

UTICAJ BRZINE ELEKTROEROZIVNOG REZANJA ČELIKA NA KVALITET OBRADENE POVRŠINE

IMPACT OF THE SPEED OF ELECTROEROSIVE STEEL CUTTING ON THE QUALITY OF THE PROCESSED SURFACE

Sejfo Papić, Doc. Dr.,
Pedagoški fakultet Univerziteta u
Sarajevu, Sarajevo

Fuad Klisura, Vanredni profesor, Dr.,
IPI Zenica,
Zenica

Safet Velić, Vanredni profesor, Dr.,
Pedagoški fakultet Univerziteta u
Sarajevu, Sarajevo

Alma Gajip, MA mašinstva,
Mješovita srednja tehnička škola
Travnik, Travnik

REZIME

Analiza i optimizacija obrade metala postupkom elektroerozije može doprinijeti donošenju kvalitetne odluke o ekonomskoj isplativosti ovog nekonvencionalnog postupka obrade. Na tačnost mjera i oblika te kvalitet obradene površine proizvoda utječu: relativne vibracije između alata i obratka, izbor odgovarajućeg alata, toplinska stabilnost CNC mašine, režimi obrade i slično.

U radu je prikazana analiza uticaja brzine rezanja elektroerozijom za čelik, na kvalitet obradene površine. Predstavljen je matematički model kvaliteta obradene površine u funkciji brzine rezanja i pokazano je da se dobijeni model može primjenjivati pri odabiru brzine rezanja kod projektovanja tehnološkog procesa izrade dijelova ovim nekonvencionalnim postupkom obrade.

Ključne riječi: Nekonvencionalni postupci obrade, Obrada elektroerozijom, Hrapavost površina,

SUMMARY

Analysis and optimization of metal processing by the electroerosion procedure can contribute to making a quality decision on the economic viability of this unconventional processing procedure. The accuracy of measures and shapes and the quality of the processed surface of the product are influenced by: relative vibrations between the tool and the workpiece, the choice of the appropriate tool, the thermal stability of the CNC machine, machining modes and the like.

The paper presents an analysis of the influence of electroerosion cutting speed for steel on the quality of the processed surface. A mathematical model of the quality of the processed surface as a function of the cutting speed is presented and it is shown that the obtained model can be applied when choosing the cutting speed when designing the technological process of making parts by this unconventional processing procedure.

Key words: Unconventional processing procedures, Electroerosion processing, Surface roughness.

1. UVOD

U procesu obrade materijala može se reći da postoje dvije grupe postupaka obrade: konvencionalni i nekonvencionalni postupci obrade. Nekonvencionalni postupak obrade (uklanjanja viška materijala, izmjene oblika, dimenzije i strukture materijala), ostvaruje se korištenjem raznih oblika energije (hemijske, električne) koje su dovedene u proces. Svaki od

postojećih nekonvencionalnih postupaka obrade materijala može se smatrati mašinskom obradom materijala uzimajući u obzir sve kriterije.[1]

Zato nekonvencionalni postupci obrade uzimaju sve veći procenat zastupljenosti u proizvodnim procesima. Tim prije ako se uzme u obzir visok stepen automatizacije.

Elektroerozivna obrada (EDM -Electro Discharge Machining) je savremeni postupak obrade metala čija je primjena u praksi veoma rasprostranjena.

Kod elektroerozivne obrade (EDM) tehnološke karakteristike procesa direktno zavise od energije pražnjenja koja se u zoni obrade pretvara u toplotu. Generisana toplotna energija dovodi do pojave ekstremno visokih temperatura usled čega dolazi do trenutnog rastapanja i isparavanja lokalnog dela materijala obratka. Međutim, visoka temperatura istovremeno uslovljava i niz fizičko-hemijskih promena u površinskom sloju materijala alata i obratka.[2]

Koristi se najviše za izradu kalupa i matrica za livenje i za masovnu proizvodnju standardiziranih dijelova. Elektroerozivna obrada se također može koristiti i za izradu finaliziranih dijelova kao što su rezni alati i predmetisložene geometrije. [3]

Obrada metala klasičnim postupcima obrade je veoma otežana, često i nemoguća. Zbog toga se, paralelno sa razvojem novih materijala, razvijaju novi progresivniji postupci obrade, u cilju dobijanja veće produktivnosti i ekonomičnosti. Jedna od glavnih prednosti korištenja nekonvencionalnih postupaka obrade je ta što alat za obradu ne mora imati bolje mehaničke osobine od obratka jer nema reznog klina, odnosno praktički nema kontakta niti mehaničkih sila između alata i obratka.

