

**PRILOG ISTRAŽIVANJU FUNKCIJE HRAPAVOSTI KOD
ELEKTROHEMIJSKE OBRAD¹**

**ADDITION ABOUT ROUGHNESS FUNCTION RESEARCH AT
ELECTROCHEMICAL PROCESSING**

**Branko Pejović, vanr.prof.,
Slavica Cvetković, red.prof.dr
Fakultet tehničkih nauka,
Kosovska Mitrovica**

**Vladan Mičić, prof.dr
Tehnološki fakultet Zvornik,
Univerzitet u Istočnom Sarajevu**

REZIME

U uvodnom delu rada date su osnove procesa elektrohemijske obrade sa opisom reakcija u elektrolitičkom elementu, kao i dva karakteristična primera odvijanja hemijske reakcije u elektrolitičkoj ćeliji.

U drugom delu rada, za karakterističnu grupu nerđajućih čelika, koji se često koriste u hemijskoj i procesnoj industriji, detaljno je ispitan uticaj različitih parametara na kvalitet obrađene površine. Pri ovome za sve eksperimente merena je srednja aritmetička hrapavost Ra u zavisnosti od gustine struje kao najznačajnijeg režima obrade. Eksperimenti su izvođeni na strugu za elektrohemijsku obradu na prethodno izrađenim epruvetama primenom odgovarajućeg alata. Od uticajnih parametara ispitana su različita termička stanja materijala, različite vrste i karakteristike primenjenog elektrolita. Na kraju rada je izvršena diskusija dobijenih eksperimentalnih rezultata odnosno zavisnosti.

Ključne riječi: elektrohemijska obrada, strugarska obrada, čelici otporni prema hemijskim uticajima, elektrohemijska reakcija, kvalitet obrađene površine, gustina struje, termičko stanje čelika, elektroliti i elektrolitički elementi

ABSTRACT

In introduction of this paper the basics of the electrochemical treatment process with a description of the reactions in electrolytic element, as well as two characteristic examples for chemical reactions in electrolytic cells were presented.

In the second part of this paper we studied influence of various parameters on surface quality for characteristic group of stainless steels. The arithmetic mean roughness Ra in the function of current density was measured in all experiments. Experiments were performed on the lathe for electrochemical treatment on made tubes using appropriate tools. In these experiments studied different thermal state of the materials, various types and characteristics of used materials. At the end of the paper discussion of the obtained experimental results were done.

¹ Ovaj rad je urađen u skopu projekta TR 35034 finansiran od strane Ministarstva za nauku Republike Srbije

Key words: electrochemical treatment, turnery processing, steels resistance on chemical influence, electrochemical reaction, surface treatment quality, current density, thermal state of steel, electrolytes and electrolytic elements

1. UVODNA RAZMATRANJA

Elektrohemijska obrada (Electro Chemical Machining) se bazira na Faradejevom zakonu, i u poslednje vreme su razvijeni njeni različiti postupci koji se dalje usavršavaju [1-2].

Zahtevi za novim materijalima kao i novim delovima specifične konstrukcije i strožijim zahtevima u pogledu tačnosti obrade i kvaliteta obrađene površine, doveli su do toga da se neke industrijske grane, npr. avionska, automobilska, indsutrija turbine i dr. ne mogu ni zamisliti bez primene ovog postupka obrade.

Elektrohemijska obrada se zasniva na elektrohemijskoj reakciji između metala obradka i jona koji nastaje u elektrolitu pod dejstvom električne struje [1, 3].

