

ORIGINALNI NAUČNI RAD

D. Milikić, M. Gostimirović, P. Kovač*

IDENTIFIKACIJA STANJA PROCESA REZANJA POMOCU
TERMONAPONA PRIRODNOG TERMOPARA ALAT-OBRAĐAK

Rezime

U radu se prikazuje automatizovani merni sistem za određivanje termonapona prirodnog termopara alat-obradak sa mogućnošću primene izmerenog termonapona pri obradi rezanjem za identifikaciju određenog stanja procesa rezanja. Verifikacija realizovanog mernog sistema izvršena je merenjem termonapona pri obradi rezanjem iz istovremeno praćenje habanja alata. Na taj način uspostavljena je veza između postojanosti alata i termonapona prirodnog termopara alat-obradak.

CUTTING PROCESS STATEMENT IDENTIFICATION
USING THE TERMOVOLTAGE OF TOOL WORK THERMOCOUPLE

Summary

The paper presents development of an automatic measurement system for the termovoltage of tool work thermocouple and its using possibilities for identification of the proces statement. Verification of realized measuring system was made during the termovoltage of tool work tehermocouple and tool wear measuring. Also relation between the tool life and termovoltage was determined.

1. U V O D

U procesu rezanja kao posledica deformacije i trenja generiše se toplotna energija u relativno uskom području zone rezanja. Njen intenzitet zavisi od mnogih faktora vezanih za fizičke i mehaničke osobine materijala obradka i alata, ge-

* Milikić dr Dragoje, dipl.ing., vanr.prof., Gostimirović Marin, dipl.ing., asistent u n.r.; Kovač dr Pavel, dipl.ing., asistent; Fakultet tehničkih nauka, Institut za proizvodno mašinstvo, 21000 Novi Sad, Vladimira Perića-Valtera br.2

ometrije alata, režima obrade i sl.

Kao posledica nastale toplotne energije u zoni kontakta reznog alata sa obradkom javljaju se temperature koje uslovljavaju mnoge fizičke i hemijske reakcije. Hemijsko-fizičke reakcije koje nastaju u procesu rezanja deluju na materijal alata i izazivaju različite procese habanja reznog alata (abrazivno habanje, difuzija, oksidacija i dr.).

Na osnovu ovih saznanja može se konstatovati da toplotno opterećenje u značajnoj meri određuje meru habanja alata. Ustanovljeno je da poznavanje zakonitosti nastajanja i raspodele toplotne energije pri obradi rezanjem ukazuje na puteve za poboljšanje radne sposobnosti alata, izbor optimalnih režima obrade, a time i na povećanje kvaliteta i tačnosti obrade. Iz navedenih razloga postojanost alata je u tesnoj vezi sa temperaturama rezanja i ne treba se odvojeno analizirati.

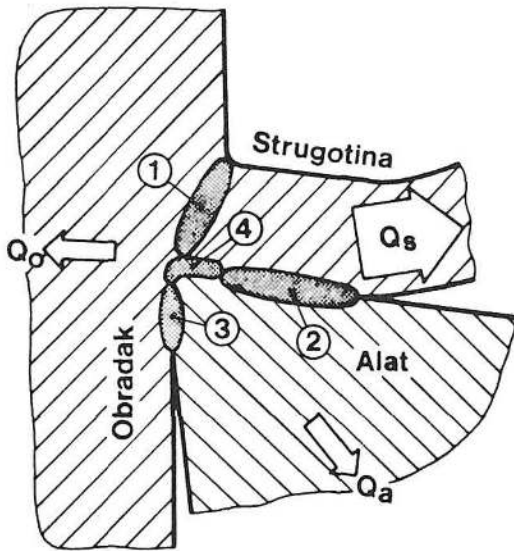
Da bi istraživanje toplotnih pojava pomoglo razjašnjavanju suštine procesa rezanja, identifikaciji i praćenju njegovog odvijanja potrebno je zbog napred rečenog utvrditi vezu između temperature rezanja i habanja alata, odnosno postojanosti. O jednoj takvoj vezi između srednje temperature rezanja, merene prirodnim termoparom alat-obradak, i postojanosti alata raspravlja se u ovom radu.

2. TERMONAPON PRIRODNOG TERMOPARA ALAT-OBRADAK

Kao što je poznato skoro celokupna dovedena mehanička energija transformiše se u zoni rezanja, putem elastične i plastične deformacije, trenja na kontaktnim površinama i unutrašnjeg trenja u materijalu u toplotnu energiju. Pretvaranje mehaničke energije u toplotnu odvija se u četiri karakteristične zone, slika 1., pri čemu se pojedine zone delimično preklapaju.

U zoni smicanja (1) i kočionom sloju (4) vrši se deformacija materijala obradka. Toplota trenja nastaje u zonama kontakta grudne površine alata i strugotine (2) i ledjne površine alata i obradka (3) kao i kočionom sloju (4) zbog unutrašnjeg trenja slojeva materijala strugotine. Zone deformacije i trenja predstavljaju toplotne izvore pri rezanju.