Postupak uklanjanja materijala u EDM-u povezan je s erozivnim učincima koji nastaju kao posljedica ekstremno visoke temperature zbog visokog intenziteta pražnjenja energiju kroz plazma kanal. Brzina uklanjanja materijala i cjelovitost površine odgovara prilagođenom profilu kratera koji je definiran kroz radijus. Pretpostavlja se da je radijus kratera funkcija energije pražnjenja [4]

Mehanička svojstva obratka (tvrdoća, čvrstoća, žilavost...) nemaju veliki uticaj na tehnološkičnost obrade. Znatniji uticaj imaju fizička svojstva kao što su električna provodljivost, toplotna provodljivost i sl.

2. KVALITET OBRADENE POVRŠINE KOD EDM POSTUPKA OBRADNE METALA

Pod kvalitetom obrađene površine primjenom EDM postupka obrade podrazumijeva se, pored njene hrapavosti i stanje površinskog sloja materijala. Površinski sloj obratka može da pretrpi značajne hemijske i fizičke promjene.

Površina koja se dobije konvencionalnim postupcima obrade je sjajna i ima paralelne tragove od reznog alata, dok je površina dobijena postupkom elektroerozije materijala sastavljena od niza sitnih udubljenja - kratera.

Ocjena klase hrapavosti obrađene površine dobijene postupkom elektroerozije vrši se pomoću etalona namijenjenih za navedenu vrstu obrade. Slika 1.



Nr	Ra μm
12	0,40
15	0,56
18	0,80
21	1,12
24	1,60
27	2,24
30	3,15
33	4,50
36	6,30
39	9,00
42	12,5
45	18,0

Slika 1. Etalon za ocjenu klase hrapavosti,

Na bazi jedne ovakve podjele odabrano je 12 klasa, koje odgovaraju dijapazonu od najfinije do najgrublje obrade, za koju su napravljeni etaloni za uporedno određivanje hrapavosti obrađene

površine. Ovim etalonima se koriste tehnolozi pri propisivanju klase hrapavosti površine, a i radnici na mašinama za kontrolu pri obradi.

Kvalitet obrađene površine pri elektroerozivnoj obradi žicom uglavnom zavisi od parametara električnog impulsa, vrste dielektrikuma, materijala elektrode, toplotno – fizičkih osobina materijala obratka.

Vrsta dielektrikuma utiče na kvalitet površine pri elektroerozivnoj obradi preko viskoziteta. Materijal elektrode utiče na kvalitet pri elektroerozivnoj obradi putem finoće zrna (kao npr. kod grafita), homogenosti i poroznosti (npr. silumina). Tako, materijali elektrode sa finijom strukturom i većom homogenošću, tj. bez uključaka, kao i sa malom poroznošću, u principu daju manje hrapavosti obrađene površine i obrnuto. I ovaj uticaj se kao i prethodni utvrđuje eksperimentalnim putem.

2.1. Uređaji i materijal

Eksperiment je izvođen na mašini za elektroeroziju žicom – AGIECUT 100D sa tehnološkim karakteristikama datim u tabeli 1.

Tabela 1. Tehnički podaci mašine za eroziju žicom AGIECUT 100D

Hod u pravcu X – ose	300 mm
Hod u pravcu Y – ose	200 mm
Hod u pravcu Z – ose	250 mm
Dužina i visina radnog stola	560 x 445 mm
Max. dimenzije radnog komada	810 x 580 x 256 mm
Max. opterećenje stola	100 kg
Brzina hoda	30 mm / min
Prečnik žice	0,1 – 0,30 mm
Dielektrični agregat	DA 15 AF
Generator	MMD
Ukupna snaga	10 kVA
Ukupna težina ugradnje	2910 kg
Dimenzije mašine	1700 x 1550 x 2130 mm
Hrapavost površine Ra	0,3 μ m

Materijal na kojima je izveden eksperiment je čelik X210CrW12/1.2436 prema DIN 59350 sječen, brušen. Debljina pločice uzorka za ispitivanje je 8 mm. Hemijski sastav navedenog čelika u dat je u tabeli 2.

Tabela 2. Procentualni udio legirajućih elemenata

C	Mn	Si	P	S	Cr	W
2,0-2,3	0,3-0,6	0,1-0,4	<0,03	<0,03	11,0-13,0	0,6-0,8

Za elektroeroziju navedenog materijala upotrebljena je žičana mesingana elektroda predstavljena na slici 3.

