



NADZOR HABANJA ALATA PRI OBRADI MATERIJALA POVEĆANE TVRDOĆE TOOL MONITORING WHILE CUTTING HARDENED MATERIALS

Nemanja Klještan, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – PROIZVODNO MAŠINSTVO

Kratak sadržaj – U ovom radu je rečeno nešto više o nadzoru alata prilikom obrade rezanjem. Izvršen je eksperiment koji se zasnivao na nadzoru alata prilikom obrade materijala povećane tvrdoće. Nadzor alata podrazumijeva praćenje životnog vijeka alata kao i praćenje loma alata. Alati koji su se koristili su pločice od tvrdog metala. Na kraju je izvršeno poređenje rezultata eksperimenta.

Ključne reči: Nadzor, alati, habanje, sile rezanja

Abstract – This paper is telling us something more about tool monitoring while cutting. There was an experiment that was based on tool monitoring while cutting hardened materials. Tool monitoring implies tool life monitoring and tool fracture monitoring. Tools that were used were inserts from hard metal. In the end experiment results were compared.

Keywords: Monitoring, tools, wear, forces cutting

1. UVOD

Sa razvojem tehnologija obrade rezanjem razvijali su se i sistemi za praćenje i nadzor alata u tehnološkim obradnim sistemima. Primjenom sistema za praćenje i nadzor alata u jednom tehnološkom obradnom sistemu moguće je povećati produktivnost. Naime alati se i danas uglavnom mijenjaju na osnovu neke subjektivne procjene operatera. Tako operateri uglavnom ne rizikuju i mijenjaju alate prije nego habanje uopšte počne. Ukoliko ipak operater čeka da uoči loš kvalitet obrađene površine ili habanje alata moguće je da će se pojaviti škart a samim tim i određeni gubici.

Kada se priča o nekim visokoproduktivnim tehnološkim obradnim sistemima, gubici mogu biti mnogo veći ukoliko dođe do zastoja proizvodnje usljed pojave škarta i kolozije nego kod fleksibilnih tehnoloških sistema. U tom slučaju čitava jedna linija u proizvodnji trpi gubitke. Zato se sistemi praćenja i nadzora alata u većoj mjeri primjenjuju u visokoproduktivnim i visokoautomatizovanim obradnim tehnološkim sistemima.

Pored lako uočljivih prednosti jednog ovakvog sistema za praćenje i nadzor alata postoje i neki nedostaci kao što je cijena samog sistema a zatim i troškovi radne snage koja kontroliše i održava ove sisteme u proizvodnji.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Aco Antić, vanr. prof.

2. PREDMET I CILJ ISTRAŽIVANJA

Sistemom nadzora i praćenja alata moguće je pratiti habanje alata sa svrhom da se alat zamjeni pravovremeno nakon što dostigne kritičnu tačku habanja. U cilju eksperimentalnog ispitivanja izvršice se mjerenje postojanosti i procesa habanja pločica, sa istom geometrijom a različitim radijusima zaobljenja vrha, presvlakama i lomačima. Cilj je da se utvrdi kako radijusi, presvlake i lomači utiču na sile tj. otpore rezanja.

Predmet istraživanja u ovom radu će se zasnivati na poređenju, postojanosti i sila rezanja pločica različitih geometrijskih karakteristika i njihovom testiranju u radnim uslovima. Eksperimentalnim ispitivanjem mjeriće se sile tj. otpori rezanja preko senzora koji su ugrađeni u glavno vreteno CNC struga. Uporedo sa mjerenjima otpora rezanja, posmatraće se promena rezne geometrije alata na alatnom mikroskopu, merenjem porasta bočnog habanja kao i kvalitet obrađene površine obratka.

