

NAČINI PREDVIĐANJA KVALITETA OBRADENE POVRŠINE I POTENCIJALNE MOGUĆNOSTI DALJIH ISTRAŽIVANJA

WAYS OF SURFACE ROUGHNESS PREDICTING AND POTENTIAL OPPORTUNITIES FOR FURTHER RESEARCH

mr Radoslav Vučurević¹⁾, dr Zdravko Krivokapić²⁾

Rezime: *Ovim radom predstavljeni su dosadašnji načini predviđanja kvaliteta obrađene površine, koji se najčešće prati preko srednjeg aritmetičkog odstupanja profila hrapavosti od idealne površine. Razmotreni su osnovni matematički modeli koji se koriste u predviđanju hrapavosti tehničkih površina, kao i mogućnosti predviđanja kvaliteta obrađene površine koristeći vještačke neuronske mreže (ANN), na bazi direktnih parametara procesa. Osim prethodnog, radom su date potencijalne mogućnosti u pogledu daljih istraživanja i povezivanja parametara hrapavosti sa indirektnim parametrima procesa obrade, kao što su sila rezanja, jačina emitovanog zvučnog signala i sl.*

Ključne reči: *kvalitet obrađene površine, matematički model, vještačka neuronska mreža*

Abstract: *This paper presents the current way of predicting of surface roughness, which is usually monitored through the middle arithmetic deviation of the roughness to the ideal surface. Basic mathematical models used to predict the surface roughness of technical surfaces, as well as the ability to predict surface roughness using artificial neural network (ANN) based on direct process parameters, are discussed. The paper also discuss potential opportunities for further research and for linking roughness parameters with indirect processing parameters, such as cutting forces, the strength of the emitted sound, etc.*

Keywords: *surface roughness, mathematical model, artificial neural network*

1. UVOD

Mnogi proizvodi danas ne treba samo da se ispituju i da se odredi stanje površina nakon izrade. Zahtjevi tržišta traže da se dobije tačno određena površina dijelova različite namjene, pa se od stohastičke metrologije površina koja je registrovala završne proizvode sa aspekta kvaliteta, razvija deterministička, koja diktira kakva površina mora da se ostvari. [1]

Neminovnost koja se ne može u potpunosti izbjeći je da površine mašinskih dijelova, nakon mašinske obrade, djelimično odstupaju od idealne površine. Mikrogeometrijska odstupanja obrađenih površina u odnosu idealnu površinu nazivaju se hrapavošću površine, koja ima veliki uticaj na funkcionalne karakteristike mašinskih dijelova.

Hrapavost utiče na nekoliko funkcionalnih karakteristika dijelova, kao što su površinsko trenje, refleksija svjetla, prenos toplote, sposobnost distribucije i držanja maziva i sl. Stoga istraživači pokušavaju razviti robusan i precizan model koji pokazuje korelaciju između parametara rezanja i hrapavosti površine proizvoda. [2]

2. KVALITET OBRADENE POVRŠINE

Kvalitet obrađene površine se najčešće poistovjećuje sa hrapavošću površine, koja nastaje kao posljedica obrade i čije se karakteristike određuju mjerenjem parametara profila hrapavosti.

Profil hrapavosti izrađene površine se dobija pomoću ravni okomite na površinu i ograničene u prostoru. [1]

Hrapavost uključuje najfinije nepravilnosti površine koje su rezultat određenog proizvodnog procesa ili stanja materijala. [3]

Osnovni pojmovi hrapavosti površina dati su standardom ISO 4287 u kome se površinska hrapavost tehničkih površina definiše kao sveukupnost mikrogeometrijskih nepravilnosti na površini predmeta koje su mnogo puta manje manje od površine cijelog predmeta, a prouzrokovane su postupkom obrade ili nekim drugim uticajima. [4]

Hrapavost površine se može pratiti preko više parametara profila hrapavosti, kao što su maksimalna visina vrha profila R_p , maksimalna dubina dna profila R_v , maksimalna visina profila R_z (slika 1), srednje aritmetičko odstupanje profila R_a .