Tabela 3. Karakteristike elektrode kojom je izvedena elektroerozivna obrada

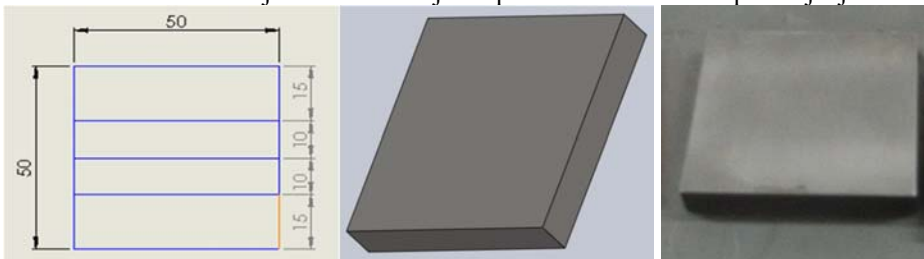
Prečnik	Materijal	Zatezna čvrstoća	Tip kalema	Masa kalema
0,25 mm	mesing	980 N/mm ²	K – 125	3,5 kg



Slika 2. Žica za elektroerozivnu obradu

2.2. Opis obrade i način mjerenja

Uzorak se sastojao iz tri pločice dimenzija 50x50x8 mm, čiji je izgled dat na slici 3. Na svakoj od pločica su izvedena po tri reza sa različitim brzinama rezanja. Dakle, urađeno je devet rezova sa različitim brzinama rezanja. Što znači da je eksperiment izvođen bez ponavljanja.



Slika 3. 2D i 3D skica radnog komada i fotografija jedne pločice

Nakon pripreme mašine i stezanja pločica, pristupa se crtanju skice na računaru i pisanju programa koji se nakon toga snima na flopi disk i prenosi u upravljačku jedinicu mašine. Skica je u obliku prave linije koja označava dužinu i pravac rezanja. Program korišten za crtanje skice rezanja je ESPRIT 2009. Jačina struje je 8 [A] i ona, kao i ostali parametri, nije mijenjana tokom rezanja

Na slici 4 prikazan je vizuelni izgled površine nakon rezanja elektroerozijom gdje se i vizuelno mogu zapaziti razlike u hrapavosti površina. Date površine su dobijene pri brzinama 1,35; 1,69 i 1,21 [mm/min] respektivno.



Slika 4. Izgled površine za tri različite brzine rezanja

Mjerene su vrijednosti *maksimalne visine profila Rz* (zbir najveće visine vrha profila i najveće dubine dna profila), *Srednja vrijednost aritmetičkog odstupanja Ra* i *Maksimalna visina vrha profila Rp* i *Odstupanje srednjeg korijena profila Rq* (Teorijska veličina kvadratnog korijena srednjeg odstupanja). U tabeli 4 dati su rezultati mjerenja maksimalne visine profila pri promjeni brzine rezanja elektroerozijom.

Tabela 4. Rezultati mjerenja

Materijal	Brzina rezanja [mm/min]	Maksimalna visina profila Rz [μm]
Čelik	1,17	23,2
	1,32	18,9
	1,55	18,2
	1,35	19,1
	1,69	14,1
	1,21	24,3
	1,16	23,1
	1,57	18,3
	1,23	24,1

Vrijednosti hrapavosti su mjerene na mašini MITUTOYO SJ-310 koja istovremeno ispisuje rezultate mjerenja za navedene karakteristike.

2.3. Rezultati i diskusija regresione i korelacione analize

Za određivanje matematičkog modela uticaja brzine rezanja, kod elektroerozivne obrade čelika na kvalitet obrađene površine (u ovom radu je odabrana maksimalna visina profila Rz kao osnovni parametar hrapavosti), najpogodnije je napraviti regresionu analizu eksperimenta, zato što regresioni model ujedno predstavlja i matematički model.

U tabeli 3 su predstavljena eksperimentalna mjerenja. Ulazne veličine su brzine rezanja, a izlazne veličine mjera hrapavosti.

Prema podacima iz tabele definišu se matrice:

$$Y = \|y_{9x1}\|, X = \|x_{9x2}\| \text{ i } X' = \|x_{2x9}\|$$

Ako se odrede proizvodi $X'X$ i $X'Y$, i sređivanjem matrice jednačina, pa onda prelaskom na sistem linearnih jednačina, dobija se sistem od dvije jednačine sa dvije nepoznate.

$$\begin{aligned} 9\hat{b}_0 + 12,25\hat{b}_1 &= 183,3 \\ 12,25\hat{b}_0 + 16,9799\hat{b}_1 &= 244,489 \end{aligned}$$

Rješavanjem datog sistema jednačina određiće se koeficijenti matematičkog modela koji ima oblik:

$$Y=40-14,81 X$$

Gdje su X vrijednosti brzine rezanja, a Y vrijednosti maksimalne visine profila hrapavosti površina za navedeni materijal.