Od navedenih toplotnih izvora se toplotna energija odvodi



1. Toplota deformacija u ravni smicanja
2. Toplota trenja na grudnoj površini
3. Toplota trenja na ledjnoj površini
4. Toplota deformacije i unutrašnjeg trenja u kočionom sloju

Slika 1. Šema nastajanja i distribucije toplotne energije pri rezanju /7/

preko strugotine (Q_s), alata (Q_a) i obradka (Q_o). Kao rezultat takvog toplotnog bilansa obrazuje se u obradku, alatu i strugotini odgovarajuće temperatursko polje, koje se menja sve dok se ne uspostavi ravnoteža izmedju razvijene i odvedene količine toplotne energije.

Merenje temperatura u zoni rezanja, zbog koncentracije toplotne energije na vrlo uskom prostoru, velikih specifičnih pritisaka i ekstremno visokih temperatura, uobičajenim postupcima merenja temperatura koji se koriste u tehničkim i fizikalnim istraživanjima, ovde je uglavnom neprimenljivo. Ove poteškoće merenja temperatura pri rezanju podstakle su sistematska istraživanja, na tom području kako bi se uz primenu savremenijih uređaja i iskustava razvile efikasne i pouzdane metode za ova merenja.

Veoma široku primenu u obradi metala rezanjem, zbog relativno jednostavne primene, našle su metode koje koriste termoelektrični efekat. Za merenje temperatura pri obradi rezanjem koriste se tri varijante ove metode i to: prirodni, poluveštački i veštački termoparovi.

U radu je za merenje temperature korišćen prirodni termopar. Obrazovanje prirodnog termopara izmedju raznorodnih materijala obradka i alata, omogućuje dobar kandidat koji se u zoni rezanja ostvaruje izmedju alata, obradka i strugotine. Zbog različitih termoelektričnih svojstava obradka o alata nastaje elektromotorna sila (EMS) čim postoji razlika izmedju temperatura

"vrućeg" i "hladnog" spoja termoelektričnog strujnog kola.

Termonapon koji registruje prirodni termopar alat-obradak, predstavlja srednju vrednost termonapona elementarnih površina kontaktne površine izmedju alata, obradka i strugotine. Raspored termonapona u granicama dodira strugotine, alata i obradka, zbog neravnomerne raspodele temperatura u pojedinim tačkama, dozvoljava posmatranje termonapona (U) pri rezanju kao zbir beskonačnog broja paralelno vezanih termoparova /2/

$$U = \frac{\sum_{i=1}^{\infty} E_i \cdot f_i}{\sum_{i=1}^{\infty} f_i} \quad (1)$$

gde su E_i termonaponi na elementarnim površinama f_i .

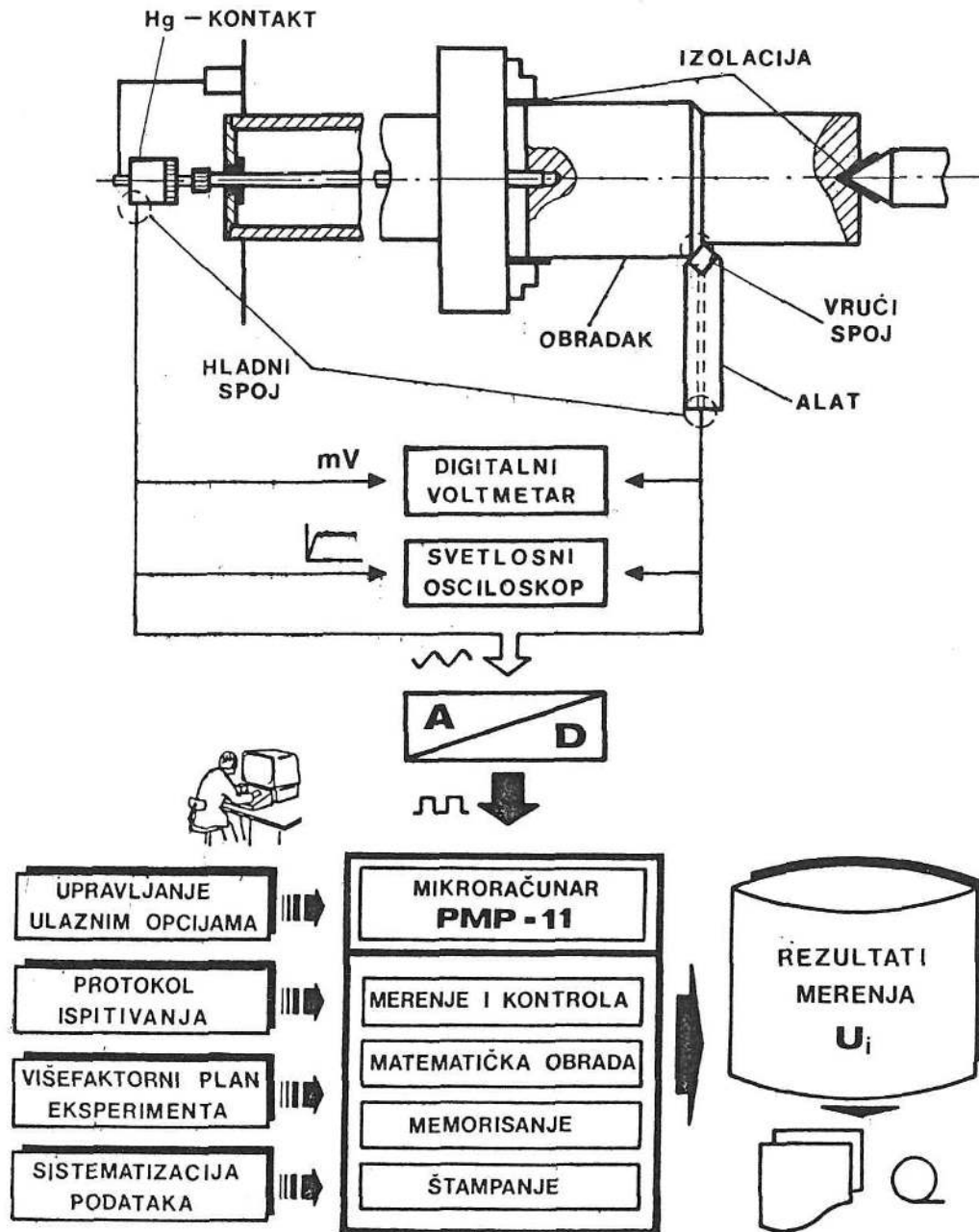
Kada je poznat termonapon prirodnog termopara alat-obradak može se odrediti srednja temperatura rezanja, pri čemu je neophodno raspolagati zavisnošću izmedju srednje temperature i termonapona $\theta_{sr} = f(U)$. Ova zavisnost se određuje baždarenjem, pri čemu je potrebno ostvariti približno iste uslove na mestu kontakta, kao i pri samom rezanju. Ova radnja predstavlja skup i veoma složen posao uz neminovnu pojavu određenih grešaka. Iz tih razloga se u sadašnjim istraživanjima operiše uglavnom samo sa izmerenim termonaponom.