1) mr Radoslav Vučurević, Univerzitet u Istočnom Sarajevu, Fakultet za proizvodnju i menadžment Trebinje, mail: radoslav.vucurevic@gmail.com

2) dr Zdravko Krivokapić, Univerzitet Crne Gore, Mašinski fakultet Podgorica, mail: zdravkok@ac.me

Onaj parametar koji je standardizovan širom svijeta i koji se mjeri mnogo češće nego bilo koji drugi je srednje aritmetičko odstupanje profila.[5]

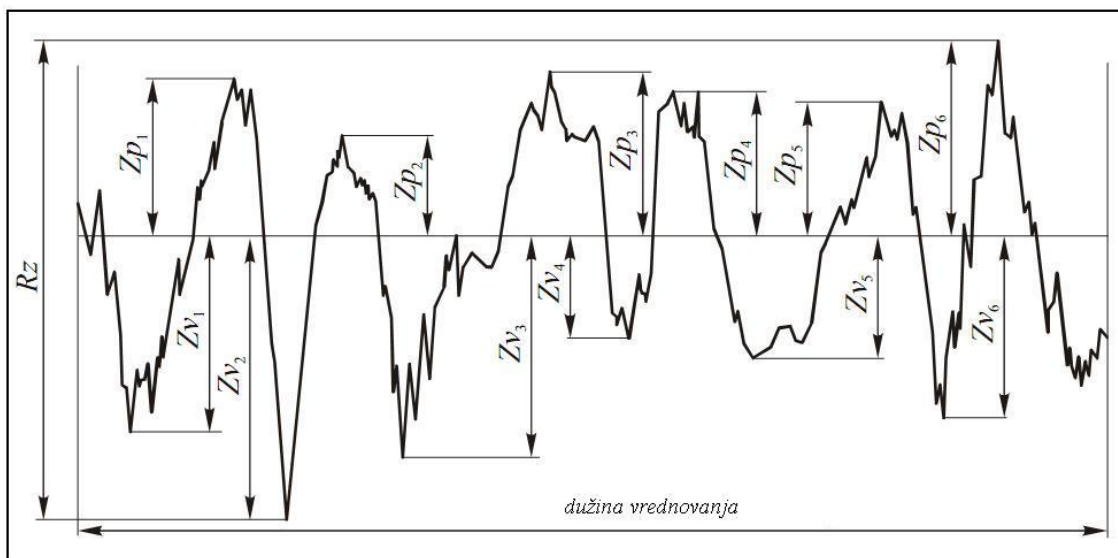
Srednje aritmetičko odstupanje mjenog profila R_a [4] je aritmetički prosjek apsolutne ordinatne vrijednosti $Z(x)$ na dužini uzorka:

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |Z(x)| dx,$$

gdje je l predstavlja dužinu vrednovanja profila.

Za određenu površinu u odnosu na njenu funkciju se definiše optimalan kvalitet obrade, a na osnovu vrijednosti srednjeg aritmetičkog odstupanja kvalitet obrađene površine je razvrstan u 12 klasa hrapavosti. [6]

Manji broj klase hrapavosti odgovara finijem kvalitetu obrađene površine, pri čemu postoji uzajamna međuzavisnost između ISO tolerancije i klase hrapavosti površine mašinskih dijelova, koja se zahtjeva.



Slika 1. Maksimalne vrijednosti na profilu hrapavosti [4]

3. NAČINI PREDVIĐANJA KVALITETA OBRADENE POVRŠINE

Jedan od često korištenih načina za predviđanje vrijednosti parametara kvaliteta obrađene površine je matematički model dobijen pomoću statističke metode višestruke regresije.

U novije vrijeme za optimizaciju proizvodnih procesa, pa i predviđanje kvaliteta obrađene površine, na bazi ulaznih parametara procesa, sve više se koriste vještačke neuronske mreže (ANN modeli) i fazi sistemi (ANFIS modeli).