U skladu sa Faradejevim zakonom, masa metala koji se rastvara pri ovoj elektrohemijskoj reakciji je proporcionalna jačini struje koja protiče između elektroda (obradka i alata) i vremena njenog proticanja. Njena teorijska vrednost se može odrediti na osnovu empirijske jednačine, [2, 3, 4]:

$$Q_T = K \cdot I \cdot t \quad (1)$$

gde je:

K [g/Amin]-maseni elektrohemijski ekvivalent što predstavlja karakteristiku materijala obradka,

I [A]-jačina električne struje

t[min]-vreme proticanja električne struje kroz elektrolit

Kako je :

$$K = \frac{A_r}{n F}$$

gde je:

F=1608 g/Amin- Faradejeva konstanta,

A_r – relativna atomska masa, koja predstavlja odnos mase atoma nekog materijala i 1/12 mase ugljenikovog atoma,

n- valentnost metala,

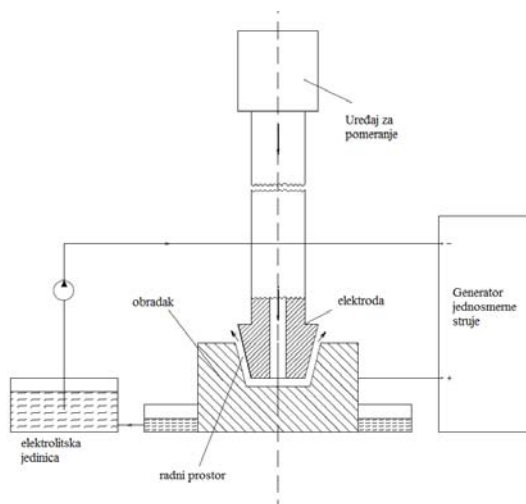
to se zamenom u jednačini (1) dobija izraz za masu rastvorenog metala na anodi, tj. teorijska proizvodnost pri elektrohemijskoj obradi:

$$Q_T = \frac{A_r \cdot I \cdot t}{n \cdot F} = 6,22 \cdot 10^{-4} \frac{A_r \cdot I \cdot t}{n} \quad (2)$$

2. OSNOVE PROCESA OBRADJE I HEMIJSKE REAKCIJE U ELEKTROLITIČKOM ELEMENT

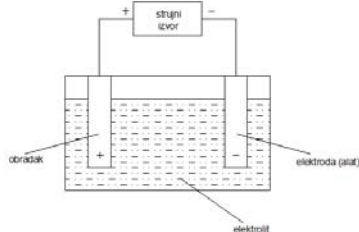
Proces elektrohemijske obrade u osnovi se zasniva na pojavi elektrolize. To je kontrolisano skidanje metala putem anodnog rastvaranja u elektrolitičkoj ćeliji u kojoj je obradak anoda (+) a alat katoda (-).

Na slici 1. prikazana je opšta šema elektrohemijske obrade, [3, 4, 5, 6].



Slika 1. Šema elektrohemijske obrade

Anodno rastvaranje obradka se ostvaruje pod dejstvom električne struje koja protiče kroz elektrolit kada su polovi (čine ih obradak i alat) povezani sa izvorom jednosmerne struje. Pod dejstvom elektro dinamičkih sila, spoljašni elektroni metala ulaze u električno kolo čime u metalu nastaju pozitivno naelektrisani joni, (slika 2.). Na ovaj način dolazi do rušenja veze raspoređenih atoma sa masom metala, pa tako stvoreni pozitivno naelektrisani joni (anjoni) prelaze u elektrolit i stupaju u vezu sa jonima elektrolita, obrazujući jedinjenja koja se potom rastvaraju u elektrolitu ili se formira površinska kora , [4, 5, 6].



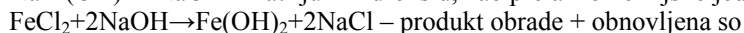
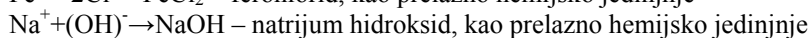
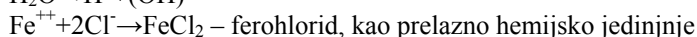
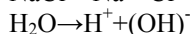
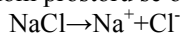
Slika 2 Elektrohemijski element radnog prostora

Elektrolit, npr. rastvor NaCl, potpuno disocira u pozitivne i negativne jone ($\text{NaCl} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$), a voda delimično ($\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}^+ + \text{OH}^-$). Rastvaranje metala i njegovih legura pod dejstvom električne struje u rastvoru NaCl, odvija se obrazovanjem hemijskih jedinjenja sa jonima hlora [6, 7, 8].

