

ORIGINALNI NAUČNI RAD

P. Kovač, D. Milikić

TERMONAPON PRIRODNOG TERMOPARA I HABANJE  
ALATA PRI ČEONOM GLODANJU

Rezime

*U radu je prikazano određivanje termonapona merenog prirodnim termoparom pri čeonom glodanju. Ispitivanja su izvršena pri rezanju uz variranje tri vrednosti brzine rezanja. U toku merenja termonapona vršeno je praćenje habanja alata do zatupljenja.*

THERMOVOLTAGE OF TOOL WORK THERMOCOUPLE AND THE  
TOOL WEAR IN FACE MILLING

Summary

*Face milling experiments have been performed to investigate the thermovoltage of tool work thermocouple. The investigation have been performed with the three different values of cutting speed. During the thermovoltage measurement the tool wear was observed until the tool was worn.*

1. U V O D

Proces rezanja pri čeonom glodanju je periodičnog karaktera. Zubi u zahvatu se zagrevaju, a kada su van zahvata oni se hlade. Ovo naizmenično zagrevanje i hladjenje je vrlo nepovoljno, jer predstavlja svojevrsan proces termičke obrade za pločicu od tvrdog metala, koje neprestano dovodi do pojave toplotnih napona i njenog slabljenja.

Do danas je za merenje temperatura pri obradi rezanjem razvijen veliki broj različitih metoda. Sve ove metode, u osnovi, koriste različite fizikalne ili hemijske efekte vezane za toplotu odnosno temperaturu.

Kovač mr Pavel, dipl.ing., asistent. Milikić dr Dragoje, dipl.ing., vanredni profesor, Fakultet tehničkih nauka, Institut za proizvodno mašinstvo, 21000 Novi Sad, Vladimira Perića-Valtera 2.

U radu je za merenje temperature korišćen tzv. termoelektrični efekat pri zagrevanju spoja dva različita materijala (alat i obradak) kada nastaje električni napon, tzv. termonapon. Tako izmerena vrednost termonapona predstavlja srednju vrednost termonapona elementarnih površina na kontaktnim površinama alata i obradka, koja je proporcionalna srednjoj vrednosti temperature.

Kada je poznata srednja vrednost termonapona može se odrediti srednja temperatura rezanja, preko funkcionalne zavisnosti između srednje temperature i termonapona  $\Theta=f(U)$ . Ova zavisnost se odredjuje baždarenjem pri čemu se javljaju ozbiljne poteškoće. Naime, pri baždarenju je neophodno ostvariti iste uslove na mestu kontakta kao pri stvarnim uslovima pri rezanju, što nije u potpunosti moguće, pa prevodjenje termonapona u srednju temperaturu neminovno uzrokuje određenu grešku. Iz tih razloga u radu su date samo vrednosti termonapona.

Zavisnost termonapona od elemenata režima pri čeonom glodanju istraživana je u [4]. Na osnovu istraživanja izvršenih pri struganju [3] utvrđeno je da se termonapon ne menja pri rezanju u toku dužeg perioda vremena. U pomenutom radu i ako rezanje nije vršeno do zatupljenja alata došlo se do zaključka da se termonapon ne menja u vremenu, tj. da ne zavisi od habanja alata.

Konstantna vrednost termonapona u funkciji vremena rezanja može se objasniti time da termonapon, koji je po definiciji zbir beskonačnog broja paralelno vezanih termoparova, koji daju određenu elektro-motornu silu [2]:

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

gde su:  $E_i$  - termonaponi na elementarnoj površini  $f_i$

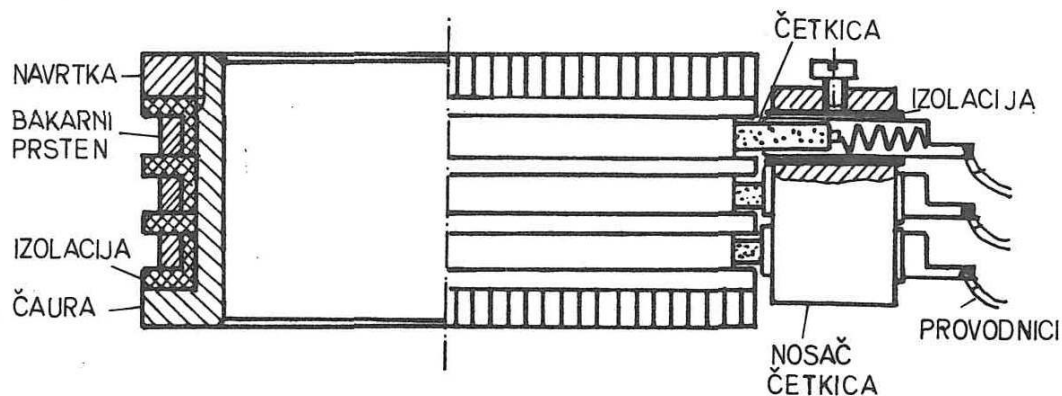
U toku vremena rezanja povećava se habanje alata a time i temperatura u tački, medjutim usled habanja dolazi do povećanja površine kontakta pa se nastali termonaponi dele na više

elementarnih površina i iznos srednjeg termonapona, a time i srednje temperature rezanja, ostaju iste.

Proces čeonog glodanja se vrši sa višezubim alatima, osim toga alat ima rotaciono kretanje pa se javljaju poteškoće pri odvodjenju signala, i kako su savremeni alati najčešće od tvrdog metala to se pri korišćenju prirodnog termopara, koga čine alat od TM i obradak, javljaju parazitni termonaponi. Da bi se greške pri merenju termonapona svele na minimum u nastavku je izložena prikladna metoda.

## 2. MERENJE TERMONAPONA PRI ČEONOM GLODANJU

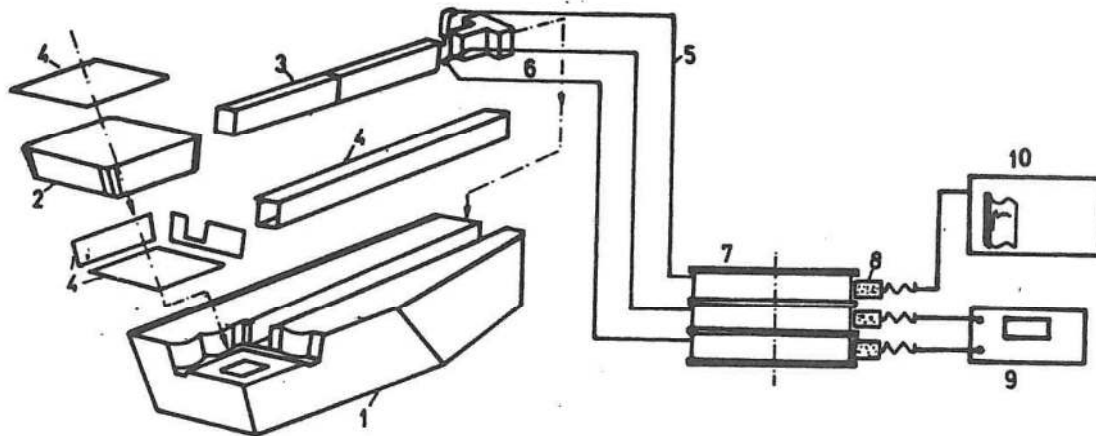
Obzirom da je merenje termonapona detaljnije opisano u radu [3], ovde će se istaknuti samo najbitnije. Pri glodanju alat vrši rotaciono kretanje pa se signal sa alata dovodi na klizne prstenove, koji su izolovani od vretena mašine. Prstenovi su od bakra a izolacija od pleksiglasa i pertinaksa. Konstruktivno rešenje kliznih prstenova je prikazano na slici 1. Jedan prsten služi za signal prirodnog termopara a preostala dva za signal sa veštačkog termopara CrNi-Ni, kojim je merena temperatura u "hladnom spoju" prirodnog termopara na alatu.



S1.1.

Da bi se kod termoelemenata na alatu ostvario "hladan spoj" izvan zone zagrevanja, kontakt sa rezne pločice od TM je u produžetku izveden od TM iste vrste. Rezna pločica od nosača pločice je izolovana pomoću liskuna, koji je dobar

električni i toplotni izolator, sl.2.



Sl.2.