Višestruka regresiona analiza je pogodna za pronalaženje najbolje kombinacije nezavisnih varijabli, kao što su broj obrtaja vretena, dubina rezanja i sl., kako bi se postigla željena površinska hrapavost, ali, nažalost, regresioni model se dobija iz statističke analize pri kojoj se mora prikupiti velik broj podataka. [7]

Uzimajući u obzir navedeno, vještačke neuronske mreže (ANN modeli) i fazi sistemi (ANFIS modeli) predstavljaju mnogo povoljniji način za predviđanje hrapavosti tehničkih površina.

4. PREGLED DOSADAŠNJIH REZULTATA

Veliki broj eksperimentalnih istraživanja pokušava naći vezu između kvaliteta obrađene površine, koji se najčešće prati preko srednjeg aritmetičkog odstupanja R_a , parametara procesa obrade i habanja alata za obradu rezanjem.

Kao bazna funkcija, za predstavljanje korelativne zavisnosti parametara faktora površine R_a [μm] i habanja alata h [mm], veoma uspješno se može koristiti polinom trećeg stepena u obliku [8]:

$$R_a = C_0 + C_1 \cdot h + C_2 \cdot h^2 + C_3 \cdot h^3$$

Nedić B., Tadić B. i Dorđević Z. [8] su realizacijom eksperimentalnih istraživanja, pri obradi struganjem i bušenjem meko žarenih čelika, perlitno-feritne strukture, između ostalog, došli do saznanja da je, pri obradi čelika Č.5420, zavojnom burgijom od brzoreznog čelika Č.7680, prečnika $d = 6 mm$, ova zavisnost oblika:

$$R_a = 5,874 + 18,58 \cdot h - 290,3 \cdot h^2 + 814,27 \cdot h^3$$

Realizacijom različitih eksperimentalnih istraživanja dolazi se do korelativnih zavisnosti za konkretne parametre obrade i različite uslove istraživanja.

Rashid A. i Lani A. [7] su koristili višestruku regresiju za dobijanje matematičkog modela površinske hrapavosti pri obradi aluminijuma glodanjem. Izvođenjem eksperimenta, korišćenjem potpunog faktorijelnog plana, i određivanjem koeficijenta višestruke regresije došli su do modela koji povezuje površinsku hrapavost izraženu preko srednjeg aritmetičkog odstupanja R_a [μm], broj obrtaja vretena n [ob/min], korak s [mm/min] i dubinu rezanja t [mm]:

$$R_a = 2,1066 - 0,0011 \cdot n + 0,0040 \cdot s - 0,00971 \cdot t$$

Razvijeni matematički model je dao rezultat sa prosječnim postotkom greške od 13,3 %, što pokazuje da je tačnost predviđanja oko 86,7 %.

Rodrigues L.L.R., Kantharaj A.N., Kantharaj B., Freitas W. R. C. i Murthy B.R.N. [9] su koristili regresionu analizu za dobijanje matematičkog modela koji povezuje broj obrtaja n [ob/min], korak s [mm/ob] i dubinu rezanja t [mm], pri obradi struganjem konstrukcionog čelika alatima od brzoreznog čelika (HSS), sa kvalitetom obrađene površine preko srednjeg aritmetičkog odstupanja R_a [μm]. Izvođenjem potpunog plana eksperimenta, variranjem pomenutih parametara na tri nivoa, oni su došli do slijedećeg matematičkog modela:

$$R_a = -6,04 + 0,0187 \cdot n + 85,4 \cdot s + 7,42 \cdot t - 0,135 \cdot n \cdot s - 69,9 \cdot s \cdot t - 0,0056 \cdot n \cdot t + 0,121 \cdot n \cdot s \cdot t$$

Korigovani koeficijent determinacije u ovom slučaju je iznosio 66,1 %, što ukazuje na jaku povezanost kvaliteta obrađene površine i navedenih parametara.