3. SISTEMI ZA PRAĆENJE I NADZOR ALATA

Nadzor alata podrazumijeva nadgledanje odnosno praćenje njegovih dimenzija koje se mijenjaju prilikom habanja definišući životni vijek alata (TLM-Tool life monitoring) ili loma alata (TBR-Tool brucakage recovery) koji mogu uzrokovati razni faktori ili kolizija. Dakle nadzor alata vrši se na osnovu praćenja njegovog stanja a izvodi se sa merno-kontrolnim operacijama. Takve operacije se izvode u okviru obradnog sistema jer nema smisla vaditi alat povremeno iz mašine i vršiti mjerenja [1, 2].

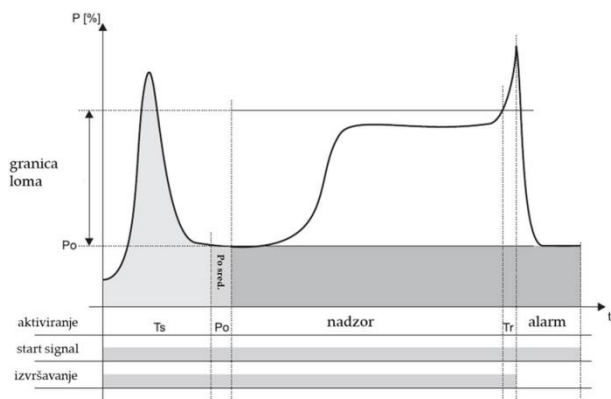
Kada je reč o TLM funkciji pri kojoj se prati veličina komponente otpora rezanja i u momentu dostizanja neke granične vrednosti konstatuje pohabanost alata, te aktivira potreba njegove izmene, bitno pitanje predstavlja baš poznavanje te granične veličine. Ona može biti zadata na osnovu proračuna ili eksperimentima utvrđene vrednosti, ali poteškoće koje sputavaju ovakva izvođenja nastaju zbog rada alata sa raznim elementima režima rezanja.

Za razliku od fiksno postavljene granice otpora rezanja kao kriterijuma identifikacije dopuštenog habanja alata, postoje rješenja kod kojih se ova granica automatski određuje na bazi praćenja porasta komponenti otpora rezanja i registrovane početne vrednosti sa novom oštricom alata.

Još složeniji slučaj nastaje kada je u pitanju TBR funkcija merno-kontrolnog sistema. Primenom ovih sistem omogućava se zadavanje gornje granične vrednosti čije preoračunje prouzrokuje generisanje signala o detektovanju loma alata. Problem koji se pri tome javlja jeste sama veličina granične vrednosti, s obzirom da alat vrši obradu

većeg broja zahvata sa raznim elementima režima rezanja praćenih različitim opterećenjima. Takođe je moguća pojava lokalnih odstupanja osobina materijala što uzrokuje povećanje otpora rezanja koja ne smeju biti identifikovana kao lom.

Otežavajuću okolnost predstavlja i mogućnost pojave loma alata bez povećanja otpora rezanja, već samo sa naglim padom, što se dešava kod alata sa keramičkim pločicama.



Slika 1: Standardni oblik signal nadzora alata [4]

Primenom sistema za nadzor u pogonu dobija se određena pomoć prilikom podešavanja. Sistem za nadzor se fokusira se na detalje i automatski reaguje na nastale greške. Takođe pruža mogućnost brzog reagovanja na nastale promene u proizvodnji kao i praćenje procesa obrade pomoću trenda. Pomoću ovih sistema moguće je i optimizovati proces obrade [5].