3. MERENJE TERMONAPONA PRIRODNOG TERMOPARA

U skladu sa težnjom da se srednja temperatura pri obradi rezanjem, merena prirodnim termoparom alat-obradak, primeni za identifikaciju određenog stanja procesa obrade neophodno je povećati tačnost, brzinu i efikasnost njenog merenja. U današnjim uslovima ovo je moguće ostvariti jedino primenom savremenih računarskih sistema uz eliminaciju specifičnih grešaka svojstvenih ovoj metodi. Greške se odnose na izmerene veličine EMS zbog pojave parazitnih termonapona.

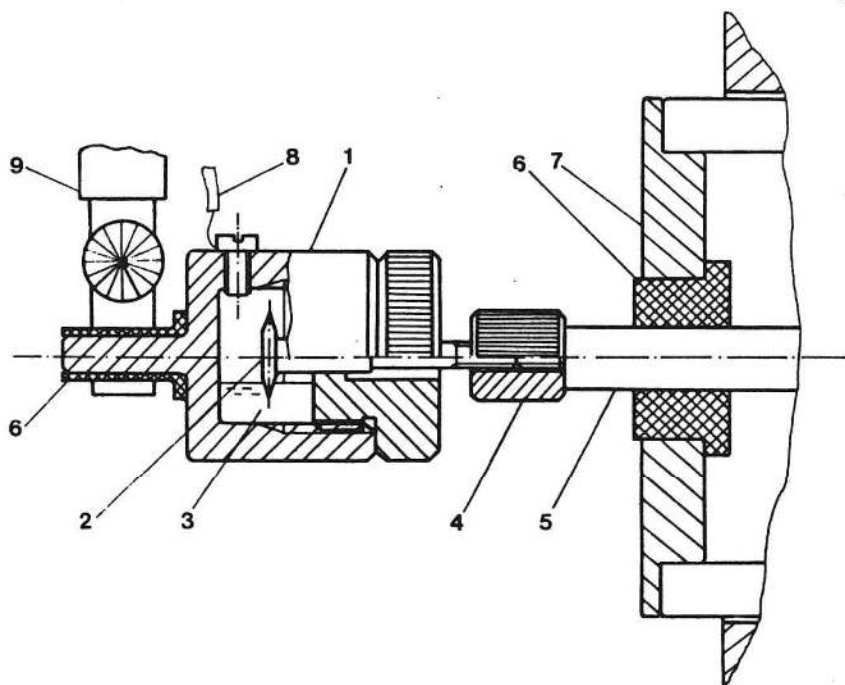
Koristeći dosadašnja iskustva stečena primenom različitih metoda za merenje srednje temperature rezanja prirodnim termoparom /1,3,6/ i saznanja savremenih visokoautomatizovanih mernih sistema /11/ realizovan je informacioni merni sistem prikazan na slici 2. Tokom postavljanja mernog sistema težište je usmereno u

dva pravca, odnosno rešavanje poteškoća vezanih za prisustvo parazitenih termonapona i povezivanje analognog signala termonapona sa računarskim sistemom.



