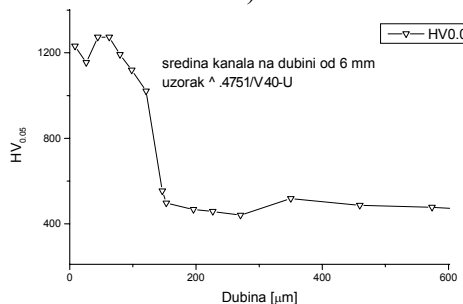
a)



b)

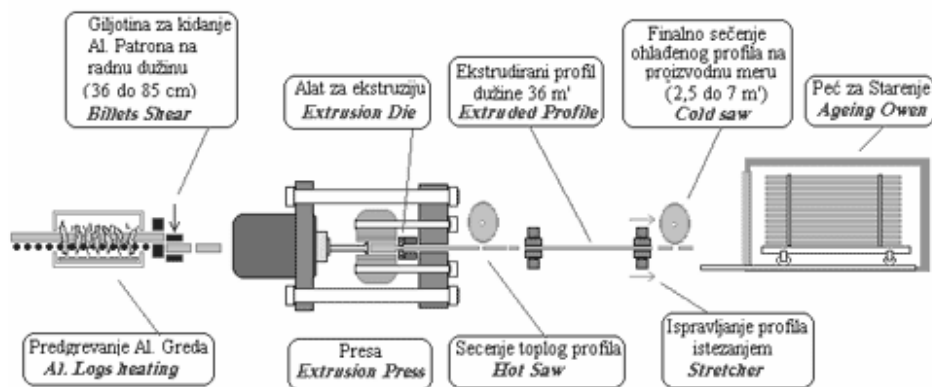


c)



d)

Sl.3 Raspodela dubinskog toka mikrotvrdoće unutar kanala uzorka: a) na ulazu kanala b) na rastojanju 2 mm od gornje površine uzorka c) na rastojanju 4 mm d) na rastojanju 6 mm



Sl. 4. Šematski prikaz uređaja za ekstruziju

Merenja pokazuju da impulsna plazma izvrsno prodire u kanal i da se sa uspehom može primeniti za obradu alata za ekstruziju aluminijuma sa procepima različitih oblika i dimenzija.

Važan zaključak je da takozvano gusto pražnjenje ne dovodi do lokalnog pregrevanja materijala alata i do izmene dubinskog toka mikrotvrdoće i tvrdoće osnovnog materijala.

3. EKSPLOATACIONA ISPITIVANJA

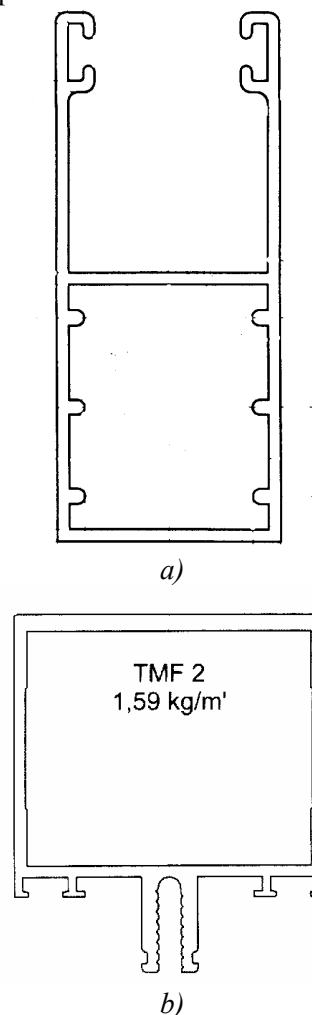
Ispitivanje postojanosti alata za ekstruziju legura aluminijuma u laboratorijskim uslovima zahteva konstruisanje uređaja koji što realnije simulira uslove u proizvodnji. U novije vreme realizovana su eksperimentalna postrojenja koja sa dosta uspeha predviđaju ponašanje alata u eksploataciji [9], međutim, provera uočenih zakonitosti zahteva eksploataciona ispitivanja u proizvodnim uslovima.