3. PRIMERI ODVIJANJA HEMIJSKE REAKCIJE U ELEKTROLITIČKOJ ČELIJI

a) Primer 1

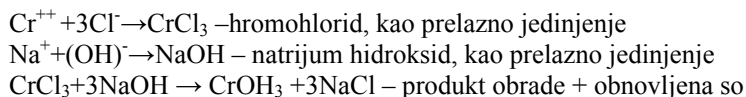
Uzmimo da je obradak (anoda) napravljen od čistog Fe dok je elektrolit $\text{H}_2\text{O} + \text{NaCl}$ -rastvor. U radnom prostoru se odvijaju sledeća hemijske reakcije:



Produkt elektrohemijske obrade:
ferohidroksid + gas vodonik (3)

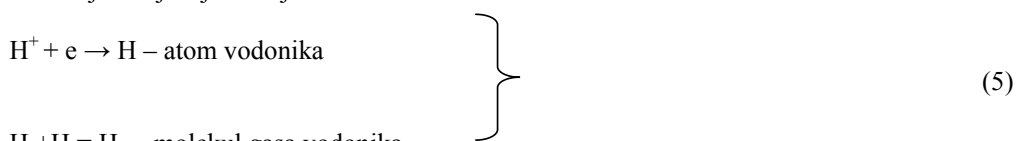
b) Primer 2.

Obradak je čist Cr; elektrolit: H₂O +NaCl-rastvor. U radnom prostoru se odvijaju sledeće hemijske reakcije:



Produkt elektrohemijske obrade:
hrom hidroksid + gas vodonik (4)

U prethodnom navedenim primerima obrade dolazi do izdvajanja molekula vodonika po sledećoj hemijskoj reakciji:



H + H = H₂ – molekul gasa vodonika

Kao što se vidi iz prethodno datih hemijskih reakcija, na alatu (katodi) se ne dešavaju nikakve promene, pa ona teoretski može beskonačno dugo da traje, kao i da se so NaCl ne troši, tj. služi samo za obrazovanje prelaznih jedinjenja.

4. VRSTE ELEKTROLITA PRI ELEKTROHEMIJSKOJ OBRADI

Od pravilnog izbora elektrolita u velikoj meri zavisi tačnost, proizvodnost i ekonomičnost obrade. Zadaci elektrolita su, [6, 7, 8]:

- da omogući protok električne struje između obradka i elektrode
- da odvede produkt rastvaranja iz zone obrade i
- da odvede toplotu razmenjenu tokom obrade

Elektrolit ne sme biti toksičan, zapaljiv, korozivan, nestabilan pri obradi, previše skup itd. Elektrolit je slabiji provodnik od metala, pa se pri prolazu struje oslobađa znatna toplota. Zato elektrolit treba da ima dobru toplotnu provodljivost i veliku specifičnu toplotu kao i visoku temperaturu ključanja.

Elektrolit treba da ima malu viskoznost zbog njegove normalne cirkulacije kroz radni zazor. Pri elektrohemijskoj obradi se uglavnom primenjuju vodeni rastvori neutralnih soli. Izbor elektrolita zavisi od materijala obradka, željene tačnosti i kvaliteta obrađene površine. Koncentracija elektrolita se izražava kao [6, 8],

$$k_{ei} (\%) = \frac{\text{masa rastvorene soli}}{\text{masa (soli + vode)}} \cdot 100\% = \frac{m_s}{m_s + m_v} \cdot 100\% \quad (6)$$

Kako masa 1 litra vode iznosi 1000 g, to se koncentracija elektrolita može lakše podesiti preko mase rastvorene soli po litru vode:

$$k_{ei} (g/LH_2O) = \frac{1000 k_{ei} (\%)}{100 - k_{ei} (\%)} \quad (7)$$

U praksi se najčešće koriste dve vrste elektrolita i to : natrijum hlorid (kuhinjska so) i natrijum nitrit (šalitra).