4. MJERENJE SILA REZANJA PRILIKOM OBRADNE ČELIKA POVEĆANE TVRDOĆE

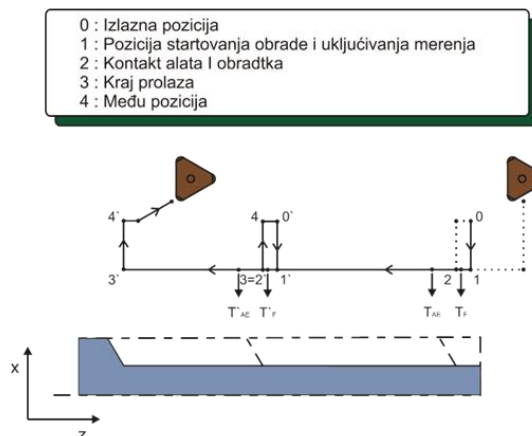
4.1 Postavka eksperimenta

Na osnovu postavljenog cilja rada izvršeno je eksperimentalno ispitivanje sila rezanja koje se javljaju prilikom obrade pločicama sa različitim: lomačima, radijusima, presvlakama i reznom geometrijom. Eksperiment je sproveden sa usvojenim režimima obrade na predmetu obrade kružnog poprečnog presjeka. Prilikom obrade koristile su se mogućnosti koje pruža fleksibilni tehnološki modul INDEX GU600 (CNC strug) odnosno mjerile su se sile rezanja pomoću senzora koji su instalirani na glavno vreteno mašine. Alati koji su korišteni u eksperimentu su pločice od tvrdog metala. Nakon prvog prolaza sa svakom od pločica izmeren je kvalitet obrađene površine tj. hrapavost koju iste daju. Zatim se pristupalo daljoj obradi i mjerenju sila rezanja. Planom eksperimenta je predviđeno da svaka pločica uradi tri prolaza te da se na osnovu ta tri prolaza ustanovi kolike su sile rezanja u svakom od njih, kvalitet obrađene površine i stepen pohabanosti pločice.

Iako se radi o malom broju prolaza, pretpostavlja se da će ipak doći do određenog habanja pločica jer se obrađuje materijal povećane tvrdoće (45HRC). Pločice od tvrdog metala nije preporučljivo koristiti za obradu materijala tvrdoće preko 50 HRC jer prilikom obrade materijala koji su tvrdi od te vrijednosti pločice se brzo habaju te se postavlja pitanje isplativosti. Na kraju predviđenog broja

prolaza pločice su postavljene na mikroskop kako bi se izmerilo habanje koje je nastalo prilikom obrade.

Proces obrade izvršen je na cilindričnom obradku stegnutom u steznu glavu i poduprt sa hidrauličnim konjićem. Obrada koja je izvođena je uzdužno struganje. Prečnik obrade je u opsegu od 80 do 45 mm a dužina jednog prolaza 100 mm.



Slika 2. Zahvati obrade pri izvođenju eksperimenta

Koristiće se CNMG pločice japanskog proizvođača Kyocera sa nekoliko različitih lomača, presvlakama i radijusa, tabela 1 [3].

Tabela 1. Specifikacija pločica koje se koriste u eksperimentu

Oblik	Opis	Dimenzije (mm)			
		Dužina rezne ivice	Debljina	Rupa	Radijus
	CNMG120408KH CA315	12,7	4,76	5,16	0,8
	CNMG120412KH CA315				1,2
	CNMG120408KG CA315	12,7	4,76	5,16	0,8
	CNMG120412KG CA315				1,2
	CNMG120408PG CA025P	12,7	4,76	5,16	0,8

Primjenjivaće se dva radijusa 08 i 12. Takođe primjenjuje se tri različita lomača: KH, KG i PG. Sa slike se lako uočava i razlika u boji presvlake na pločicama. Iako su sve pločice sa slike presvučene CVD presvlakama, prve dvije pozicije sa KH i KG lomačima su presvučene malo drugačijom presvlakom koja je namjenjena obradi tvrdih materijala. Isto tako i lomači na tim pločicama su namjenjeni obradi tvrdih materijala. Prije svega namjenjeni su obradi livenih gvožđa koja sama po sebi imaju veću tvrdoću od sirovih čelika, samim tim su i pogodniji za obradu čeličnih materijala koju imaju veću tvrdoću tj. koji su termički obrađeni.

