



Original Research Pap

Effect of Tool Wear on Axial Drilling Force and Maximum Height of Surface Roughness Profile

Uticaj habanja alata na aksijalnu silu bušenja i maksimalnu visinu profila hrapavosti površine

R. Vučurević^{1*}, Z. Krivokapić

¹ University of East Sarajevo, Faculty of Production and Management Trebinje, Stepe Stepanovica bb, Trebinje, Bosnia and Herzegovina

² University of Montenegro, Faculty of Mechanical Engineering, Džordža Vašingtona bb, Podgorica, Montenegro

Abstract: As a result of the contact of the cutting tool with the workpiece and due to friction, tool wear occurs, which is manifested by the changed cutting properties and, consequently, by tool blunting which has a negative impact on the quality of processing. Accordingly, it is necessary to monitor the amount of tool wear and perform timely replacement of the tool. The criteria for tool blunting can include: reaching the limiting value of the flank wear; increasing the cutting forces; increasing vibrations; change of the sound during the machine processing; deterioration of the surface roughness. Tool wear, therefore, affects the change in the parameters of the machine processing which results in a change in the surface roughness and leads to a change in shape and dimensions. By comparing the value of the axial drilling force and the maximum height of the roughness profile, obtained by conducting an experiment for different values of the input parameters of the drilling process – at the beginning of the process and at the moment of the tool blunting – the paper presents the findings concerning the size of the influence of tool wear on the axial drilling force and the maximum height of the surface roughness profile.

Keywords: drilling, wear, force, roughness

Apstrakt: Usljed kontakta reznog alata sa materijalom za obradu i pojave trenja dolazi do habanja alata koje se manifestuje promjenom njegovih reznih svojstava i u krajnjem slučaju zatupljenjem alata koje ima negativan uticaj na kvalitet obrade. Shodno tome, potrebno je pratiti veličinu habanja alata i izvršiti njegovu pravovremenu zamjenu. Kao kriterijumi zatupljenja alata mogu se uzeti dostizanje granične vrijednosti širine habanja na leđnoj površini, povećanje sile rezanja, povećanje vibracija, promjena zvuka tokom procesa obrade ili pogoršanje kvaliteta obrađene površine. Habanje alata, dakle, utiče na promjenu izlanih parametara procesa obrade, što za posljedicu ima promjenu kvaliteta obrađene površine, a nakon toga dovodi i do promjene oblika i dimenzija. Upoređivanjem vrijednosti aksijalne sile bušenja i maksimalne visine profila hrapavosti, dobijenih provođenjem eksperimenta za različite vrijednosti ulaznih parametara procesa obrade bušenjem, na početku odvijanja procesa i u trenutku zatupljenja alata, u ovome radu dolazi se do saznanja o veličini uticaja habanja alata na aksijalnu silu bušenja i maksimalnu visinu profila hrapavosti površine.

Ključne riječi: bušenje, habanje, sila, hrapavost

1 UVOD

Obradom skidanjem strugotine dolazi do pojave habanja alata, koje dovodi do promjene reznih svojstava alata, što se u znatnoj mjeri

odražava na otpore rezanju i kvalitet obrađene površine.

Habanje alata utiče na njegovu postojanost, pri čemu se postojanost alata uopšteno može

*radoslav.vucurevic@fpm.ues.rs.ba

definirati kao sposobnost očuvanja reznih karakteristika u određenim eksploatacionim uslovima ili kao stvarni period rezanja tokom koga se nov alat zadovoljavajuće eksploatiše [1].

Usljed habanja alata dolazi do promjene izlaznih parametara procesa obrade, pri čemu prvo dolazi do promjene kvaliteta obrađene površine, a zatim i do promjene oblika i dimenzija. Sve ovo prati i povećanje sila rezanja i pojava vibracija [2].

Nedić B., Tadić B. i Đorđević Z. [3] su realizacijom eksperimentalnih istraživanja, pri obradi struganjem i bušenjem meko žarenih čelika perlitno-feritne strukture, došli do polinomne zavisnosti, u obliku polinoma trećeg stepena, između srednjeg aritmetičkog odstupanja hrapavosti površine R_a [μm] i habanja alata h [mm], čime je utvrđena zavisnost kvaliteta obrađene površine od habanja alata za obradu.

Xuan-Truong D. i Minh-Duc T. [4] su istraživali uticaj parametara rezanja, brzine rezanja v [m/min], koraka s [mm/o] i dubine rezanja t [mm], na kvalitet obrađene površine izražen preko srednjeg aritmetičkog odstupanja R_a [μm] i habanje alata za obradu h [mm], pri struganju materijala INCONEL 718. Predmetni rad je ukazao da povećanjem brzine rezanja dolazi do poboljšanja kvaliteta obrađene površine, ali da se povećava habanje alata, što upućuje na određivanje optimalne brzine rezanja u cilju boljeg iskorišćenja alata za obradu.