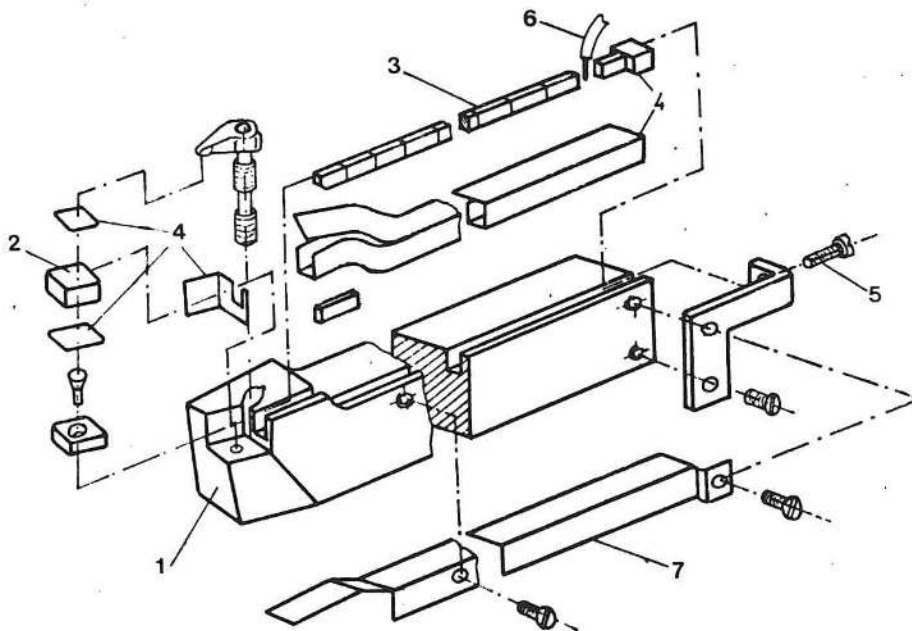
Slika 2. Merni sistem za odredjivanje termonapona pri obradi rezanjem integrisan sa mikroracunarom

Na realizovanom prirodnom termoparu alat-obradak, za ostvarenje kontakta sa rotirajućim obradkom korišćen je živin (Hg) - kontakt u varijanti spoja kroz glavno vreteno struga, slika 3. Veza izmedju Hg-kontakta i obradka ostvarena je preko šipke (5) od istog materijala kao i sam obradak. Obrtanjem kontaktnog diska (2) u živi, nastali termonapon pri obradi rezanjem se prenosi preko žive i dalje provodnikom (8) do računara.



Slika 3. Konstruktivna izvedba Hg-kontakta na rotirajućem obradku
 1. telo Hg-kontakta, 2. rotacioni disk,
 3. živa, 4. navojni element, 5. šipka od materijala obradka, 6. izolacija, 7. ploča za centriranje šipke u vretenu mašine, 8. Cu-provodnik, 9. magnetni držač.

Hladan spoj na kraju tela noža ostvaren je pomoću štapića od tvrdog metala položenih u kanalu na dršci noža slika 4. Štapići su izrezani elektroerozivnom obradom iz pločica iste vrste kao i korišćene rezne pločice. U ovom slučaju deset štapića zamenjuje često primenjivanu šipku od TM, čija se termoelektrična svojstva po pravilu razlikuju od onih koja imaju rezne pločice. Rezna pločica i štapići su izolovani od tela noža listićima od listuna debljine 0,2 mm.



Slika 4. Konstruktivna izvedba alata sa hladnim spojem na kraju drške.
1. telo alata, 2. pločica od TM, 3. štapići od istog TM, 4. izolacija, 5. vijak za pritezanje, 6. Cu-provodnik, 7. Al-štitnik

Da bi se izbeglo rasipanje EMS koja nastaje izmedju alata i obradka, obradak je u potpunosti izolovan od mašine. S druge strane, kako je TM izolovan od tela noža, posebno izolovanje noža od mašine vrši se samo radi otklanjanja spoljašnjih naponskih smetnji.

Za orijentaciono praćenje veličine termonapona korišćen je merni instrument "DIGITAL MULTI-THERMOMETAR" Typ TR-2112, i svetlosni oscilograf "August Fischer" KG, Typ AF 8 UV-G.

Merenje i obrada izmerenih veličina termonapona pri obradi rezanjem izvršena su pomoću 16-bitnog mikroračunara PMP-11, proizvodnje Instituta "Jožef Štefan" iz Ljubljane. Sistem ima 64K dinamičke memorije, 5 1/4 i 8 inčnu disketu, dva standardna serijska komunikaciona kanala i časovnik realnog vremena.

Analogni merni signali termonapona pri obradi rezanjem, pre uvođenja u mikroračunar pretvaraju se u analogno-digitalnom konvektoru u digitalne merne signale, razumljive računaru. Zatim se po sačinjenom programskom sistemu vrši merenje kao i obrada

tako izmerenih rezultata. Izmereni i matematički obradjeni skupovi rezultata merenja se memorišu na disk jedinicu ili štampaju u odredjenoj formi.