1-Nosač pločice, 2-pločica od TM, 3-štapići od TM, 4-izolacija, 5-bakarni provodnik, 6-veštački termopar, 7-bakarni prstenovi, 8-grafitne četkice, 9-termometar, 10-svetlosni pisač.

Prenos signala sa kliznih prstenova ostvaren je grafitnim četkicama sa konstantnim pritiskom, koji se ostvaruje oprugama pa kompenzuje i eventualnu ekscentričnost kliznih prstenova. Da bi greška bila što manja prenos signala je sa svakog prstena izvršen pomoću dve četkice. Dalje se signal prenosi bakarnim provodnicima, sl.1.

Signal veštačkog termopara prenosi se na merni instrument, odnosno Digital Multithermometar a vrednost se direktno očitava u °C. Merenje temperature "hladnog spoja" na alatu vršeno je u cilju kompenzacija eventualne razlike u temperaturi oba "hladna spoja". Pri ovom eksperimentu temperatura oba "hladna spoja" je bila jednaka i stalno je kontrolisana (pomoću veštačkog termopara).

Obradak, izolovan od mašine, povezan je sa mernim instrumentom, odnosno svetlosnim pisačem.

#### 4. USLOVI PRI EKSPERIMENTALNOM ISPITIVANJU

Ispitivan je čelik za poboljšanje č.1730, u obliku paralelopipeda 100x100x600 mm, zatezne čvrstoće  $90 \cdot 10^7$  Pa.

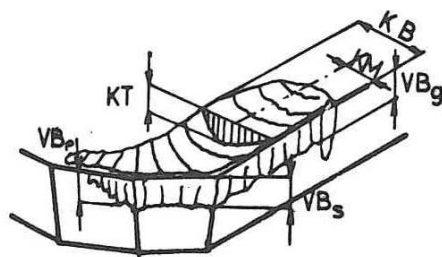
Obrada je vršena na vertikalnog glodalici "PRVOMAJSKA" FS-GVK-3, snage pogonskog elektromotora 14,5 kW. Pri izvođenju eksperimenta korišćena je glava za glodanje proizvodnje "Jugoalat" JAL G-750  $\varnothing 125$  mm sa umetnutim pločicama od tvrdog metala kvaliteta P25 (SPAN 12 03 ER proizvodnje "Prvi Partizan"). U glavi je bila učvršćena samo jedna pločica pa je obrada izvodjena jednozubim alatom.

U toku eksperimenta varirana je brzina rezanja  $V$  u tri vrednosti 2,95; 3,67 i 4,63 m/s, ostali elementi režima su bili konstantni: dubina rezanja  $\delta = 1,5$  mm a pomak zuba  $S_z = 0,223$  mm/z.

Signali termonapona vodjeni su direktno na jedan od kanala svetlosnog oscilografa "August Fischer" KG tip AF-8UV-6. Ovo direktno priključenje bez pojačanja, bilo je moguće primenom vrlo osetljivog galvanometra sa elektromagnetnim prigušenjem tip GA 1,1/8H. Da bi se veličine registrovanih otklona na hartiji prevele u napon vršeno je baždarenje. Ono je ostvareno pomoću kompenzacionog instrumenta "Thermocontrol" tip YHK, kojim se može vrlo precizno ostvarivati jednosmerni napon od 0 do 100 mV. Baždarenje je izvršeno tako što je na ulazni kanal za termonapon, priključen kompenzacioni instrument, pomoću kojeg je stepenasto variran napon u potrebnim granicama.

