

MODELIRANJE SILA REZANJA PRI ČEONOM GLODANJU VISOKO-HROMIRANOG LIVENOG GVOŽĐA**MODELING OF CUTTING FORCES IN FACE MILLING OF HIGH-CHROME CAST IRON**

Čedomir Ždrnja, Borislav Savković, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – MAŠINSTVO

Kratak sadržaj – U okviru ovog rada prikazani su eksperimentalno dobijeni rezultati pri obradi čeonom glodanju visoko-hromiranog livenog gvožđa. Rezultati su predstavljani u vidu dijagrama i tabela i izvršena je njihova analiza. Merenje i prikaz ovih rezultata izvršen je putem merno akvizicionog sistema. U radu je dat opis ovog sistema i način njegovog funkcionisanja.

Ključne reči: Čeono glodanje, visoko-hromirano liveno gvožđe, sile rezanja, akvizicija podataka.

Abstract – Within this paper experimental results are obtained in machining with the main milling of high-chromium iron. The results were presented as diagrams and tables and their analysis was performed. Measurement and presentation of these results was carried out through a measurable acquisition system. The paper describes this system and how it works.

Key words: Face milling, high-chromium cast iron, cutting forces, data acquisition.

1. UVOD

Proučavanju sila rezanja koje nastaju u procesu glodanja materijala posvećeno je veliki broj radova. Postoji mnogo tehnika za izučavanje sila rezanja tokom glodanja u zavisnosti od tehnoloških parametara obrade. Trenutno se empirijske, analitičke i grafoanalitičke zavisnosti i metode široko koriste za izučavanje sila rezanja za oblikovanje glodanjem.

Najznačajniji uticaj u tehnologiji mašingradnje imaju sile i momenti pri rezanju metala. Sile i momenti pri rezanju su jedna od osnovnih karakteristika stanja procesa rezanja [1,2].

Kada se odrede funkcije sila rezanja i njihovih momenata, one omogućuju da se:

- Proračuna snaga koja se troši u datom zahvatu ili operaciji i izabere odgovarajući motor mašine alatke;
- Izaberu i proračunaju glavni i pomoćni sistemi prenosnih mehanizama od izvora do reznog alata;
- Izvrši proračun čvrstoće i dimenzionišu elementi i jedinice mašine;
- Odrede dimenzije i izvrši odgovarajući proračun pomoćnih pribora u projektovanoj tehnologiji;

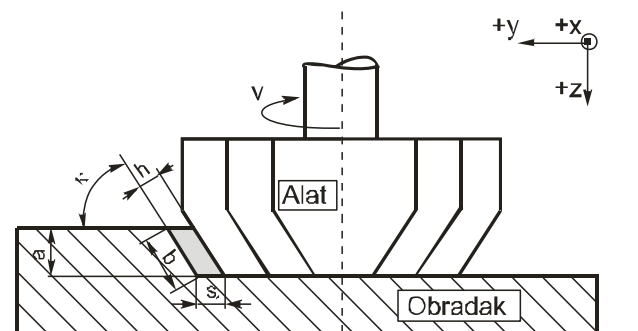
NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio docent dr Borislav Savković.

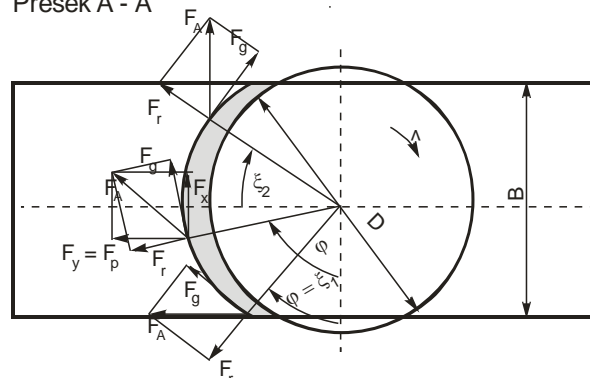
- Odaberu tipovi i dimenzije reznog alata i proveriti stabilnost alata u celini;
- Odrede elementi režima i uslovi obrade, pri projektovanju ekonomičnih i produktivnih varijanti tehnološkog procesa obrade;
- Izvrši proračun tačnosti i provera mogućnosti obrade nekog mašinskog dela sa stanovišta propisanog kvaliteta.