Spaić O. i Marinović B. [5] su primjenom vještačkih neuronskih mreža, na osnovu eksperimentalnih rezultata dobijenih pri bušenju čelika velike čvrstoće i tvrdoće Č.4732 zavojnim burgijama od brzoreznog čelika, uspostavili model za aksijalnu silu bušenja F_3 [N] u zavisnosti od širine pojasa habanja h [mm]. Ovim radom je pokazano da se vještačke neuronske mreže mogu adekvatno koristiti za predviđanje aksijalne sile rezanja kao nosioca informacija o veličini habanja reznih alata.

Xu Y., Hiroyuki K. i Wei Z. [6] su pokazali da se habanje alata h [mm] pri bušenju legura aluminijuma može predvidjeti vještačkim neuronskim mrežama na bazi ulaznih parametara

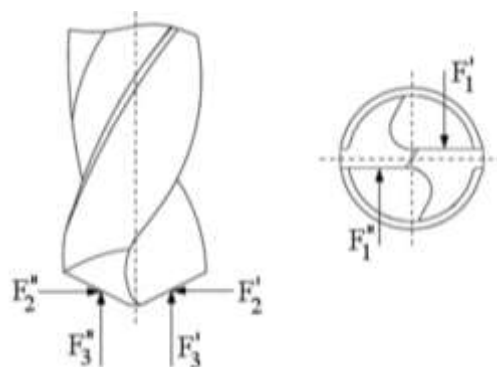
procesa, kao što su dubina rezanja t [mm], broj obrtaja glavnog vretena n [o/min] i korak s [mm/o], uz dopunu sa vrijednostima mjerljivih parametara procesa, kao što su aksijalna sila bušenja F_3 [N] i obrtni moment M [Nm].

Vučurević R., Krivokapić Z. i Antelj L. [7] su sagledavajući vrijednosti srednjeg aritmetičkog odstupanja profila hrapavosti površine, dobijene provođenjem eksperimenta za različite ulazne vrijednosti parametara procesa obrade bušenjem, zavojnim burgijama čelika Č.4732 tvrdoće 17 HRC, došli do saznanja da je najveći negativan uticaj habanja na kvalitet obrađene površine u trenutku zatupljenja alata za maksimalne vrijednosti prečnika zavojne burgije i broja obrtaja.

Uzimajući naprijed navedeno predmetnim radom se nastoji ispitati uticaj habanja alata na aksijalnu silu (otpor) bušenja i maksimalnu visinu profila hrapavosti površine.

2 OTPORI REZANJA I HABANJE ALATA ZA BUŠENJE

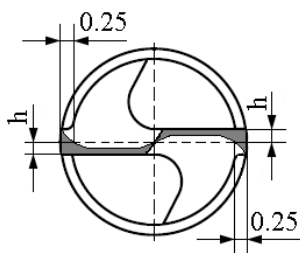
U procesu bušenja, usljed dejstva otpora rezanja, alat za bušenje trpi naprezanja na pritisak, savijanje, uvijanje i izvijanje. Otpori rezanja na sječivima razlažu se na tri međusobno upravne komponente: glavni otpori rezanja (kolinearni sa brzinom rezanja) F_1' i F_1'' , otpori prodiranja (u radijalnom pravcu - normalni na bok otvora) F_2' i F_2'' i otpori pomoćnog kretanja (u aksijalnom pravcu) F_3' i F_3'' (Slika 1) [8].



Slika 1 - Komponente otpora rezanja pri bušenju

Glavni otpori rezanja pri bušenju stvaraju moment uvijanja koji opterećuje burgiju i naziva se moment bušenja. Otpori prodiranja su istog pravca i suprotnog smjera, pa se uravnotežuju. Otpori pomoćnog kretanja za oba sječiva su kolinearni, pa se sabiraju i njihov rezultujući otpor se naziva aksijalni otpor bušenja [9].

Usljed kontakta alata sa drugim materijalom, alati za obradu su izloženi ekstremnom trenju, pri čemu se kao posljedica pojavljuje trošenje (habanje) alata [10], a u krajnjoj liniji zatupljenje alata, koje utiče na povećanje otpora rezanja.