Nakon određivanja matematičkog modela, da bi se isti mogao koristiti u svrhu predviđanja, potrebno je testirati hipotezu $H_0 : \hat{b}_1=0$. To testiranje se izvodi pomoću F-testa. U tu svrhu izračunate vrijednosti regresione, rezidualne i ukupne sume kvadrata su:

$$\begin{aligned} S_{reg} &= \sum_{i=1}^9 (\hat{y}_i - \bar{y})^2 = 69,66; \\ S_{rez} &= \sum_{i=1}^9 (y_i - \hat{y}_i)^2 = 2,63; \text{ odnosno,} \\ S_T &= \sum_{i=1}^9 (y_i - \bar{y}_i)^2 = 72,29. \end{aligned}$$

Varijanse:

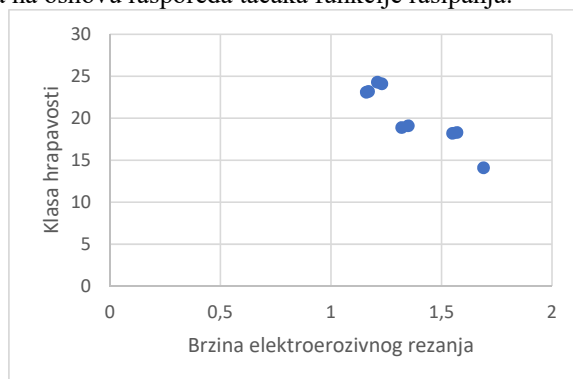
$$s_{reg}^2 = \frac{S_{reg}}{v_{reg}} = 69,66; s_{rez}^2 = \frac{S_{rez}}{v_{rez}} = 0,375; \text{ pa je } F_0 = \frac{s_{reg}^2}{s_{rez}^2} = 185$$

Na osnovu računom dobijenih rezultata, i za odabrani nivo značajnosti koji iznosi $\alpha=0,05/0,01$, te na osnovu stepeni slobode 1 i 8 očitava se $F_{(1,8)}=5,32/11,3$. [5] Pošto je $F_0 > F_\alpha (185 > 5,32/11,3)$

(važi za obje značajnosti), hipotezu $H_0: \hat{b}_1=0$ treba odbaciti u korist alternativne hipoteze $H_1: \hat{b}_1 \neq 0$, što znači da postoji funkcionalna zavisnost između promjenjivih X i Y.

Što znači da je regresioni model prihvatljiv za predviđanje veličine Rz na osnovu brzine rezanja elektroerozivnom sa 99% statističke pouzdanosti.

Prvi korak u sagledavanju korelacije između promjenjivih je izrada dijagrama rasipanja. Pri sređivanju podataka dobijenih mjerenjem moguće je formirati niz uređenih parova (x_i, y_i) , u ovom slučaju to su parovi (1,17;23,2), (1,32; 18,9), (1,55; 18,2), (1,35; 19,1), (1,69; 14,1), (1,21; 24,3), (1,16; 23,1), (1,57; 18,3) i (1,23; 24,1). Predstavljanjem ovih tačaka u koordinatnom sistemu, kao na slici 5, dobija se skup tačaka koji nazivamo dijagram rasipanja. Na slici je evidentna korelacija na osnovu rasporeda tačaka funkcije rasipanja.



Slika 5. Dijagram rasipanja

3. ZAKLJUČAK

Pri realizaciji ovog istraživanja moraju se uzeti u obzir određena ograničenja. Prva grupa ograničenja su granične vrijednosti ulaznih varijabli ili ograničenja alatne mašine, a druga grupa su izlazne veličine koje zavise od karakteristika obrade, prvenstveno klase hrapavosti obrađene površine.

Rad pokazuje da je moguće uspostavljati matematički model zavisnosti bilo koje dve varijable karakteristične za tehnološke postupke. Ova tvrdnja je prihvatljiva u intervalu od najmanje do najveće brzine rezanja u eksperimentu, a to je interval [1,17 mm/min do 1,69 mm/min]. Dok bi za neke druge vrijednosti trebalo eksperimentalno utvrditi datu zavisnost.

4. REFERENCE

- [1] Papić, S., Klisura, F., Velić, S., Karović, A.: Matematički model uticaja debljine lima na kvalitet obrađene površine kod sječnja vodenim mlazom, 11. Naučno-stručni skup sa međunarodnim učešćem "QUALITY 2019", Neum, B&H, 14-16 juni 2019.
- [2] Gostimirović, M., Kovač, P., Sekulić, M., Rodić, D., Pucovsky, V.: Machining characteristics of electrical discharge machining – a review, Journal of Production Engineering Vol.19; No1. Received: 10 January 2016 / Accepted: 22 April 2016.
- [3] Brdarević, S., Jeleč, A.: *Nekonvencionalni postupci obrade*, Mašinski fakultet u Zenici Politehnički fakultet u Zenici, Zenica, 2016.
- [4] Ekmekci B., Sayar A., Opoz T., Erden A.: Geometry and surface damage in micro electrical discharge machining of micro-holes, J Micromech. Microeng., Vol. 19, 2009, pp. 1-16
- [5] Seferović, E. Bašić, H.: Osnovi metrologije i obrade rezultata mjerenja, Univerzitet u Sarajevu, fakultet, Sarajevo, 2005.