Na ovaj način se u proizvodnim uslovima, na osnovu poznavanja i korišćenja funkcija sila, obezbeđuje racionalna konstrukcija i ekonomična eksploatacija proizvodnih sredstava, optimizacija procesa obrade, kao i razvoj određenih koncepata upravljanih obradnih sistema sa graničnim regulisanjem.

Pri analiziranju sila rezanja kod čeonog glodanja doazi se do toga da se sila meri u tri osnovna pravca x, y i z. Šema sila rezanja i pomenuta tri pravca prikazana su na slici 1. Kod rezanja razlikuju se sile po zubu i sile koje deluju na istovremeno na sve zube alata. Kada se vrši proračun sila rezanja prvo se računa sila po jednom zubu, a potom se u proračun uključuju i ostali zubi reznog alata.



Presek A - A



Slika 1. Šema sila rezanja pri čeonom glodanju [3,4]

U zavisnosti od ugla φ , može se izračunati trenutna vrednost glavne sile rezanja F_g koja deluje tangencijalno, radijalne sile rezanja F_r , sile prodiranja F_p i aksijalne sile F_a koja deluje paralelno sa osom vretena [5].

U nastavku su prikazane jednačine koje opisuju sile rezanja na jednom zubu glodala. Posmatrana su dva položaja zuba glodala u zahvatu. Prvo su definisane sile za položaj I, za ugao $\varphi < \pi/2$, dok je drugi položaj II za ugao $\varphi > \pi/2$.

Položaj I:

$$F_x = -F_g \cdot \sin \varphi + F_r \cdot \cos \varphi \quad (1)$$

$$F_y = F_g \cdot \cos \varphi + F_r \cdot \sin \varphi \quad (2)$$

$$F_z = F_a \quad (3)$$

Rešavajući sistem jednačina (1), (2) i (3) dobija se:

$$F_g = -F_x \cdot \sin \varphi + F_y \cdot \cos \varphi \quad (4)$$

$$F_r = F_x \cdot \cos \varphi + F_y \cdot \sin \varphi \quad (5)$$

$$F_a = F_z \quad (6)$$

Sila u pravcu pomoćnog kretanja F_p u svakom trenutku jednaka je sili F_y , odnosno:

$$F_p = F_g \cdot \cos \varphi + F_r \cdot \sin \varphi = F_y \quad (7)$$

Položaj II:

$$F_x = -F_g \cdot \cos \left(\varphi - \frac{\pi}{2} \right) - F_r \cdot \sin \left(\varphi - \frac{\pi}{2} \right) \quad (8)$$

$$F_y = -F_g \cdot \sin \left(\varphi - \frac{\pi}{2} \right) + F_r \cdot \cos \left(\varphi - \frac{\pi}{2} \right) \quad (9)$$

$$F_z = F_a \quad (10)$$

Uzimajući u obzir adicione formule:

$$\sin \left(\varphi - \frac{\pi}{2} \right) = \sin \varphi \cdot \cos \frac{\pi}{2} - \cos \varphi \cdot \sin \frac{\pi}{2} = -\cos \varphi \quad (11)$$

$$\cos \left(\varphi - \frac{\pi}{2} \right) = \cos \varphi \cdot \cos \frac{\pi}{2} + \sin \varphi \cdot \sin \frac{\pi}{2} = \sin \varphi \quad (12)$$

Jednačine (8), (9) i (10) se svode na jednačine (4), (5) i (6) čije je rešavanje već pokazano.