Slika 2 - Habanje zavojne burgije

Kao kriterijum zatupljenja zavojne burgije uzima se habanje duž ledne površine i habanje u predjelu poprečnog sječiva, pri čemu širina pojasa habanja nije ravnomjerna, već se najveće habanje pojavljuje pri vrhu rezne ivice, pa najvjerniju sliku o habanju alata daje veličina habanja koja se nalazi na 0,25 mm od vrha rezne oštrice (Slika 2) [11].

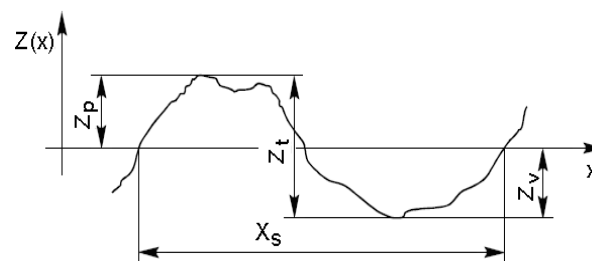
3 HRAPAVOST POVRŠINE

Prilikom izrade proizvoda posebna pažnja, sa aspekta kvaliteta obrade, posvećuje se dimenzionoj tačnosti i kvalitetu obrađenih površina, pa mjerenje parametara hrapavosti i parametara tačnosti obrade posebno dobija na značaju.

Osnovni pojmovi hrapavosti površina su propisani standardom ISO 4287 koji površinsku hrapavost tehničkih površina definiše kao sveukupnost mikrogeometrijskih nepravilnosti na površini predmeta.

Standardom ISO 4287 definisano je više geometrijskih parametara profila hrapavosti kao što su visina vrha profila Z_p koja predstavlja udaljenost između ose x i najviše tačke vrha

profila, dubina dna profila Z_v koja predstavlja udaljenost između x ose i najniže tačke dna profila i visina elementa profila Z_t koja predstavlja zbir visine vrha i dubine dna elementa profila širine X_s (Slika 3).



Slika 3 - Element profila hrapavosti

Hrapavost površine može se pratiti preko više amplitudnih parametara profila hrapavosti, kao što su maksimalna visina vrha profila R_p , maksimalna dubina dna profila R_v , maksimalna visina profila R_z , srednje aritmetičko odstupanje profila R_a , pri čemu je maksimalna visina profila R_z zbir najveće visine vrha profila i najveće dubine dna profila na dužini uzorka.

4 METODOLOGIJA RADA

Ulazni parametri procesa obrade bušenjem su nazivni prečnik zavojne burgije (d), broj obrtaja (n), korak (s), a kao dodatni parametar se može uzeti i ugao postavljanja radnog predmeta (ϵ).

Kako je izlazni parametar R_z u funkciji od četiri ulazna parametra procesa obrade bušenjem (d , n , s i ϵ), te s obzirom da na njegovu veličinu utiče habanje zavojne burgije (h), koje se može povezati sa aksijalnom silom bušenja (F_3) kao mjerljivim parametrom, provođenje eksperimenta je planirano da se izvede po Tagučijevom ortogonalnom planu, sa variranjem faktora na tri nivoa (Tabela 1).

Tabela 1 - Nivoi faktora eksperimenta

RB	d [mm]	n [o/min]	s [mm/o]	ϵ [°]
1.	3	300	0,03	0
2.	5	500	0,05	3
3.	8	800	0,10	5

Variranjju faktora eksperimenta na tri nivoa odgovara Tagučijeva ortogonalna matrica L_9 sa devet kombinacija parametara procesa obrade, a

uzimajući u obzir da su faktori eksperimenta prečnik zavojne burgije (d), broj obrtaja (n), korak (s) i ugao postavljanja radnog predmeta (ε), korišćenjem ortogonalne matrice L_9 , dobijena je plan matrica eksperimenta (Tabela 2).

Tabela 2 – Plan matrica eksperimenta

RB	d [mm]	n [o/min]	s [mm/o]	ε [°]	Izlaz
1.	d_1	n_1	s_1	ε_1	Y_1
2.	d_1	n_2	s_2	ε_2	Y_2
3.	d_1	n_3	s_3	ε_3	Y_3
4.	d_2	n_1	s_2	ε_3	Y_4
5.	d_2	n_2	s_3	ε_1	Y_5
6.	d_2	n_3	s_1	ε_2	Y_6
7.	d_3	n_1	s_3	ε_2	Y_7
8.	d_3	n_2	s_1	ε_3	Y_8
9.	d_3	n_3	s_2	ε_1	Y_9

Provođenje eksperimenta je obezbijeđeno da se izvodi na CNC glodalici MILL 250, proizvodnje firme EMCO, sa mogućnošću postizanja maksimalnog broja obrtaja glavnog vretena od 10 000 o/min, rasponom brzine pomoćnog kretanja 0-10 m/min, mogućnošću postizanja maksimalnog obrtnog momenta od 41 Nm, te EMCOWinNC numeričkom kontrolom.