Raghunandan B.V., Bhandarkar S.L. i Pankaj K.S. [2] su takođe koristili regresionu analizu za dobijanje modela površinske hrapavosti, i to pri obradi struganjem materijala EN-19 sa pločicama od tvrdog metala. Na osnovu podataka dobijenih primjenom Taguči dizajna eksperimenta, koristeći softver MINITAB 13 u regresionoj analizi, oni su došli do modela koji povezuje srednje aritmetičko odstupanje hrapavosti površine R_a [μm], brzinu rezanja v [m/min], korak s [mm/ob] i dubinu rezanja t [mm]:

$$R_a = 2,22 - 0,0244 \cdot v + 13,2 \cdot s + 0,172 \cdot t$$

Ovim modelom se pokazuje da je i prilikom korištenja djelimičnog faktorijelnog plana eksperimenta moguće doći do modela koji pokazuje povezanost između parametara obrade i površinske hrapavosti. Korigovani koeficijent determinacije,

kojim se opisuje data povezanost, u ovom slučaju je iznosio 52,8 %.

Šimunović G., Šarić T. i Lujić R. [10] su primjenili vještačke neuronske mreže za predviđanje površinske hrapavosti radnog predmeta od čelika pri obradi struganjem, koristeći kao ulazne parametre vrstu materijala, vrstu alata, dubinu rezanja, korak i broj obrtaja. Ovaj model temeljen na vještačkim neuronskim mrežama dao je rezultate sa prosječnom greškom koja je manja od 5 %, kada su u pitanju podaci korišteni za obuku, validaciju i testiranje mogućnosti primjene samog modela.

Rashid A. i Lani A. [7] su, pored razvijanja matematičkog modela, koristili vještačke neuronske mreže za predviđanje površinske hrapavosti pri obradi aluminijuma glodanjem. Predviđanje je pokazalo povoljne rezultate sa 6,42 % prosječne greške, što znači da je vještačka neuronska mreža u stanju predvidjeti hrapavost površine do 93,58 % tačnosti.

Shahriar J. H. i Nafis A. [11] su upoređivanjem eksperimentalnih podataka o srednjem aritmetičkom odstupanju profila, dobijenih pri završnoj obradi aluminijuma glodanjem, sa podacima dobijenim obučavanjem vještačke neuronske mreže, došli do podatka o veličini prosječne greške predviđanja modela u iznosu od 0,0314 %, dok je fazi sistem dao prihvatljiviji rezultat (prosječna greška u iznosu od 0,003014 %).

U istom istraživanju, testiranje dobijenih modela je dalo znatno lošije rezultate. Prosječna greška testiranja jeste bila na strani vještačkih neuronskih mreža, ali se zbog manje prosječne greške dobijene prilikom formiranja navedenih modela prednost daje fazi sistemu kao povoljnijem modelu predviđanja.

5. POTENCIJALNE MOGUĆNOSTI DALJIH ISTRAŽIVANJA

Prilikom kontakta s drugim materijalom, alati za obradu odvajanjem čestica izloženi su ekstremnom trenju. Razvijaju se sile visokog intenziteta (nekad više od 15 kN) i visoke temperature (do 1000 °C). Kao rezultat toga javlja se trošenje rezne ivice alata. [12]

Trošenje alata, koje se u literaturi često prati preko veličine habanja na leđnoj površini alata, ima uticaj na kvalitet obrađene površine, povećanje trenja, povećanje temperature, povećanje otpora u zoni rezanja i jačinu emitovanog zvučnog signala.

Neka od pomenutih istraživanja nalaze vezu između kvaliteta obrađene površine i habanja alata za obradu [8], ali ne daju mogućnost predikcije procesa obrade u pogledu obezbjeđenja zadovoljavajućeg nivoa kvaliteta obrađene površine na

bazi indirektnih parametara procesa, povezanih sa habanjem alata za obradu.

Probuđena svijest o tome da se kontinualnim praćenjem i adekvatnom predikcijom procesa, u cilju postizanja zadovoljavajućeg kvaliteta proizvoda, u krajnjoj liniji stvara dodatna vrijednost za organizaciju, nalaže praćenje procesa obrade, te predikciju procesa u cilju postizanja kvaliteta koji će ispuniti očekivanja eksternih korisnika.

