

UTICAJ PARAMETARA OBRADNE NA HRAPAVOST OBRADENE POVRŠINE PRI STRUGANJU ČELIKA 42 CrMo4**THE INFLUENCE OF MACHINING PARAMETERS ON THE SURFACE ROUGHNESS DURING TURNING OF STEEL 42CrMo4**Ranko Kovačević, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – PROIZVODNO MAŠINSTVO**

Kratak sadržaj – U radu je istraživana uticaj režima obrade na hrapavost obrađene površine pri strugaњу legure čelika. Primеном Тагучи методе у софтверу МИНИТАБ извршена је анализа експериментално добијених резултата. Добијени резултати указују да Тагучи метод и АНОВА анализа дају исте резултате, на основу којих је утврђено да највећи утицај на храпавост има помак.

Ključne reči: *hrapavost obrađene površine, Taguchi metod, ANOVA*

Abstract – This paper investigates the influence of cutting parameters on the surface roughness during turning of steel 42CrMo4. By applying the Taguchi method in the MINITAB software, an analysis of the experimentally obtained results was carried out. The results show that the Taguchi method and ANOVA analysis lead to the same results, and it was found that the greatest influence on surface roughness is feed rate.

Keywords: *Surface roughness, Taguchi method, ANOVA*

1. UVOD

Predmet istraživanja ovog master rada jeste optimizacija režima obrade u funkciji hrapavosti obrađene površine. Istraživanja su sprovedena pri obradi struganjem legure čelika 42CrMo4. Jedan od praktičnih problema pri obradi rezanjem jeste izbor odgovarajućih režima obrade za datu operaciju.

Za svaku operaciju potrebno je doneti odgovarajuće odluke o izboru mašine alatke, reznih alata i parametrima režima obrade. Određivanje funkcija obradljivosti vrši se isključivo eksperimentalnim putem primenom klasičnog metoda i metoda plana eksperimenta.

Postoje razni sistemi za merenje, akviziciju i obradu rezultata uz pomoć personalnih računara i odgovarajućih softvera. Hrapavost ima veliki značaj i može uticati na: smanjenje dinamičke izdržljivosti (smanjenje čvrstoće obratka), pojačano trenje i habanje tribološki opterećenih površina, kao i ubrzavanje korozije.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Milenko Sekulić, red.prof.

2. USLOVI PRI EKSPERIMENTALNIM ISPITIVANJIMA

Eksperimentalna ispitivanja su sprovedena na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu, na Departmanu za proizvodno mašinstvo i u firmi „ELING” A. D. Loznica.

Za potrebe izvođenja eksperimenata su korišćeni mašina alatka, rezni alati, kao i uređaj za merenje hrapavosti. Plan eksperimenta je napravljen prema Taguchi ortogonalnom nizu L₁₈ (2¹, 3⁷), koji obuhvata 18 eksperimentalnih tačaka.

2.1. Mašina alatka

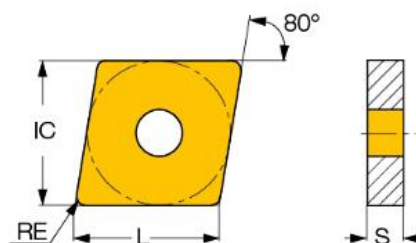
Na slici 1. je prikazana mašina alatka CNC strug „FAT 700” na kojoj je izvršena operacija struganja. Na ovoj mašini alatki su izvedeni eksperimenti struganja, nakon kojih je merena hrapavost obrađene površine.



Slika 1. FAT 700

2.2. Rezni alat

Pri struganju su korišćene rezne pločice od tvrdog metala proizvođača „ISCAR”, prikazane na slici 2. Oznaka reznih pločica je bila „CNMG120404-GN IC8150” i „CNMG120408-NR IC807”.



Slika 2. Rezna pločica

2.3. Materijal obratka

Materijal obratka koji je korišćen u eksperimentu je čelik 42CrMo4. Obradivana je šipka prečnika 60mm i dužine 700 mm.