2. CILJ ISPITIVANJA

U ovom radu je pomoću razvijenog sistema za praćenje, akviziciju i merenje sila pri obradi čeonim glodanjem, izvršeno merenje sila. Cilj zadatka je bio izvršiti analizu uticaja elemenata režima obrade na vrednosti sila rezanja. Takođe je trebalo izvršiti proračunavanje izmerenih komponenti sila rezanja u glavnu silu rezanja, silu prodiranja i silu pomoćnog kretanja u vremenskom domenu trajanja jednog obrtaja alata, a zatim doneti odgovarajuće zaključke. Eksperimenta je sproveden po centralno kompozicionom planu, gde su promenjivi ulani parametri varirani na pet nivoa.

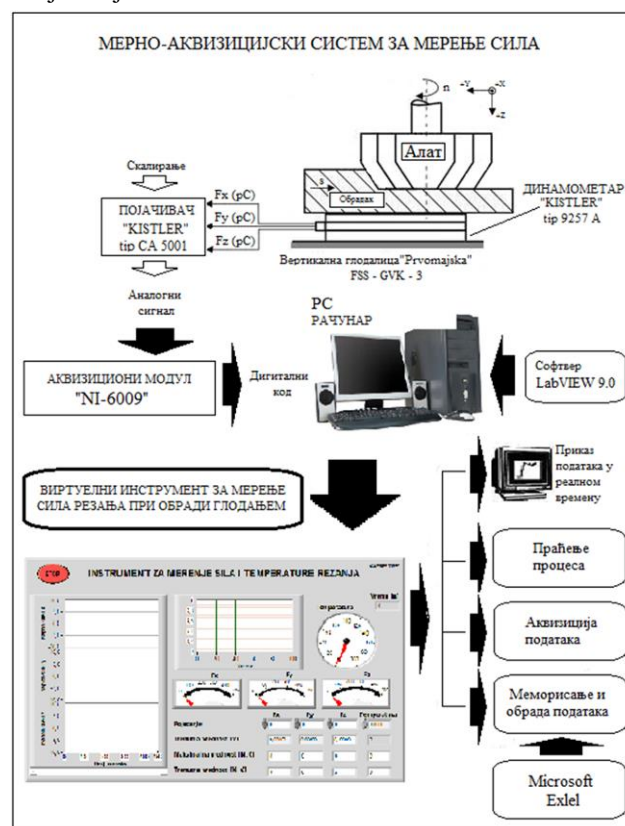
3. MERNO-AKVIZICIONI SISTEM ZA MERENJE SILA PRI ČEONOM GLODANJU

3.1. Karakteristike korišćenog akvizicionog sistema

Pojava digitalnih računara šezdesetih godina dvadesetog veka dovela je do pojave novih mogućnosti u oblasti nadzora i upravljanja tehnološkim procesima i sistemima. Razvojem računara razvile su se merno-akvizicione tehnologije koje svoju primenu baziraju na mikroračunarskoj tehnici.

Akvizicija (Acquisition) označava pojam sticanja, prikupljanja ili akumuliranja nečega. Akvizicija podataka - DA (Data Acquisition) predstavlja proces prikupljanja informacija iz sredine koja se razmatra u cilju njenog upoznavanja.

Šematski prikaz merno-akvizicionog sistema za merenje sila pri čeonom glodanju primenom virtuelne instrumentacije dat je na slici 2.



Slika 2. Model merno-akvizicionog sistema za merenje sila rezanja pri čeonom glodanju [4]

Sa slike 2 se vidi da se sistem sastoji od sledećih komponenti:

- glodalica – „Prvomajska“ FSS-GVK-3
- dinamometar – „KISTLER“ tip 9257A
- pojačalo – „KISTLER“ tip CA 5001
- NI USB-6009 – akvizicioni modul
- Računar sa instalisanim LabVIEW programskim paketom.

4. EKSPERIMENTALNA ISPITIVANJA

Primenom prikazanog sistema (slika 2.) izvršena su merenja i akvizicija ortogonalnih sila rezanja pri čeonom glodanju.