Ispitivanje postojanosti alata za ekstruziju obrađenih nitriranjem u impulsnoj plazmi vršeno je u proizvodnom pogonu Tehnomarketa na uređaju čiji je šematski prikaz dat na slici 4.

Za ispitivanje je odabrana grupa od 7 alata konstruisanih iz dva dela (trn i matrica), osim jednog koji je imao samo matricu. Pojedini alati su prethodno bili nitrirani klasičnim plazma postupkom i za njih su postojali podaci o postojanosti. Na slici 5 prikazana su u preseku dva od odabranih profila koji su izvlačeni tokom eksploatacionih ispitivanja alata. Oba profila zahtevaju dvodelne alate koji se sastoje iz trna i matrice. Profil označen kao UIP1a ima debljinu zida od 1,2 mm, dok se kod profila TMF 2 debljina zida na pojedinim mestima razlikuje. Slika 6 je fotografija matrice alata za profil UIP1a, dok se trn postavlja u deo većeg otvora. Prikazani alat ima dve žile, odnosno omogućuje jednovremeno izvla-

čenje dva profila. Kao oznaka alata usvojena je oznaka profila čijem izvlačenju su namenjeni.

Da bi se izbegla moguća pojava efekta šuplje katode i lokalno pregrevanja alata, pre obrade u impulsnoj plazmi izvršena je selekcija alata po delovima, odnosno svih 13 delova (šest dvodelnih alata i jedna matrica) podeljeno je u 3 grupe prema obliku radnih površina, odnosno prema širini i dubini procepa.



Sl. 5 presek profila a) UIP1a i b) TMF 2

Grubo posmatrano, matrice i trnovi su obrađivani u različitim šaržama, s tim što je matrica profila U2P2 morala biti obrađena samostalno u zasebnoj šarži. Parametri procesa su odabrani u cilju dobijanja površinskih slojeva maksimalne žilavosti. Posle čišćenja i odmaščivanja alati su predgrevani u zaštitnoj atmosferi u vakuumu kako bi se obezbedila maksimalna homogenost temperature u šarži. Osim prilikom obrade matrice U2P2, posle dostizanja radnih uslova, temperatura alata održavana je samo pomoću jonskog bombardovanja. Hlađenje alata do temperature od 80°C vršeno je na sniženom pritisku u zaštitnoj atmosferi.

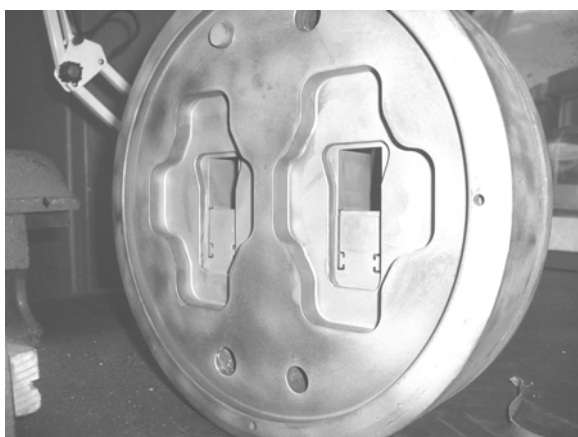
Za ekstruziju je korišćena legura AlMgSi0.5 (AA 6063) sastava 0.20 - 0.60 Si; Max 0.35 Fe; 0.45 - 0.90 Mg. Legura za izvlačenje i alati predgrevaju se u posebnoj komori. Alati se najčešće predgrevaju na temperaturu od 470°C, dok se trupci legure zagrevaju na oko 490°C. U postrojenju se koristi zagrevanje pomoću gasa. Usled trenja u alatu tokom ekstruzije, temperatura profila na izlazu iz alata je između 500°C i 510°C.