Ponekad se koriste i natrijum sulfat (Na_2SO_4) koji je pogodan za obradu nerđajućih čelika. Da bi se poboljšala određena svojstva elektrolita, elektrolitima se dodaju različiti aditivi.

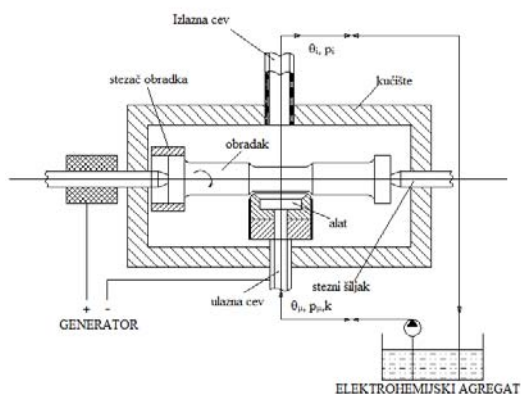
Brzina strujanja elektrolita najčešće se kreće do 10 m/s ali i više i poželjno je održavanje njene konstantne vrednosti.

5. USLOVI ZA IZVOĐENJE EKSPERIMENTA

Ekperimenti koji su imali za cilj istraživanje kvaliteta obrađene površine za karakterističnu grupu nerđajućih čelika, izvođeni su na strugu za elektrohemijsku obradu nemačkog proizvođača AEG-Eletherm, Hannover, tipa TK-S123V.

Principijelna šema elektrohemijskog struganja data je na slici 3.

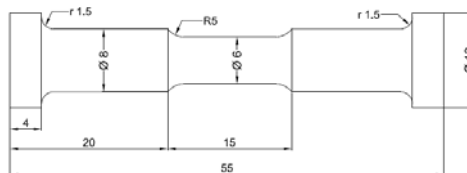
Na slici su dati i osnovni parametri obrade.



Slika 3. Šema elektrohemijske strugarske obrade

S obzirom na oblik postojećeg alata za eksperimentalna ispitivanja, prethodno je na univerzalnom strugu izrađeno nekoliko epruveta od odgovarajućih materijala.

Izgled epruvete sa dimenzijama je dat na slici 4



Slika 4. Epruveta za ispitivanje.

Režimi pri kojima su izvođeni ekperimenti određeni su prema preporukama proizvođača mašine.

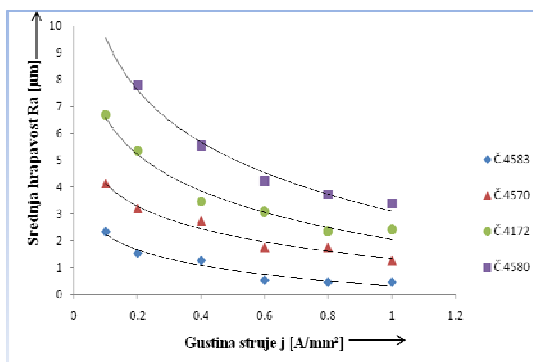
Za materijale, izabrana je karakteristična grupa čelika otpornih prema hemijskim uticajima a koji se često koriste u hemijskoj i procesnoj industriji. S obzirom da na kvalitet obrađene površine utiče i termička obrada čelika to je kod svakog čelika naveden i ovaj uticaj.

Merenje hrapavosti obrađene površine preko parametra srednje aritmetičke hrapavosti Ra, izvršeno je na aparatu za merenje mikro geometrije tipa HA-36-B3, firme „Kalibar“ ruske proizvodnje, koji radi na kontaktnom principu. Srednja aritmetička hrapavost (prosečno odstupanje profila od srednje linije), kod svih eksperimenata s obzirom da je u pitanju strugarska obrada, merena je na referentnoj dužini $l = 0,8\text{mm}$.