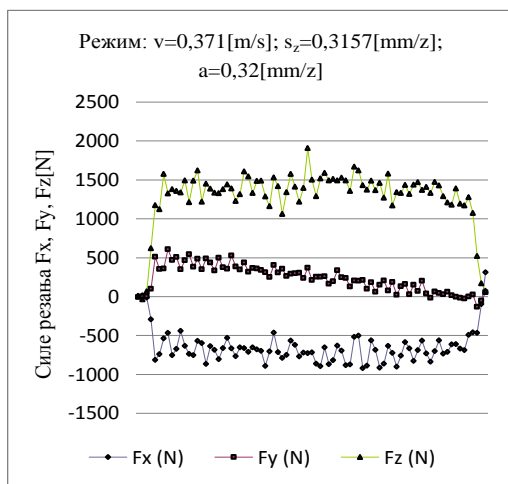
Prilikom eksperimentalnih ispitivanja merene su sile F_x , F_y , F_z , a na osnovu njih su računskim putem dobijene sile F_g , F_r , F_p i F_a .

Pri eksperimentu korišćeno je glodalo prečnika $D=100\text{mm}$, sa mehanički pričvršćenim reznim pločicama. Kao rezne pločice korišćene su pločice koje se mogu okretati u slučaju loma odnosno habanja, sa prevlakama od tvrdog metala, dobijene postupkom CVD (hemijsko taloženje pare). Materijal obratka koji korišćen pri izvođenju eksperimenta u ovom radu je visoko-hromirano liveno gvožđe sa tvrdoćom $44\div 46\text{ HRC}$ i hemijskim sastavom koji je datu tabeli 1.

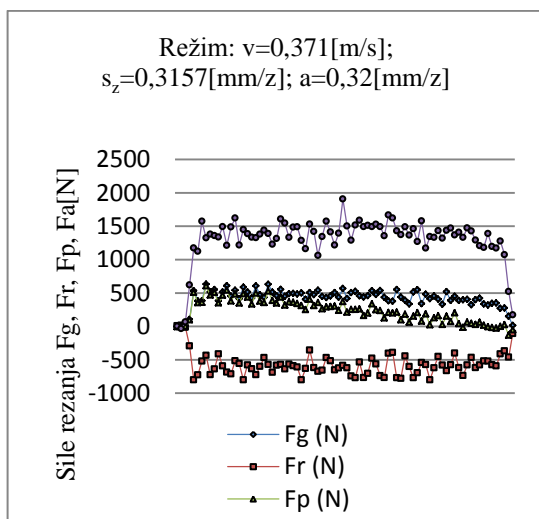
Tabela 1. Hemijski sastav visoko-hromiranog livenog gvožđa

Oznaka materijala	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni
17680	3,95	0,5	0,98	21,25	1,7	5,7

Na slici 3 prikazan je dijagram promene sila rezanja u izvornom merenom obliku sa komponentama F_x , F_y , F_z za režim obrade: $V=0,371\text{ [m/s]}$, $s=0,3157\text{ [mm/z]}$, $a=0,32\text{ [mm]}$. Nakon primene jednačina (4), (5), (6) i (7) dobija se dijagram sa komponentama F_g , F_r , F_p i F_a , slika 4.



Slika 3. Promena sila rezanja za komponente F_x , F_y , F_z



Slika 4. Promena sila rezanja za komponente F_g , F_r , F_p i F_a

Na slikama 3 i 4 prikazana je promena sila rezanja za srednji nivo režima po planu eksperimenta prikazanog u radu.

Poseban slučaj se javlja prilikom analize grafika za glavnu silu rezanja i radijalnu silu. Prema literaturnim podacima [2] radijalna sila bi trebala da ima istu orijentaciju kao i glavna sila i da bude nešto manje vrednosti. Međutim, prilikom obrade rezultata pokazalo se da sila F_r ima negativnu vrednost suprotno od pretpostavke. Postoji nekoliko razloga za ovakvu orijentaciju sile. Prvi razlog za to je negativna orijentacija u najvećem delu, sile F_x . Drugo, prečnik glodala je veći od širine glodanja što je suprotno preporukama. Usled ovakvog prečnika glodala, dobijene su se velike udarne sile na ulasku rezne pločice u obradak, što veoma utiče na dobijene rezultate.