Posle odabira pločica za testiranje potrebno je odabrati i odgovarajući držač alata koji se montira na nosač alata. Bira se naravno držač koji odgovara CNMG geometriji i obliku pločice. Držač koji je odabran je kvadratnog poprečnog presjeka dimenzija 25x25mm. Nakon odabira odgovarajućeg držača pločica se steže na držač. Držač sa

pločicom se dalje postavlja i steže u odgovarajući nosač, odnosno nosač koji može da prihvati poprečni presek držača 25x25mm. Prije nego se taj nosač postavi na mašinu potrebno je izmjeriti korekcije alata sa nosačem na ZOLLER uređaju za podešavanje alata i izvršiti unos korekcija na upravljačkoj jedinici mašine na osnovu rezultata mjerenja kako ne bi došlo do kolizije prilikom obrade.

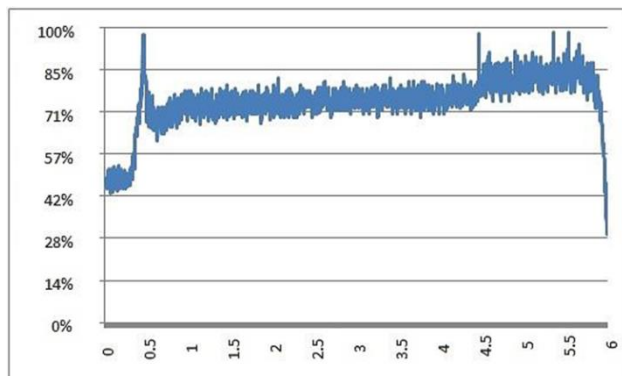
Nakon mjerenja alata u nosaču na Zoller mašini za mjerenje, alat se postavlja i montira na mašinu. Potom se sve neophodne informacije zajedno sa rezultatima mjerenja ubacuju u upravljački program putem Siemens upravljačke jedinice koja se nalazi na mašini. Prethodno je postavljen obradak na mašinu o kojem je već bilo riječi. Radi se o kaljenom obratku velike tvrdoće (45 HRC) kružnog poprečnog presjeka. Materijal obratka je čelik Č1730.

Tokom izvođenja eksperimenta vođeno je računa o izboru režima obrade kojima će se vršiti obrada. Obzirom da je materijal koji se obrađuje kaljeni čelik, te je samim tim jako tvrd, režimi su prilagođeni obradi za to stanje materijala koji se u bitnoj mjeri razlikuju u odnosu na obradu sirovih čelika. Brzina rezanja je obrnuto srazmjerna tvrdoći materijala. Što je materijal koji se obrađuje tvrdi to je brzina rezanja manja. U ovom slučaju se obrađuje materijal tvrdoće oko 45 HRC pa je potrebno rezati manjim brzinama. Međutim, zbog primene optimizovanog eksperimenta u laboratorijskim uslovima, režimi obrade su u određenom procentu povećani kako bi se rezni alat brže habao. Odabrana je brzina od $V_c=160$ m/min. Kako ne bi dolazilo do trenutnog loma pločica pri ulasku u zahvat ili preopterećenja mašine definisana je dubina rezanja od $a = 2$ mm. Pomak koji je usvojen je sličan kao i za obradu sirovih čelika $f = 0.2$ mm/obrt.

4.2 Rezultati eksperimenta

Svaka od pločica u jednom prolazu prelazi put od 100 mm. Prilikom prvog prolaza sistem se obučava. Zatim se u drugom prolazu određuju granice na osnovu obučenog sistema i u trećem prolazu mašina samostalno radi i mjeri otpore rezanja uz prethodno obučavanje i određivanje granica. Kao što je već rečeno radi se o materijalu povećane tvrdoće od koga je sačinjen obradak pa je hrapavost odnosno srednje aritmetičko odstupanje profila R_a mjerena nakon prvog prolaza jer i nakon prvog prolaza postoji habanje pojedinih pločica.