6. REZULTATI EKSPERIMENTALNIH ISPITIVANJA

Na slici 5. za grupu nerđajućih čelika Č.4583, Č.4570, Č.4172, Č.4580, prikazana je zavisnost srednje aritmetičke hrapavosti obrađene površine od gustine struje.

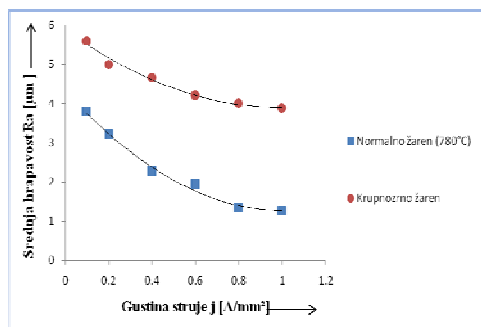
Očigledno je da vrsta čelika znatno utiče na kvalitet obrađene površine. Porastom gustine struje, pri njenoj manjoj vrednosti očigledan je nagli pad hrapavosti Ra za čelike Č.4580 i Č.4172, što nije slučaj za preostala dva čelika.



Slika 5. Uticaj vrste nerđajućeg čelika na kvalitet obrađene površine u zavisnosti od gustine struje

Eksperimentalni uslovi: materijal: nerđajući čelik; Elektrolit: NaCl, Kel = 600 g/l vode; $k_{20^\circ} = 0,1 \text{ S/cm}$; Stanje: normalno žaren

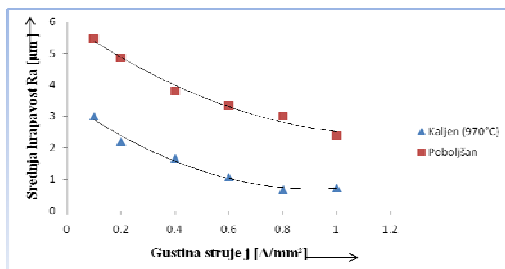
Na slici 6., prikazana je zavisnost srednje hrapavosti od gustine struje pri obradi čelika Č.4170 za slučaj da je isti normalno i krupnozrno žaren. Krupnija kristalna zrna daju veću hrapavost.



Slika 6. Uticaj krupnoće kristalnih zrna žarenog čelika na kvalitet obrađene površine u zavisnosti od gustine struje

Eksperimentalni uslovi: obradak: Č.4170; Elektrolit: NaNO₃, Kel = 600 g/l vode; $k_{20^\circ} = 0,1 \text{ S/cm}$; $p = 10 \text{ bar}$; $Q = 125 \text{ l/min}$

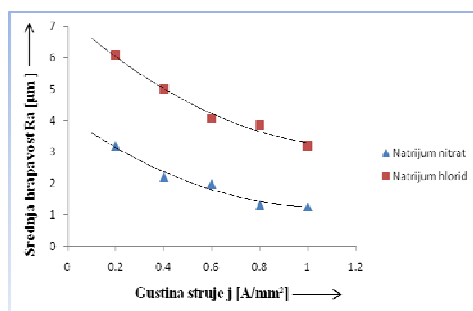
Zavisnost hrapavosti obrađene površine od gustine struje za slučaj obrade čelika Č.4170 u poboljšanom i kaljenom stanju prikazana je na slici 7. Zbog povoljnije strukture, hrapavost je manja u kaljenom stanju.



Slika 7. Uticaj krupnoće zrna poboljšanog i kaljenog čelika na kvalitet obrađene površine

Eksperimentalni uslovi: obradak: Č.4170; Elektrolit: NaNO₃; k_{20°}=0,1 S/cm; p=10 bar, Q=125 l/min

Na slici 8. data je zavisnost hrapavosti obrađene površine od gustine struje za slučaj obrade Č.4170 kada su primenjeni elektroliti NaCl i NaNO₃. Vidi se da je kvalitet obrađene površine povoljniji pri primeni elektrolita NaNO₃.