2.4. Režim obrade

Režim obrade obuhvata tri osnovna elementa: brzinu rezanja v [mm/min], pomak s [mm/o] i dubinu rezanja a [mm]. Osim ova tri elementa režima obrade, tokom struganja je variran i radijus vrha alata r . Tokom eksperimenta prva tri elementa režima obrade su varirana na tri nivoa, a radijus vrha alata samo na dva nivoa. U tabeli 1. su prikazane vrednosti ulaznih parametara, na svim variranim nivoima.

Tabela 1. Ulazni parametri pri obradi struganjem

NIVOI	PARAMETRI			
	Radijus vrha alata r , mm	Brzina rezanja v , m/min	Pomak s , mm/o	Dubina rezanja a , mm
Nivo 1	0,4	200	0,2	2
Nivo 2	0,8	250	0,3	3
Nivo 3	-	300	0,4	4

2.5. Uređaj za merenje hrapavosti

Za merenje hrapavosti obrađene površine korišćen je uređaj „Mitutoyo Surftest SJ-210“, koji je mobilan i jednostavan za rad. Ovaj uređaj ima jasan prikaz karaktera na velikom ekranu, tako da dobro prikazuje rezultat merenja i u teškim uslovima. Posедуje veliku bateriju koja može da omogućiti i do 600 merenja pri jednom punjenju. Štampač velike rezolucije sa velikom brzinom pisanja je ugrađen u glavnu jedinicu.



Slika 3. Uređaj „Mitutoyo Surftest SJ-210“

3. TAGUČI METOD I ANOVA ANALIZA

Taguči metod se bazira na konceptu delimičnog faktornog plana eksperimenta (Fractional Factorial Experimental Design). Glavni cilj ovog plana eksperimenta je da se minimiziraju varijacije procesa ili proizvoda i da se dizajnira fleksibilan proces ili proizvodi koji su prilagodljivi uslovima životne sredine. Reč „planiranje“ u planiranju eksperimenta traži odgovorna dva pitanja: koliko eksperimenata je potrebno izvesti i na koji način ih izvesti [1]. Taguči metoda je zasnovana na funkciji gubitaka koja predstavlja odstupanje funkcionalne karakteristike od nominalne vrednosti. Izrađen je novi sistem planiranja eksperimenta koji se zove ortogonalni nizovi. Ovi nizovi omogućavaju projektantima da istovremeno prate i proučavaju mnogo parametara

procesa istovremeno i mogu biti korišćeni za procenu uticaja svakog parametra nezavisno.

Cilj Tagučih metode je da se utvrdi koji parametri režima obrade su uticajni na hrapavost, a koji nisu. Osim toga cilj je i da se nađu optimalne vrednosti režima obrade, koje daju minimalne vrednosti hrapavosti obrađene površine.

Odnos S/N predstavlja ključnu meru za analizu eksperimentalnih rezultata. U ovom radu je korišćen kriterijum „što manja vrednost to bolja“ (engl. smaller is better), a vrednost S/N odnosa se izračunava pomoću jednačine (1).

$$S/N = \eta = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (1)$$

Kao što je već ranije rečeno, u ovom master radu eksperiment je izveden na bazi ortogonalnog niza L_{18} (2^1 , 3^7). Ovaj dizajn ima 18 redova, gde se jedan faktor varira na 2 nivoa, a do 7 faktora na 3 nivoa. U ovom eksperimentu je radijus vrha noža variran na dva nivoa, a ostala 3 ulazna faktora na 3 nivoa. U poglavlju koje se bavi analizom eksperimentalnih rezultata, biće prikazan ovaj ortogonalni niz, sa izračunatim vrednostima S/N odnosa.

U ovom radu je pored analize na bazi Tagučih metoda, sprovedena i ANOVA analiza. To je standardna statistička tehnika, koja se rutinski koristi za obezbeđivanje mera poverenja. Cilj ove analize je da se utvrdi relativni uticaj faktora i njihove interakcije na varijaciju rezultata. Varijacija rezultata se utvrđuje izračunavanjem odstupanja rezultata od cilja.