Takođe se na dijagramima se vidi da je najveća aksijalna sila rezanja F_a . Razlog za povećanu vrednost aksijalne sile je teško obradiv materijal pri čemu se javljaju veliki aksijalni udari na vreteno glodalice.

Takođe pri obradi pomenutog materijala javlja se velika pohabanost reznih pločica, gde čak dolazi i do loma rezne ivice.

Rezna pločica koršćena pri ovom ispitivanju bila je »SPKR 12 03 ED R-WH 3040«. Na slici 5 prikazan je izgled nove rezna ivica, dok je na slici 6 prikazana pohabana pločica. Treba napomenuti da su maksimalne gornje granice promenljivih parametara bile u dijapazonu preporučenih vrednosti režima obrade. Shodno tome da se habanje pločica javilo u većem broju ispitivanih režima, može se zaključiti da bi preporučeni interval za režime obrade trebalo korigovati odnosno sužiti.

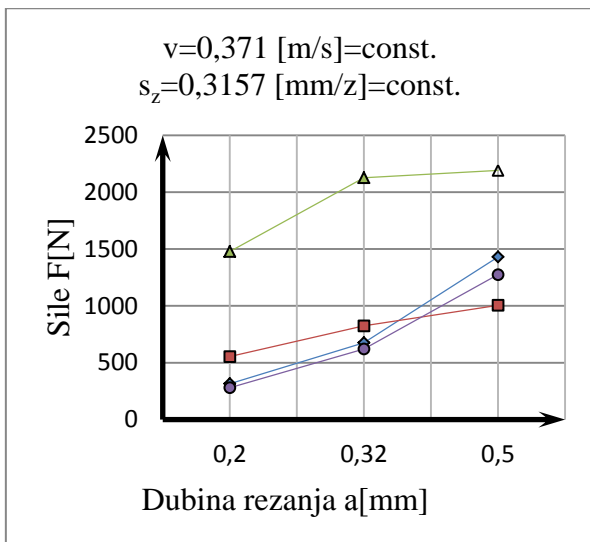


Slika 5. Nova rezna ivica

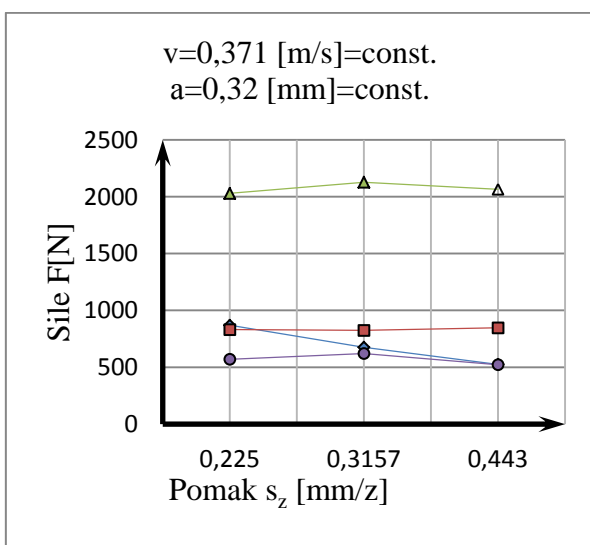


Slika 6. Pohabana rezna ivica

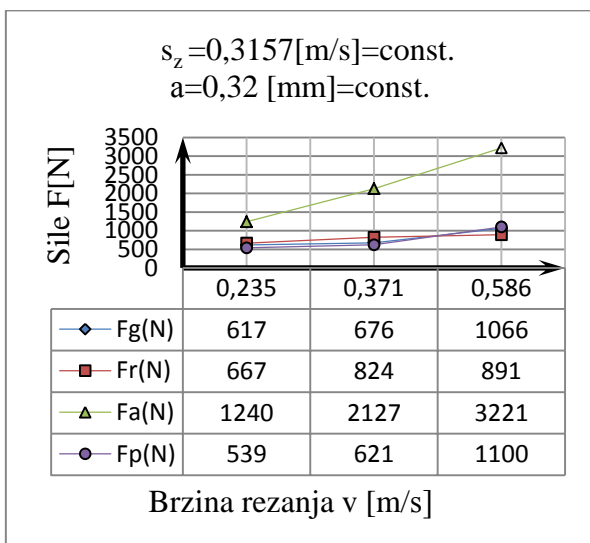
Daljom analizom predstavljeni su dijagrami na slikama 7, 8 i 9 gde se vidi da sa porastom vrednosti režima obrade uglavnom rastu i sile rezanja. Treba spomenuti da se u nekim slučajevima javlja i negativan trend promene sila rezanja što se može pripisati pojavi habanja rezne ivice i grešci prilikom merenja. Na osnovu ova tri dijagrama vidi se da je najveći porast sila rezanja pri variranju dubine rezanja, slika 7.



Slika 7. Zavisnost dubine rezanja i sila rezanja



Slika 8. Zavisnost pomaka i sila rezanja



Slika 9. Zavisnost brzine rezanja i sila rezanja

5. ZAKLJUČAK

Modeliranje procesa obrade i optimizacija ulaznih parametara imaju značajno mesto u savremenoj proizvodnji. Međutim, procesi obrade su veoma složeni, gde je potrebno istovremeno pratiti više izlaznih parametara. Jedan od izlaznih parametara su sile rezanja. One su jedan od osnovnih kriterijuma za ocenu obradivosti materijala i kao takve privlače veliku pažnju istraživača iz ove oblasti. Zbog uticaja velikih broja parametara na sile rezanja eksperimentalno dobijeni rezultati vrlo često odstupaju od literaturnih vrednosti. Osnovu za razvoj mašina alatki i samu optimizaciju predstavljaju upravo ta odstupanja. Takođe, postoje i neki drugi faktori koji utiču na sile rezanja, a ne mogu se predvideti.