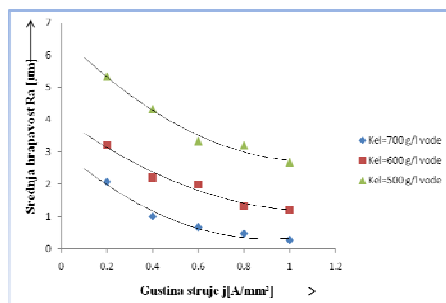


Slika 8. Uticaj vrste primenjenog elektrolita na kvalitet obrađene površine

Eksperimentalni uslovi: obradak: Č.4170; Stanje: normalno žaren

Zavisnost hrapavosti obrađene površine od gustine struje pri obradi Č.4170 za slučaj primene tri različite koncentracije elektrolita, prikazana je na slici 9.

Očigledno je da sa porastom koncentracije elektrolita opada hrapavost obrađene površine pri ostalim nepromenjenim uslovima.



Slika 9. Uticaj koncentracije elektrolita na kvalitet obrađene površine

Eksperimentalni uslovi: obradak: Č.4170; Stanje: normalno žaren; elektrolit: NaNO₃

7. ZAKLJUČAK

Na bazi izvedenih eksperimentalnih istraživanja mogu se dati sledeći zaključci pri obradi ispitivane grupe nerđajućih čelika:

- Krupnoća zrna u strukturi materijala obradka, koja je posledica različitih stanja, bitno utiče na hrapavost obrađene površine, tako što se kod finijih zrna dobija manja hrapavost površine i obrnuto.
- Nerđajući čelici pri ostalim istim uslovima daju manju hrapavost u kaljenom nego u poboljšanom stanju.
- Nehomogenost materijala i prisustvo raznih uključaka pogoršava kvalitet obrađene površine.
- Vrsta u karakteristike primenjenog elektrolita, takođe utiče na hrapavost obrađene površine. NaNO_3 daje znatno bolji kvalitet obrađene površine nego NaCl .
- Veća koncentracija elektrolita poboljšava kvalitet obrađene površine.
- Režim obrade, pre svega gustine struje j , utiče na hrapavost tako što sa povećanjem gustine struje smanjuje se hrapavost obrađene površine.
- Različita elektrohemijska rastvorljivost pojedinih komponenata u leguri (čeliku), pogoršava hrapavost obrađene površine.

Isto tako, zapaža se na bazi izvršenih eksperimenata da je pri elektrohemijskoj strugarskoj obradi nerđajućih čelika, pod određenim uslovima moguće dobiti relativno visok kvalitet obrađene površine (kvalitet manji od N6).

8. LITERATURA

- [1] Perić, A.: Obrada metala odnošenjem, „Svetlost“ Sarajevo, 1989.
- [2] Lazić, M.: Nekonvencionalni postupci obrade. Naučna knjiga, Beograd, 1990.
- [3] Barcal, J.: Nekonvenční metody obrábění. České vysoké učení technické v Praze, Fakultastrojní, Praha, 1998
- [4] Degner, W.: Elektrochemische Metallbearbeitung. VEB Verlag Technik, Berlin, 1994.
- [5] Lazarević, D., Radovanović, M.: Nekonvencionalne metode – obrada materijala odnošenjem, Univerzitet u Nišu, Mašinski fakultet, Niš, 1994.
- [6] Opitz, H.: Moderne Produktionstechnik – Stand und Tendenzen. Verlag W. Girardent, Esen, 991.
- [7] König, W.: Fertigungsverfahren, VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf, 1979.
- [8] Trajkovski, S.: Primena i tehnološki karakteristiki na nekonvencionalnite metodi na obrabotka, XI Jugoslovensko savetovanje za proizvodstveno mašinstvo, Ohrid, 1977.