4. DEFINISANJE PREDMETA ISTRAŽIVANJA

Kao što se iz prethodnog vidi, srednja temperatura pri obradi rezanjem je jedna od osnovnih fizičkih veličina koja određuje dozvoljene brzine rezanja i dimenzije preseka strugotine, obzirom na otpornost reznog alata na habanje, odnosno na visoke temperature. Drugim rečima temperatura merena prirodnim termoparom alat-obradak predstavlja značajnu veličinu koja karakteriše stanje procesa rezanja.

Konstatacija da se srednja temperatura pri obradi rezanjem sa sigurnošću može usvojiti kao kompleksni parametar rezanja, pogotovo za upravljanje obradnih procesa, postala je predmet istraživanja velikog broja istraživača /3, 4, 5, 6, 9, 10, 13/. U svim ovim istraživanjima traži se odgovor na dva pitanja i to:

- da li se u posmatranom procesu obrade menja srednja temperatura pri obradi rezanjem sa porastom habanja alata i
- kako srednja temperatura pri obradi rezanjem utiče na postojanost alata.

Istraživanja vezana za prvo pitanje jednoznačno potvrđuju da se srednja temperatura rezanja merena prirodnim termoparom alat-obradak ne menja tokom obrade već ostaje konstantna do zatupljenja alata /1, 5, 6/. Ovo se objašnjava time što se porast temperature pri obradi rezanjem tokom obrade kompenzira povećanjem kontaktnih površina zbog habanja alata na grudnoj i ledjnoj površini.

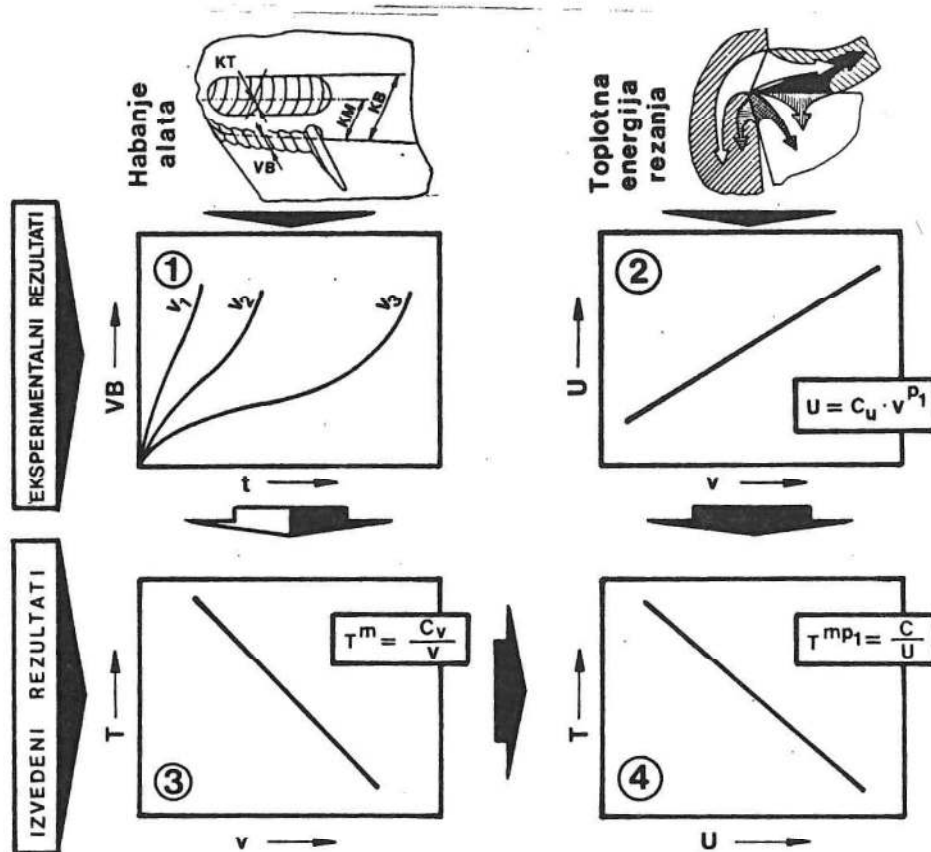
Odgovor na drugo pitanje dat je još 1937.godine od strane Schallbrach-a i Schaumann-a /9/, a zatim i od strane drugih istraživača /3, 13/. U svim ovim istraživanjima se konstatuje da u odredjenom intervalu postoji zavisnost izmedju postojanosti alata i srednje temperature rezanja. Medjutim, kako postoje i suprotne tvrdnje da se ne radi o sigurnoj zavisnosti koja bi se mogla koristiti za identifikaciju stanja procesa obrade i činjenice da još uvek ne postoji praktična primena, ovo pitanje i dalje ostaje otvoreno za istraživače.

Zbog napred iznetog, cilj ovog rada je da se realizovanim

Identifikacija stanja procesa rezanja pomoću termonapona ...

mernim sistemom za određivanje termonapona pri obradi rezanjem uz istovremeno praćenje habanja alata do zatupljenja, potvrdi već konstatovana veza između postojanosti i termonapona. Ukoliko se ta zavisnost uspostavi, onda je moguća identifikacija stanja procesa rezanja pomoću termonapona prirodnog termopara alat-obradak opisanom metodom. Samo u tom slučaju ima smisla nastaviti istraživanja na korišćenju termonapona pri obradi rezanjem za određivanje funkcija postojanosti alata, svakako najvažnije funkcije stanja procesa rezanja.