Brzina ekstruzije zavisi od profila koji se izvlači, a može se u manjim granicama menjati i za različita izvlačenja istog profila. Tokom ispitivanja alata nitriranih u impulsnoj plazmi brzina izvlačenja se kretala u opsegu od 10-15 m/min.

Rezultati ispitivanja postojanosti alata u eksploatacionim uslovima dati su u tabeli 2. Za meru postojanosti alata između dva uzastopna nitriranja uzet je broj ekstruzija što je, pomnoženo sa dužinom jedne ekstruzije od 36 m, ekvivalentno dužini proizvedenog profila. Ocenu kada je alate potrebno korigovati i poslati na ponovno nitriranje davali su korektori alata na osnovu dugogodišnjeg iskustva. Svi alati su još u radu, a prikazani rezultati odnose se na istraživanja zaključno sa slanjem na ponovno nitriranje posle prve obrade u impulsnoj plazmi. Od četiri do sada ispitana alata, tri su pre obrade impulsnom plazmom više puta nitrirani klasičnim plazma postupkom. Uporedna analiza (kolona 6 tabele 2) pokazuje da je postojanost impulsno nitriranih alata 1,9 do 3,87 puta veća od postojanosti postignute klasičnim plazma nitriranjem.

Tabela 2. Postojanost alata nitriranih klasičnom i impulsnom plazmom

1. oznaka alata	klasičan plazma postupak			5. impulsna plazma broj ekstruzija	6. faktor postojanosti 5/4
	2. broj nitriranja	3. broj ekstruzija	4. prosek ekstruzija		
K2040	2	112	56	136	2.43
K4040	3	135	45	174	3.87
UIP1A	6	397	66	125	1.92
TMF2.1				118	



Sl. 6. Matrica alata za profil UIP1a

Određivanje kriterijuma postojanosti alata u eksploatacionim uslovima predstavlja problem. Naime, kao tehnološki kriterijum može se izabrati pojava riseva na vidljivoj površini profila ili

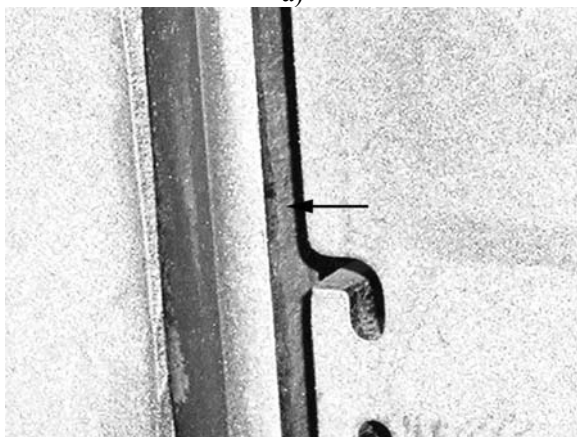
gubitak mere u smislu povećanje debljine zida izvan dozvoljenih tolerancija. U praksi se oštećene površine alata koriguju i ponovo nitriraju, tako da se jedan alat može nitrirati i do 10 puta pre izlaska iz tolerancije. Međutim, alat se najčešće skida kada se završi izvlačenje naručenih količina profila i tom prilikom se vrši kontrola i korekcija radnih površina i donosi odluka o ponovnom slanju na nitriranje. Ovo znači da greška u određivanju postojanosti na osnovu broja ekstruzija između dva nitriranja može biti i 20 ekstruzija (720 m profila).