4. PRIKAZ EKSPERIMENTALNIH REZULTATA I NJIHOVA ANALIZA

Merenje hrapavosti obrađene površine je za svaki eksperiment, vršeno u tri tačke. Kao merodavna vrednost je uzeta srednja vrednost od tri merenja. U tabeli 2. su prikazani rezultati merenja hrapavosti obrađene površine R_a , za svih 18 eksperimentalnih tačaka, sa vrednostima S/N odnosa za svaki eksperiment. Vrednost S/N odnosa za svaki eksperiment, izračunata je primenom softvera MINITAB.

Za svaki kontrolni parametar i odgovarajući nivo, izračunat je S/N odnos za uslov „što manja vrednost, to bolja“. Dobijene vrednosti su prikazane u tabeli 3. Na osnovu vrednosti S/N odnosa iz tabele 3., nacrtan je S/N grafik za sve ulazne parametre procesa obrade u odnosu za srednju aritmetičku hrapavost R_a , dijagram 1.

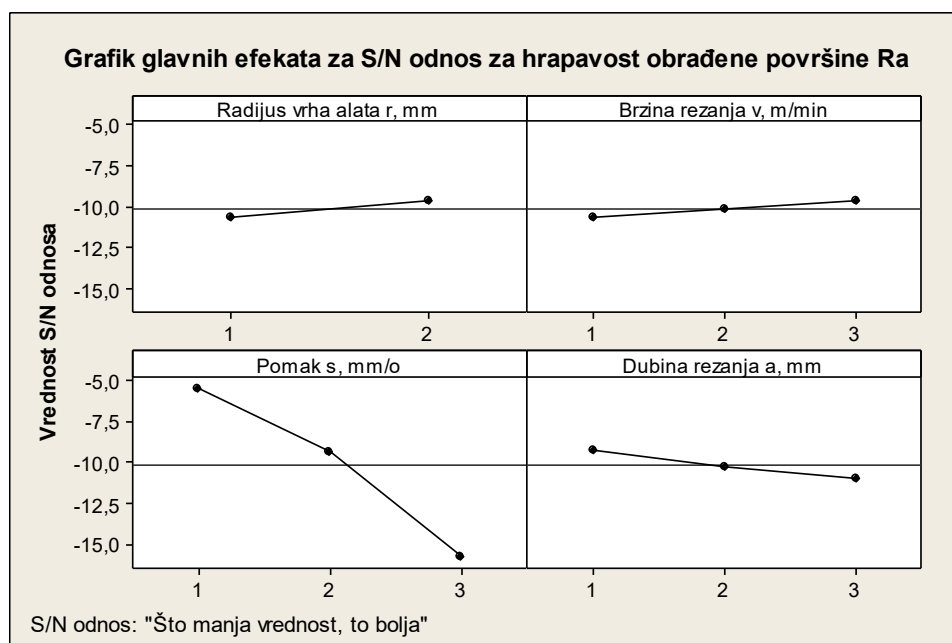
Sa prikazanih grafika se može videti da najveći uticaj na aritmetičku hrapavost obrađene površine R_a ima pomak, pa onda dubina rezanja, radijus vrha alata i brzina rezanja (najveći nagib krive ukazuje na faktor koji ima najveći uticaj). Najveća vrednost S/N odnosa na odgovarajućem grafiku, daje odgovor na pitanje koji nivo upravljačkog parametra je optimalan. Optimizacija parametara rezanja unutar ponuđenih nivoa faktora, a na osnovu kriterijuma „što manja vrednost, to bolja“, daje optimalnu kombinaciju upravljačkih faktora: $A=2$, $B=3$, $C=1$ i $D=1$. Ova kombinacija omogućava najmanju aritmetičku hrapavost obrađene površine R_a .