Izvodjenje eksperimenta, u cilju nalaženja zavisnosti između postojanosti i termonapona pri obradi rezanjem, izvršeno je uporednim merenjem termonapona pri obradi rezanjem i habanja alata. Interpretacijom postojanosti i termonapona u funkciji brzine rezanja omogućuje dobijanje željene zavisnosti. Model grafo-analitičkog određivanja zavisnosti između postojanosti alata (T) i termonapona pri obradi rezanjem (U) za iste elemente rezućeg sloja, prikazan je na slici 5.



Slika 5. Model grafo-analitičkog određivanja zavisnosti između postojanosti alata (T) i termonapona pri obradi rezanjem (U)

5. USLOVI PRI EKSPERIMENTALNIM ISPITIVANJIMA

Eksperimenti su vršeni na čeliku za poboljšanje č.5432 u normalizovanom stanju.

Kao alat korišćen je pravi strugarsko nož za grubu uzdužnu obradu "PROMAX-A", sa drškom poprečnog preseka 25x25 (mm) i pločicom od tvrdog metala kvaliteta P25 proizvodnje "Sintal" Zagreb.

Geometrija reznog dela alata je bila konstantna i to: grudni ugao $\gamma = -6^{\circ}$, ledjni ugao $\alpha = 6^{\circ}$, ugao vrha noža $\epsilon = 90^{\circ}$, napadni ugao $\kappa = 75^{\circ}$, ugao nagiba sečiva $\lambda = -6^{\circ}$ i poluprečnik zaobljenja vrha noža $r = 0,8$ (mm).

Elementi režima obrade upisani su na priloženim dijagramima.

Sva ispitivanja su obavljena bez primene sredstva za hladjenje i podmazivanje.

Ispitivanja su izvedena na univerzalnom strugu "Potisje-Morando" PA 22, pogonske snage od 11 (kW).

Merenje termonapona prirodnog termopara alat-obradak vršeno je razvijenim mernim sistemom (slika 2.), a merenje veličine habanja na ledjnoj površini alata na Zeiss-ovom alatnom mikroskopu.

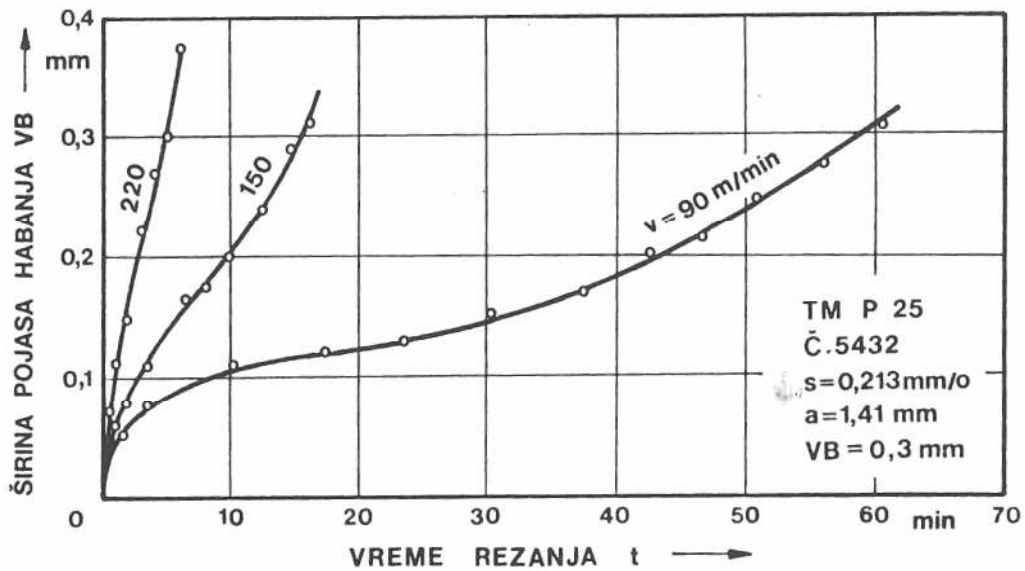
6. REZULTATI EKSPERIMENTALNIH ISPITIVANJA

U skladu sa prethodno definisanim ciljem ovog rada, izvršeno je uporedno merenje termonapona pri obradi rezanjem i habanja alata.