Prilikom izvođenja ovog eksperimenta korišćena je starija mašina alatka i nije korišćeno sredstvo za podmazivanje i hlađenje. U toku ispitivanja uočeno je habanje alata u velikoj meri. To objašnjava zašto dolazi do pomene odstupanja od teorijskih očekivanja.

Zaključci koji su rezultat ovog istraživanja su sledeći:

- Materijal obratka, visoko-hromirano liveno gvožđe ima nepovoljnu obradivost, odnosno treba precizno odrediti režime obrade kao i izbor alata.
- Izlazni podaci u samom eksperimentu su sile rezanja koji pre svega zavisi od mernog instrumenta i od uslova merenja.
- Pri ispitivanju korišćene su rezne pločice do momenta loma i odnosno gubitka funkcije. Shodno tome ovaj vid habanja alata svakako utiče na dobijene rezultate.

6. LITERATURA

- [1] P. Kovač, D. Milikić, „Rezanje Metala”, Novi Sad, Februar, 1998.
- [2] Milikić, D., Gostimirović, M., Sekulić, M.: Osnove tehnologije obrade rezanjem, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2008.
- [3] M. Sekulić, „Razvoj podloga za proračun sila rezanja”, Magistarski Rad, FTN, Novi Sad, Oktobar, 1998.
- [4] Savković, B.: Modeliranje funkcija obradivosti pri procesu obrade glodanjem, Doktorska disertacija, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet Tehničkih Nauka, Novi Sad 2015.
- [5] Mijić, A.: Modeliranje sila rezanja pri čeonom glodanju, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2009.

Kratka biografija:



Čedomir Ždrnja rođen je u Linz-u, Austrija 1992. god. Diplomski rad na Fakultetu tehničkih nauka odbranio je 2015. godine.



Borislav Savković rođen je u Novom Sadu 1982. god. Doktorirao je na Fakultetu tehničkih nauka 2015. god. gde je i zasnovao radni odnos u zvanju docenta. Autor je jednog univerzitetskog udžbenika i preko 100 naučnih radova. Oblast interesovanja su procesi obrade skidanjem materijala, simulacije kao i ekološko tehnološki sistemi.