CNMG120408PG CA025P



Slika 3. Sile rezanja za *CNMG120408PG CA025P*

Na slici 3 prikazuje grafik sile rezanja u toku vremena praćenja. Vertikalna osa grafika prikazuje vrijednosti sile rezanja u procentima. Vrijednost sile rezanja od 100% odgovara vrijednosti od 3,5 volta (analogni signal koji se šalje sa mašine izražen je u voltima i direktno srazmjern silama) jer vrijednosti sile rezanja nisu bile veće od onih koje su odgovarale vrijednosti analognog signala od 3,5 volti. Na osnovu toga će se dalje vršiti poređenja svake od pločica tako što će se sile rezanja prikazivati u procentima.

Konkretno sa grafika na slici 4 se vidi da sile rezanja koje pravi *CNMG120408PG* na početku imaju neke veće oscilacije. Te oscilacije postoje zbog ulaska alata u zahvat zbog čega se trenutno naglo destabilizuje proces rezanja formirajući veće oscilacije u silama rezanja. Nakon stabilizacije proces se ustaljuje i bilježe se neke prosječne vrijednosti sile od oko 71%. Vremenom te sile se povećavaju da bi pred sam izlaz alata iz zahvata imale prosječnu vrijednost od oko 84%.



Slika 4. Pločica *CNMG120408PG CA025P* nakon obrade

Slika 4.3 prikazuje pohabanost pločice u velikoj mjeri i to samo posle tri prolaza. To je razlog zašto su se sile rezanja tako brzo i drastično povećavale. Krzanje se uočava i na lednoj i na grudnoj površini kao i promjene u boji pločice što nam govori da su termalna opterećenja bila velika.

Desni deo slike prikazuje izražen pojas habanja kao parametar koji je praćen prilikom određivanja pohabanosti pločice. Na samom početku rezanja sa grafika koji nije prikazan vidi se da su prosječne sile rezanja na oko 32% što i jeste logično jer ova pločica ima oštriju reznu ivicu i radijus 08.

CNMG120408KG CA315

Srednje aritmetičko odstupanje profila koje je izmjereno posle prvog prolaza ove pločice je $R_a=5,264\mu\text{m}$. Dakle kvalitet obrađene površine je lošiji u odnosu na kvalitet postignut sa prethodnom pločicom što se i očekivalo obzirom da ova pločica ima tuplju reznu ivicu kao i manji grudni ugao. Prosječna vrijednost sile se kretala oko 47% od postavljene granice opterećenja što je manje u odnosu na prethodni tip pločice.

Veliki uticaj na dobijanje ovakvih rezultata sile rezanja ima geometrija pločice koja je drugačija u odnosu na prethodnu pločicu u smislu da ima manje oštru reznu ivicu i da je vrijednost grudnog ugla manja nego kod prethodne pločice.

Ova pločica se zbog lomača koji ne odgovara ovradi ovog materijala polomila usljed prevelikog termalnog opterećenja.

CNMG120412KG CA315

Prosječna vrijednost sila rezanja koju je imala ova pločica je oko 76%. Kao i prethodna pločica radila je dosta stabilnije za razliku od prve pločice sa kojom se obrađivalo. Međutim baš kao i prethodna pločica lomač strugotine nije bio pogodan za ovu obradu pa je i ovde usljed pregrijavanja pločice i promjene strukture došlo do loma. Sa ovom pločicom je postignut najlošiji kvalitet obrađene površine što se i očekivalo jer je rezna ivica tuplja u odnosu na reznu ivicu na prvoj pločici a ima i radijus veći od obje prethodne pločice. Izmereno srednje aritmetičko odstupanje profila je $Ra=6,129\mu m$.