Tabela 2. Taguči ortogonalni niz $L_{18} (2^1, 3^7)$ sa rezultatima merenja i izračunatim S/N odnosom

Redni broj	Kod faktora				Parametri				Srednja vrednost R_a , μm	S/N odnos
	A	B	C	D	r, mm	v, m/min	s, mm/o	a, mm		
1.	1	1	1	1	0,4	200	0,2	2	1,652	-4,3602
2.	1	1	2	2	0,4	200	0,3	3	2,907	-9,2689
3.	1	1	3	3	0,4	200	0,4	4	6,981	-16,8784
4.	1	2	1	1	0,4	200	0,2	2	1,859	-5,3856
5.	1	2	2	2	0,4	250	0,3	3	3,461	-10,7840
6.	1	2	3	3	0,4	250	0,4	4	7,334	-17,3068
7.	1	3	1	2	0,4	300	0,2	3	2,256	-7,0668
8.	1	3	2	3	0,4	300	0,3	4	3,723	-11,4179
9.	1	3	3	1	0,4	300	0,4	2	4,727	-13,4917
10.	2	1	1	3	0,8	200	0,2	4	2,802	-8,9494
11.	2	1	2	1	0,8	200	0,3	2	2,702	-8,6337
12.	2	1	3	2	0,8	200	0,4	3	6,172	-15,8085
13.	2	2	1	2	0,8	250	0,2	3	1,469	-3,3404
14.	2	2	2	3	0,8	250	0,3	4	2,544	-8,1103
15.	2	2	3	1	0,8	250	0,4	2	6,393	-16,1141
16.	2	3	1	3	0,8	300	0,2	4	1,468	-3,3345
17.	2	3	2	1	0,8	300	0,3	2	2,386	-7,5534
18.	2	3	3	2	0,8	300	0,4	3	5,694	-15,1083

Tabela 3. Odzivna tabela za S/N odnos „Što manja vrednost, to bolje“

R. br.	Faktori		S/N			Max-Min (Delta)	Rang
			Nivoi				
			1	2	3		
1.	Radijus vrha alata r, mm	A	-10,662	-9,661	-	1,001	3
2.	Brzina rezanja v, m/min	B	-10,350	-10,174	-9,662	0,988	4
3.	Pomak s, mm/o	C	-5,406	-9,295	-15,785	10,378	1
4.	Dubina rezanja a, mm	D	-9,256	-10,23	-11,00	1,743	2

Dijagram 1. Odzivni S/N grafici za hrapavost obrađene površine R_a

Očekivana vrednost S/N odnosa na optimalnom nivou (pri optimalnim uslovima; A=2, B=3, C=1, D=1), dobijena je takođe primenom softvera MINITAB. Ova vrednost iznosi $\hat{\eta}_{opt} = -3,50062$. Na bazi ove vrednosti

izračunata je očekivana vrednost performanse (R_a u mikrometrima) na optimalnom nivou, pomoću jednačine (2):

$$Y_{opt} = 10^{\frac{-\hat{n}_{opt}}{20}} = 10^{\frac{-(-3,50062)}{20}} = 1,497 \mu\text{m} \quad (2)$$

Kako bi se proverila tačnost dobijenih rezultata, odrađen je eksperiment verifikacije pri obradi struganjem, na bazi sledećih ulaznih parametara: $r=0,8$ mm (nivo A=2), $v=300$ m/min (B=3), $s=0,2$ mm/o (C=1), $a=2$ mm, na istom materijalu obratka.

Nakon eksperimenta je izvršeno merenje R_a na obratku u tri tačke. Kao merodavna je uzeta srednja izmerena vrednost R_a , koja je iznosila $1,347 \mu\text{m}$. Eksperimentalna vrednost je približno ista proračunatoj, odnosno greška iznosi približno 10% (10,02%). Može se konstatovati da je eksperiment bio uspešan i da je Tagući metod omogućio predikciju optimalne vrednosti hrapavosti obrađene površine, sa velikim stepenom tačnosti.

ANOVA analiza je urađena u softveru QUALITEK-4, koji je specijalno razvijen za Tagući metod, od strane Nutek Inc. a Michigan korporacije, tačnije g-dina Ranjit Roy-a.

Na slici 4. je prikazana početna ANOVA tabela, iz koje se vidi da najveći uticaj na R_a ima pomak s (oko 86,226 %).