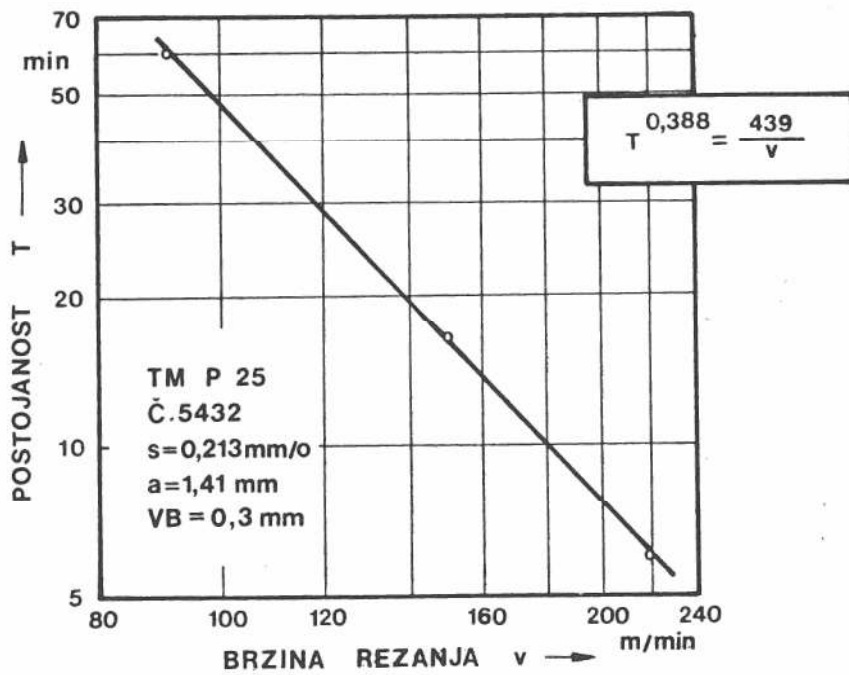
Rezultati merenja promene širine pojasa habanja (VB) sa vremenom rezanja, prikazani su na dijagramu slika 6. Na osnovu ovih rezultata merenja habanja alata, za kriterijum habanja $VB = 0,3$ (mm) odredjen je dijagram postojanosti T-v prikazan na slici 7.

Pri istim uslovima obrade, primenom razvijene metodologije merenja termonapona pri obradi rezanjem, izvršeno je merenje termonapona pri rezanju čiji su rezultati merenja prikazani na slici 8.

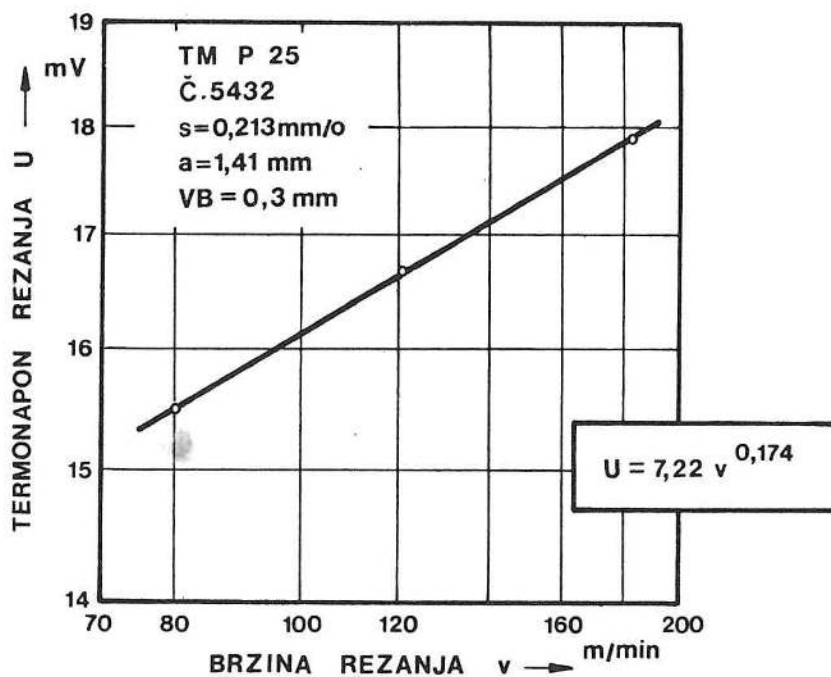
Izjednačavanjem brzine rezanja prema slici 5, odredjena je grafo - analitička zavisnost izmedju postojanosti alata i termonapona pri obradi rezanjem, slika 9.



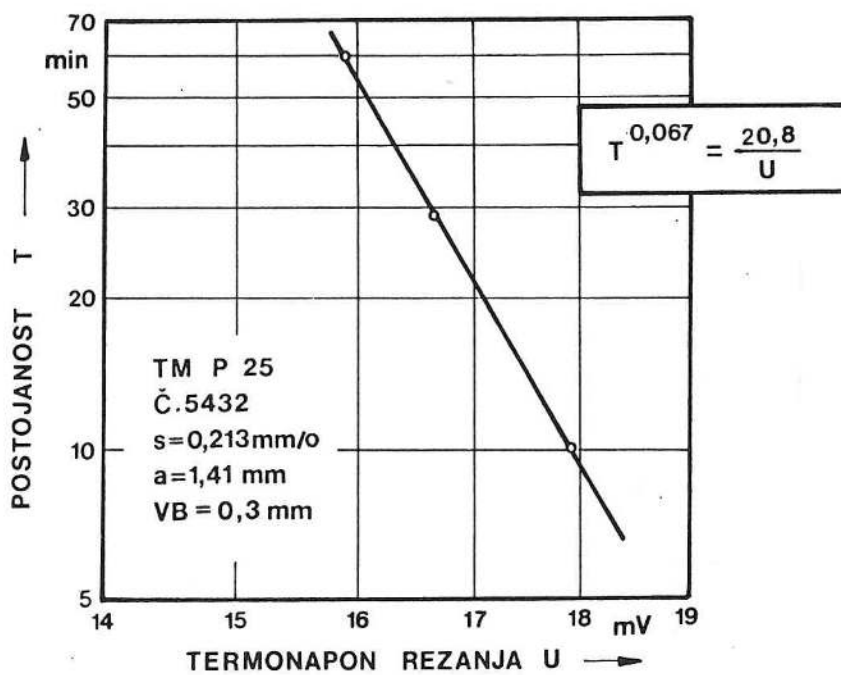
Slika 6. Promena širine pojasa habanja sa vremenom rezanja za različite brzine rezanja