Imajući u vidu naprijed navedeno, potencijalna mogućnost daljih istraživanja se ogleda u pronalaženju matematičkog modela ili modela zasnovanog na primjeni vještačkih neuronskih mreža koji će uključiti direktne parametre procesa (broj obrtaja, korak, dubinu rezanja) i indirektno parametre procesa (silu rezanja, jačinu emitovanog zvučnog signala i sl.), te obezbjeđiti pravovremenu predikciju procesa obrade sa aspekta kvaliteta obrađene površine.

6. ZAKLJUČAK

Jedna od neminovnih činjenica jeste da se o kvalitetu obrađene površine, sa izvjesnom sigurnošću, može govoriti tek nakon mjerenja parametara hrapavosti površine.

Mnogi naučnici regresionom analizom dolaze do matematičkog modela koji povezuje direktne parametre procesa sa kvalitetom obrađene površine ili vrše predviđanje hrapavosti površine, na osnovu direktnih parametara procesa, primjenom vještačkih neuronskih mreža.

Ovi modeli, i jedni i drugi, daju dobre rezultate u pogledu predviđanja kvaliteta obrađene površine, ali ne uzimaju u obzir spregnuto dejstvo direktnih parametara obrade i pohabanosti alata za obradu.

Kako habanje alata za obradu utiče na veličinu indirektnih parametara procesa (silu rezanja, jačinu emitovanog zvučnog signala i sl.), to se kao mogućnost za dalja istraživanja postavlja iznalaženje modela koji će uzeti u obzir i direktne i indirektno parametre procesa.

Formiranjem navedenog modela stvorila bi se mogućnost predikcije procesa obrade sa aspekta postizanja zadovoljavajućeg kvaliteta obrađene površine.

LITERATURA

- [1] Zaimović - Uzanović N., Lemeš S., Denjo D., Softić A., „Proizvodna mjerenja”, Univerzitet u Zenici, Mašinski fakultet, Zenica, 2009.
- [2] Raghunandan B.V., Bhandarkar S.L., Pankaj K.S., „An Experimental Mathematical Modelling of Surface Roughness

in Turning Operation of En19 with Carbide Tool”, International Journal of Mechanical Engineering and Research, Volume 3, Number 5, 2013, p. 495-502

- [3] Talati J., „Surface Roughness - Significance and symbol interpretation in drawing”, Hexagon Design Centre, Vadodara, <http://www.hexagondesign.net>
- [4] „Hrapavost tehničkih površina - skripta”, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, <http://www.fsb.unizg.hr>
- [5] Chi T., Ballinger T., Olds R., Zecchino M., „Surface Texture Analysis Using Dektek Stylus Profilers”, Veeco Instruments Inc., Tucson, 2004, <http://www.rpi.edu>
- [6] Milošević M., „Tolerancije mašinskih delova”, Univerzitet u Nišu, Mašinski fakultet, <http://www.masfak.ni.ac.rs>
- [7] Rashid A., Lani A., „Surface Roughness Prediction for CNC Milling Process using Artificial Neural Network”, Proceedings of the World Congress on Engineering, London, 2010.
- [8] Nedić B., Tadić B., Đorđević Z., „Neki rezultati ispitivanja uticaja pohabanosti alata na otpore rezanja i kvalitet obrađene površine”, Tribologija u industriji, Godina XIII, Br. 4, 1991, str. 107-114
- [9] Rodrigues L.L.R., Kantharaj A.N., Kantharaj B., Freitas W.R.C., Murthy B.R.N., „Effect of Cutting Parameters on Surface Roughness and Cutting Force in Turning Mild Steel”, Research Journal of Recent Sciences, Vol. 1(10), 2012, p. 19-26
- [10] Šimunović G., Šarić T., Lujčić R., „Primjena neuronskih mreža u procjenjivanju kvalitete obrađivane površine”, Tehnički vjesnik, Vol. 16, Br. 2, 2009, str. 43-47
- [11] Shahriar J.H., Nafis A., „Artificial Intelligence Based Surface Roughness Prediction Modeling for Three Dimensional End Milling”, International Journal of Advanced Science and Technology, Vol. 45, 2012, p. 1-18
- [12] Dadić Z., „Tribological principles and steps to reduce cutting tool wear”, International conference Mechanical Technologies and Structural Materials, Split, 26-27. September 2013.