Ukupan vek trajanja alata za ekstruziju kreće se u opsegu od 20 km do 100 km izvučenih profila, odnosno uz pretpostavku da se alat tokom eksploatacije 10 puta nitrira, 50 do 250 ekstruzija po jednom nitriranju. Iz tabele proizilazi da su oba postupka omogućila postojanost alata u granicama navedenim u literaturi, s tim što je klasičnim nitriranjem postignuta postojanost na donjoj gra-

nici opsega, a impulsnim bliže gornjoj granici. Razlog superiornog ponašanja alata obrađenih u impulsnoj plazmi nije bilo moguće izučavati jer uzorci obrađeni klasičnim postupkom nisu bili dostupni.



a)



b)

Sl. 7. Habanje a) trna i b) matrice alata UIP1a

Na slici 7a prikazan je izgled radne površine trna alata UIP1a pre korekcije i slanja na naredno nitriranje. Alat je obradio oko tri tone profila između dva nitriranja. Na sredini radne površine primećuju se tragovi habanja koji po obliku odgovaraju mehanizmu habanja ranije opisanom u literaturi. [4]. Na radnoj površini matrice tragovi habanja označeni strelicom (sl. 7 b) takođe se formiraju na sredini radne zone po dubini proreza. Dubina kratera, po približnoj proceni, iznosi između 20 i 60 μm . Na ulaznom i izlaznom delu radne površine ne zapaža se odnošenje materijala alata. Ovo sugeriše mehanizam habanja iniciran termičkim i mehaničkim zamorom usled neprekidnog periodičnog zaustavljanja i započinjanja procesa ekstruzije pri ubacivanju novog bloka legure. Tipičan period rada sveden na 60 s bio bi 45 s ekstruzije i 15 s prekida. Može se na osnovu traga habanja pretpostaviti da i u slučaju impulsnog plazma nitriranja osnovni mehanizam habanja

predstavlja formiranje krtoq intermetalnog jedinjenja Fe-Mg-Al-O na površini alata i njegovo odnošenje usled termičkog i mehaničkog zamora. Potvrda ove pretpostavke zahteva detaljniju analizu alata posle završetka radnog veka.

4. ZAKLJUČAK

Na osnovu merenja dubinskog toka tvrdoće na različitim poprečnim presecima proreza na uzorku čelika za topli rad nitriranom u impulsnoj plazmi utvrđeno je da impulsna plazma prodire u dubinu proreza čija dimenzija odgovara konfiguraciji otvora alata za ekstruziju legura aluminijuma. Uporedna ispitivanja postojanosti alata obrađenih klasičnim i impulsnim postupkom plazma nitriranja pokazala su da obrada impulsnom plazmom povećava postojanost alata 1.9 do 3.9 puta. Dalja istraživanja neophodna su za izučavanje eventualnih razlika u mehanizmu habanja alata obrađenih navedenim postupcima.

ZAHVALNICA

Istraživanja su delimično finansirana od strane Ministarstva za nauku i tehnologije Srbije, projekat MIS 3.02.0174.B.

LITERATURA

- [1] Nitrex communicator, Newsletter 21, (May 2002)
- [2] M. Zlatanović, Proceedings. of 7th Yugoslav Tribology Conf. YUTRIB'01, p 7-39-7-44 (2001)
- [3] M.Zlatanović, N.Popović, Ž.Bogdanov, S.Zlatanović, Surface & Coatings Tech. Vol 174-175C pp 1220-1224 (2003)
- [4] T.Bjork, R.Westengard, S.Hogemark, Wear, Vol. 249 pp 3165-323 (2001)
- [5] O.Shigeo, I.-Hideki, patent JP9174145 (1997) Japan
- [6] M. Zlatanović, Surface. and Coating. Techn. Vol 48 p 19 (1991)
- [7] P.Panjan, P.Cvahte, M.Čekada, B.Navinšek, I.Urankar, Vacuum. Vol 61 pp 241-244 (2001)
- [8] M. Zlatanović, I. Popović, A. Zlatanović, SPIG'02 pp 254-257 (2002)
- [9] T.Bjork, M.Berger, R.Westengard, S. Hoge/mark, J.Bergstrom, Surface & Coatings Tech. Vol 146-147 pp 33-41 (2001)