Slika 7. Dijagram postojanosti alata T-v



Slika 8. Zavisnost termonapona pri obradi rezanjem od brzine rezanja



Slika 9. Zavisnost postojanosti alata od termonapona pri obradi rezanjem

7. ANALIZA DOBIJENIH REZULTATA

Kao što se sa ovih dijagrama vidi, uspostavljena je zavisnost izmedju termonapona pri obradi rezanjem i postojanosti alata. Prema tome, potvrđena je ispravna postavka mernog sistema za određivanje termonapona prirodnog termopara alat-obradak i mogućnosti njegove primene za identifikaciju stanja procesa rezanja.

Ova konstatacija upućuje na zaključak da je termonapon pri obradi rezanjem značajna karakteristična veličina stanja procesa rezanja, što opravdava ideju istraživača da istom uz primenu odgovarajućih modela omoguće projektovanje savremenih obradno-tehnoloških procesa i njihovo optimalno upravljanje.

8. ZAKLJUČCI

Na osnovu napred izloženog mogu se doneti sledeći zaključci:

- razvijeni merni sistem za identifikaciju termonapona pri obradi rezanjem prirodnim termoparom alat-obradak odlikuje se visokom tačnošću, pouzdanošću, brzinom i efikasnošću merenja.
- primenom izvedenih hladnih spojeva na obradku i alatu, opisanom mernom metodom određivanje termonapona rezanja izvodi se bez prisustva naponskih smetnji i parazitnih termonapona.
- integrisan sa računarskim sistemom, razvijeni merni sistem je u skladu sa osnovnom tendencijom daljeg razvoja savremenih mernih sistema
- navedene osobine mernog sistema potvrđene su uspostavljanjem grafo-analiitičke veze izmedju termonapona pri obradi rezanjem i postojanosti alata.

LITERATURA

- [1] Alpek, F.: Temperature Measurement in industry and Science, 1 st Symposium of IMEKO, Prag 1981.
- [2] Cochadze, V.V.: Izmerenie temperatur pri rezanii metallov, Vestnik mašinstroenia, 1963, Nr.11, str. 66-69.
- [3] Giusti, F.: Vontribution a'l' Etude de la "Température de Coupe" en Relation avec les Facteurs de la Coupe et les

- Applications Pratiques, Annals of the CIRP, Vol. 14 (1967), str. 327-339.
- |4| Kovač, P., Milkić, D.: Zavisnost termonapona pri čeonom glodanju od režima rezanja, Zbornik radova IPM, br.2., Novi Sad, 1985, str. 27-37.
 - |5| Kovač, P., Milkić, D.: Temperatura prirodnog termopara i habanje alata pri čeonom glodanju, Zbornik radova IPM, br.3., Novi Sad, 1986, str. 79-88.
 - |6| Lowack, H.: Temperaturen an Hartmetall-drehwerkzeugen bei der stahlzerspannung, Dissertation, TH Aachen, 1967.
 - |7| Milkić, D.: Nova metoda za merenje temperature pri obradi rezanjem i mogućnosti njene tehnološke i senzorske primene, Doktorska disertacija, FTN, Novi Sad, 1980.
 - |8| Milkić, D., Kovač, P., Gostimirović, M., i dr.: Ispitivanje obradljivosti domaćih konstrukcionih materijala široke primene. Naučno-istraživačka tema, FTN, Novi Sad, 1986.
 - |9| Schallbroch, H., Schaumann, H.: Die Schnitttemperatur beim Drehvorgang und the Anwendung als Zerspanbarkeitskennziffer, VDI-Zeitschrift, Bd.81, Nr.11, 1937, str. 325-330.
 - |10| Sekulić, S.: Identifikacija primarnih parametara obrade na strugu na osnovu plastične deformacije i termonapona rezanja. Doktorska disertacija, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 1977.
 - |11| Stanić, J., Majstorović, M.: Proizvodni metrološki sistemi - stanje i tendencija daljeg razvoja, Naučno-stručni skup INDUSTRIJSKI SISTEMI, Novi Sad, 1984, str. 61-70.
 - |12| Stanić, J.: Teorija obrade metala I, Mašinski fakultet, Beograd, 1986.
 - |13| Vukelja, D., Šolaja, V.: Utvrđivanje obradljivosti materijala pomoću temperaturske metode, Zbornik saopštenja VII savetovanja proizvodnog mašinstva, I knjiga, Novi Sad, 1971.