U cilju provođenja eksperimenta obezbijeđena je upotreba zavojnih burgija DIN 338 $\varnothing 3$, DIN 338 $\varnothing 5$ i DIN 338 $\varnothing 8$ od brzoreznog čelika Č.7680, proizvedenih tehnologijom brušenja i termički obrađenih na tvrdoću 64-68 HRC, crne izvedbe sa varijantom normalnog oštrenja, proizvođača „Swisslion Industrija Alata, a.d. Trebinje“, dok je za materijal epruveta obezbijeđena upotreba čelika za poboljšanje Č.4732, termički tretiranog na tvrdoću 28 HRC.

Za mjerenje veličine habanja na lednoj površini zavojne burgije, obezbijeđen je optički uređaj za mjerenje geometrijskih elemenata zavojnih burgija GÜHRING PG 100, sa mogućnošću digitalnog očitavanja izmjerenih vrijednosti.

Mjerenje vrijednosti parametra kvaliteta obrađene površine obezbijeđeno je da se izvodi sa mjernim instrumentom SURTRONIC 25

proizvodnje firme TAYLOR HOBSON, sa mjernim rasponom do 300 μm .

Mjerenje aksijalne sile bušenja je obezbijeđeno da se izvodi mjernim lancem za mjerenje aksijalne sile i obrtnog momenta proizvodnje firme KISTLER, mjernog opsega za silu do 20 000 N i moment do 10 000 Ncm, sa integrisanim softverom za akviziciju podataka.

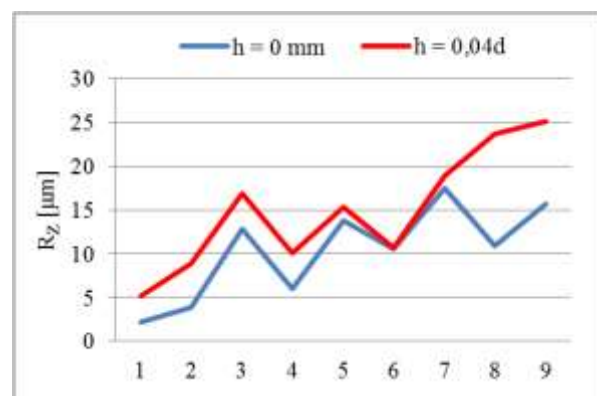
5 REZULTATI

Pregled rezultata mjerenja aksijalne sile bušenja (F_3) i maksimalne visine profila hrapavosti (R_z) dat je u narednoj tabeli (Tabela 3).

Tabela 3 - Rezultati mjerenja

RB	$h = 0 \text{ mm}$		$h = 0,04 d$	
	F_3 [N]	R_z [μm]	F_3 [N]	R_z [μm]
1.	243,21	2,12	410,28	5,22
2.	329,62	3,90	517,12	8,88
3.	724,04	12,75	874,82	16,90
4.	724,67	6,05	989,43	10,04
5.	1059,70	13,80	1296,40	15,30
6.	407,76	10,50	416,65	10,70
7.	1817,08	17,50	2028,99	18,93
8.	710,80	10,87	1040,07	23,68
9.	832,14	15,68	965,86	25,05

Uporedni prikaz vrijednosti maksimalne visine profila hrapavosti na početku odvijanja procesa i u trenutku zatupljenja alata prikazan je na narednoj slici (Slika 4).



Slika 4 - Uporedni prikaz vrijednosti maksimalne visine profila hrapavosti

Procentualno povećanje aksijalne sile bušenja i maksimalne visine profila hrapavosti površine u trenutku zatupljenja alata u odnosu na vrijednosti na početku odvijanja procesa prikazano je u narednoj tabeli (Tabela 4).

Tabela 4 - Procentualno povećanje

RB	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.
F ₃	68,7	56,9	20,8	36,5	22,3	2,2	11,7	46,3	16,1
R _z	146,2	127,7	32,6	65,9	10,9	1,9	8,2	117,8	59,8

6 DISKUSIJA

Sagledavajući vrijednosti aksijalne sile bušenja i maksimalne visine profila hrapavosti površine na početku odvijanja procesa i u trenutku zatupljenja alata uočava se povećanje vrijednosti.