CNMG120408KH CA315 – Pločica je imala prosječnu vrijednost sila rezanja od oko 36% od maksimalnih vrijednosti. Sile rezanja koje prouzrokuje ova pločica su nešto veće u odnosu na početne vrijednosti sile rezanja koje je imala pločica sa oštrijom reznom ivicom u kvalitetu CA025P ali i manje u odnosu na sile rezanja koje je dala pločica sa KG lomačem u istom kvalitetu (CA315).

CNMG120412KH CA315 - Prosječne vrijednosti sila rezanja sa ovom pločicom su oko 43%. Dakle pločica sa radijusom 12 je kao što je i bilo očekivano uzrokovala pojavu većih sila u odnosu na istu pločicu sa radijusom 08. Pločice sa KH lomačem su imale daleko bolje odvođenje strugotine a samim tim i toplote u zoni rezanja pa se nisu imale već su čak imale i drastično bolju postojanost.

5. ZAKLJUČAK

Savremeni način proizvodnje nameće potrebu korištenja sistema za nadzor i praćenje alata jer su optimizacija procesa obrade i ušteda na vremenu sve bitniji segmenti proizvodnje i pridaje im se sve veći značaj. Ukoliko ovakvi sistemi figuriraju u proizvodnji moguće je na adekvatan način pratiti postojanost alata. Takođe, dimenzionalne karakteristike i kvalitet obrađene površine kao bitan segment zahtjevanog kvaliteta proizvoda direktno je povezan za stepenom pohabanosti alata u smislu da se alat treba zamjeniti kada ne daje zahtjevani kvalitet što direktno utiče na smanjenje broja škart komada.

Mjerenje sila odnosno otpora rezanja sprovedeno je sa ciljem primjene rezultata mjerenja u proizvodnji.

Uporedo sa silama rezanja mjerena je i hrapavost. Na osnovu rezultata mjerenja sila rezanja i hrapavosti se lako zaključuje da postoji zavisnos između sila, hrapavosti obrađene površine i pohabanosti alata. Dakle sile rezanja su direktno srazmjerne stanju rezne geometrije alata što se vidi na osnovu kvaliteta obrađene površine odnosno srednjeg aritmetičkog odstupanja.

Pločica u kvalitetu CA025P sa radijusom 08 je imala najoštriju reznu ivicu i proizvodila je najmanje sile rezanja na samom početku eksperimenta (pločica se posle brzo habala pa su sile zbog toga bile veće) kao i najbolji kvalitet obrađene površine odnosno najmanje srednje aritmetičko odstupanje profila.

Međutim, pločica se brzo pohabala, došlo je do drastičnog povećanja sila rezanja a samim tim i do lošijeg kvaliteta obrađene površine.

Pločica sa radijusom 08 i lomačem KG u kvalitetu CA315 je proizvodila veće sile rezanja i nešto lošiji kvalitet obrađene površine.

Pločica sa istim lomačem i kvalitetom ali sa radijusom 12 je proizvodila najveće sile rezanja. Kvalitet obrađene površine je srazmjerno tome bio najlošiji uzimajući u obzir ovu i prethodno spomenute dvije pločice.

6. LITERATURA

- [1] Milikić D., Gostimirović M., Kovač P., : „*Osnove tehnologije obrade rezanjem*“ Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2013.
- [2] Kovač P., „*Teorija obradnih procesa*“ Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2010
- [3] Kyocera katalog 09.10.18': <https://brochure.kyocera-unimerco.com/Indexablecuttingtools/SingleLanguageBrochures/UK/general-catalog-2016-2017/#/>
- [4] Patrick De Vos, Jan-Eric Stahl: „*Metal cutting theories in practice*“
- [5] Antić, A.: „*Prepoznavanje stanja pohabanosti alata za obradu rezanjem primenom neuro-fazi klasifikatora*“, *Doktorska disertacija*, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2010“

Kratka biografija:



Nemanja Klještan rođen je u Vlasenici 1994 god. Diplomski master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti proizvodnog mašinstva odbranio je 2018.god. kontakt: kljesta@hotmail.com