Col # / Factor	DOF (f)	Sum of Sqrs. (S)	Variance (V)	F-Ratio (F)	Pure Sum (S')	Percent P (%)
1 Radius vrha alata	1	4.507	4.507	1.538	1.576	.439
2 Brzina rezanja v	2	2.928	1.464	.499	0	0
3 Pomak s	2	329.906	164.953	56.282	324.043	86.226
4 Dubina rezanja a	2	9.156	4.578	1.562	3.294	.876
Other Error	10	29.307	2.931			12.479
Total	17	375.807				100.00%

Slika 4. Početna ANOVA tabela

Konačna ANOVA tabela, data na slici 5., je dobijena "okupljanjem" (isključivanjem iz dalje analize) svih faktora koji nisu signifikantni (uticajni) na analiziranu izlaznu karakteristiku procesa obrade, a to je u ovom slučaju hrapavost obrađene površine R_a . Faktički su isključeni svi ostali faktori (radijus vrha alata, brzina rezanja i dubina rezanja), osim pomaka. Pošto je procenat greške $P_{greška} < 50\%$ (iznosi 13,644%) eksperiment se smatra uspešnim. Rezultati dobijeni putem ANOVA analize se poklapaju sa zaključcima do kojih se došlo primenom Tagući metoda. Osnovni zaključak je da na hrapavost obrađene površine, tačnije na R_a , najveći uticaj ima pomak.

5. ZAKLJUČAK

Osnovni zaključak eksperimenta jeste da su Tagući metoda i ANOVA analiza podjednako adekvatne metode za analizu eksperimentalnih podataka. Naspram klasičnih metoda istraživanja koje zahtevaju veliki broj eksperimenata i preveliko vreme trajanja, ove metode daju odgovor na pitanje optimalnih vrednosti za vrlo mali broj eksperimenata, samim tim dolazi do smanjenja

vremena trajanja ispitivanja uz visok stepen tačnosti i pouzdanosti.

Col # / Factor	DOF (f)	Sum of Sqrs. (S)	Variance (V)	F-Ratio (F)	Pure Sum (S')	Percent P (%)
1 Radius vrha alata	1	4.507	4.507	1.538	1.576	.439
2 Brzina rezanja v	2	2.928	1.464	.499	0	0
3 Pomak s	2	329.906	164.953	56.282	324.043	86.226
4 Dubina rezanja a	2	9.156	4.578	1.562	3.294	.876
Other Error	10	45.899	4.589			13.644
Total	17	375.807				100.00%

Slika 5. Konačna ANOVA tabela

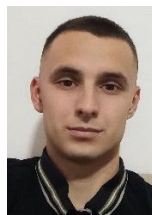
Na osnovu teorijskih i eksperimentalnih ispitivanja, mogu izvesti sledeći zaključci:

- Na srednju aritmetičku hrapavost R_a najveći uticaj ima pomak.
- Drugi po redu uticajan parametar je dubina rezanja, zatim sledeći parametar je radijus vrha alata, a najmanji uticaj ima brzina rezanja.
- Tagući metod omogućava dobijanje kvalitetnih rezultata izvođenjem minimalnog broja eksperimenata.
- Eksperimentalni test verifikacije rezultata, dobijenih pomoću Tagući metoda, je potvrdio kvalitet rezultata dobijenih pomoću Tagući procedure.
- Rezultati ANOVA analize su potvrdili rezultate koji su dobijeni primenom Tagući plana eksperimenta.
- Podaci iz ovog rada se mogu koristiti u daljim istraživanjima uticaja režima obrade na hrapavost obrađene površine.

5. LITERATURA

- [1] Klarić, S. (2009). Upravljanje kvalitetom – *alati i metode poboljšanja*, Mašinski fakultet, Mostar.
- [2] Sekulić, M. (2010). *Primena Tagućijevog metoda u planiranju eksperimenta*, skripta, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman proizvodno mašinstvo, Novi Sad
- [4] Pejić, V. (2016). *Modelovanje i optimizacija procesa glodanja vretenastim glodalima*, Doktorska disertacija, Univerzitet u Novom Sadu

Kratka biografija:



Ranko Kovačević rođen je u Zvorniku, BiH 2000. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Proizvodnog mašinstva, smer Računarom podržane tehnologije odbranio je 2024.god.

kontakt: ranko.kovacevic2000@gmail.com