Upoređujući dobijene podatke, može se vidjeti da se najveće procentualno povećanje aksijalne sile bušenja, u iznosu od 68,7%, i maksimalne visine profila hrapavosti površine, u iznosu od 146,2%, javlja za ulazne parametre procesa obrade bušenjem $d=3$ mm, $n=300$ o/min, $s=0,03$ mm/o i $\varepsilon=0^\circ$, dok je najveće povećanje vrijednosti za ulazne parametre procesa obrade bušenjem $d=8$ mm, $n=500$ o/min, $s=0,03$ mm/o i $\varepsilon=5^\circ$.

Najmanji negativan uticaj zatupljenja alata na vrijednosti aksijalne sile bušenja i maksimalne visine profila hrapavosti i njihovo procentualno povećanje je za ulazne vrijednosti parametara procesa $d=5$ mm, $n=800$ o/min, $s=0,03$ mm/o i $\varepsilon=3^\circ$, u procentualnom iznosu od 2,2% za aksijalnu silu bušenja i 1,9% za maksimalnu visinu profila hrapavosti površine.

7 ZAKLJUČAK

Habanje alata utiče na vrijednosti aksijalne sile bušenja i maksimalne visine profila hrapavosti površine, s tom činjenicom da se procentualno povećanje uglavnom više odražava na maksimalnu visinu profila hrapavosti, nego na aksijalnu silu.

Najveće procentualno povećanje aksijalne sile i maksimalne visine profila hrapavosti jeste za minimalne vrijednosti prečnika i broja obrtaja, ali s obzirom na povećanje vrijednosti maksimalne

visine profila hrapavosti u trenutku zatupljenja alata, najveći negativan uticaj habanja alata na maksimalnu visinu profila hrapavosti se može uzeti da je pri bušenju maksimalnom vrijednošću prečnika zavojne burgije uz veće brojeve obrtaja.

Prethodni zaključak je u saglasnosti sa radom [7] kojim je ispitivan uticaj habanja alata na srednje aritmetičko odstupanje profila hrapavosti.

8 LITERATURA

- [1] Milutinović, M. (2015). *Istraživanje postojanosti strugarskog noža u proizvodnim uslovima pri ortogonalnom rezanju*. Beograd: Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet.
- [2] Jozić, S. (2012). *Višeparametarsko modeliranje i opti-miranje tvrdog glodanja*. Split: Sveučilište u Splitu, Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje.
- [3] Nedić, B., Tadić, B., Đorđević, Z. (1991). Neki rezultati ispitivanja uticaja pohabanosti alata na otpore rezanja i kvalitet obrađene površine. *Tribologija u industriji*, XIII(4), 107-114.
- [4] Xuan-Truong, D., Minh-Duc, T. (2013). Effect of Cutting Condition on Tool Wear and Surface Roughness During Machining of INCONEL 718. *International Journal of Advanced Engineering Technology*, IV(III), 108-112.
- [5] Spaić, O., Marinović, B. (2012). Influence of Wearing Drills on Drilling Axial Force. *Proceedings of the 1st International Scientific Conference Cometa 2012* (83-90). East Sarajevo: University of East Sarajevo, Faculty of Mechanical Engineering. <https://cometa.ues.rs.ba>
- [6] Xu, Y., Hiroyuki, K., Wei, Z. (2009). Back Propagati-on Wavelet Neural Network based Prediction of Drill Wear from Thrust Force and Cutting Torque Signals. *Computer and Information Science*, 2(3), 75-86. <https://doi.org/10.5539/cis.v2n3p75>
- [7] Vučurević, R., Krivokapić, Z., Antelj, L. (2019). Uticaj habanja alata pri obradi bušenjem na kvalitet obrađene površine. *Zbornik radova 46. Nacionalne konferencije o kvalitetu* (185-190). Kragujevac: Fakultet inženje-rskih nauka. http://www.cqm.rs/2019/papers_fq/21.pdf
- [8] Radovanović, M. (2002). *Tehnologija mašinogradnje (obrada rezanjem)*. Niš: Univerzitet u Nišu, Mašinski fakultet.

- [9] Kalajdžić, M. (2008). *Tehnologija mašinogradnje*. Beograd: Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet.
- [10] Dadić, Z. (2013). Tribological Principles and Steps to Reduce Cutting Tool Wear. *International conference Mechanical Technologies and Structural Materials*. Split.
- [11] Spaić, O. (2006). *Uporedna analiza habanja zavojnih burgija od brzoreznog čelika sa povećanim sadržajem Co proizvedenog konvencionalnom metalurgijom i metalurgijom praha*. Trebinje: Univerzitet u Istočnom Sarajevu, Fakultet za proizvodnju i menadžment Trebinje.