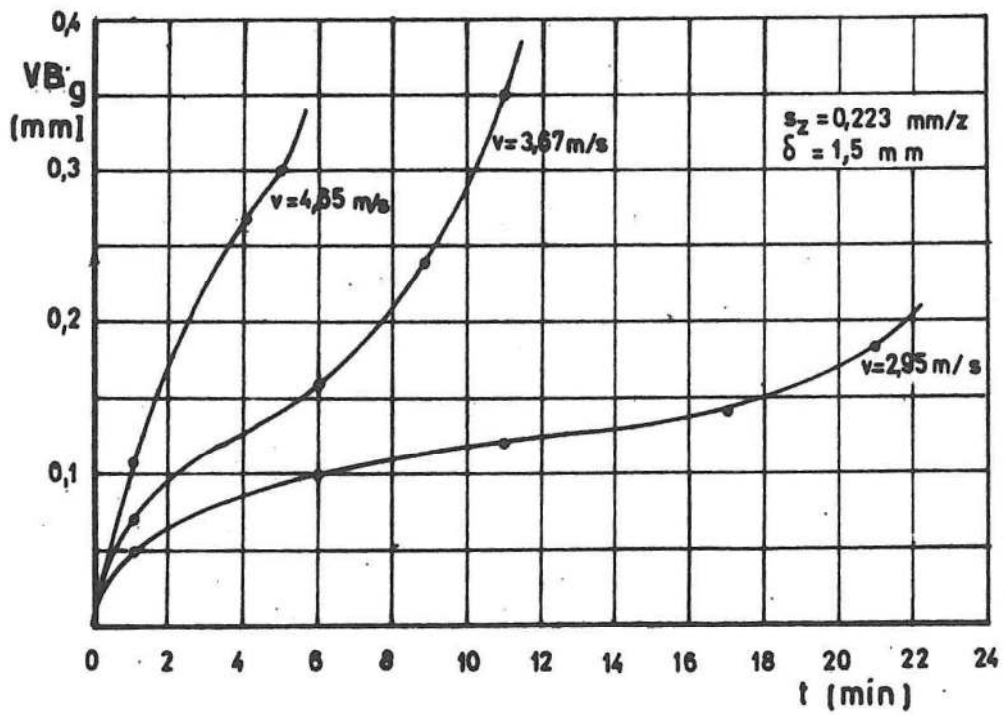
U cilju utvrđivanja karaktera kao i veličina parametara habanja alata u funkciji vremena rezanja, vršeno je praćenje habanja po grudnoj i ledjnoj površini sl.3.

Na ledjnoj površini alata praćena je srednja vrednost ši-

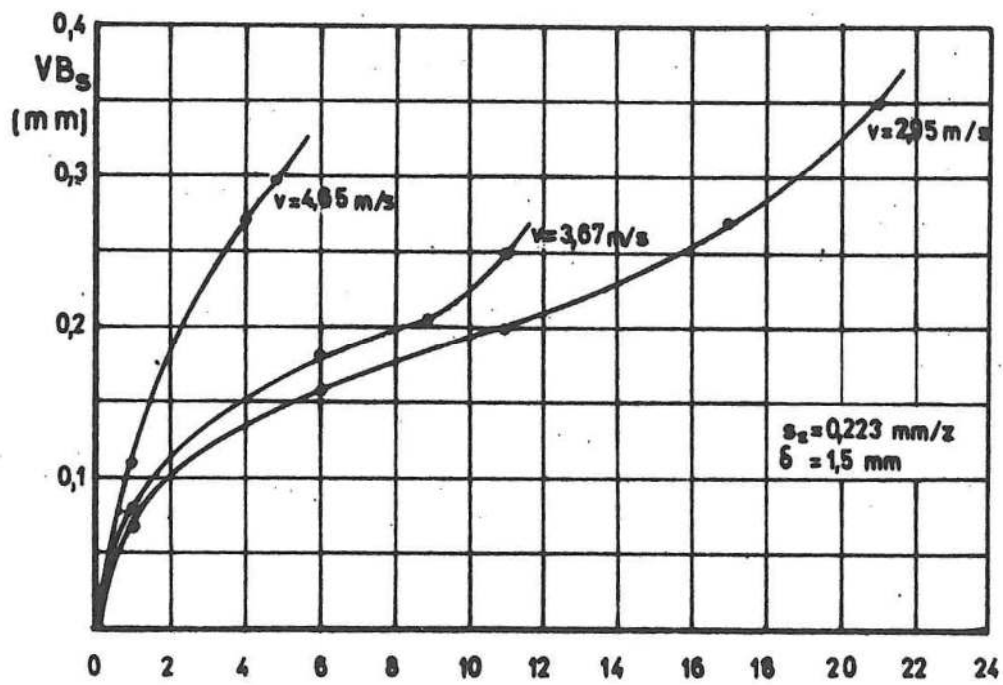


Sl.3.

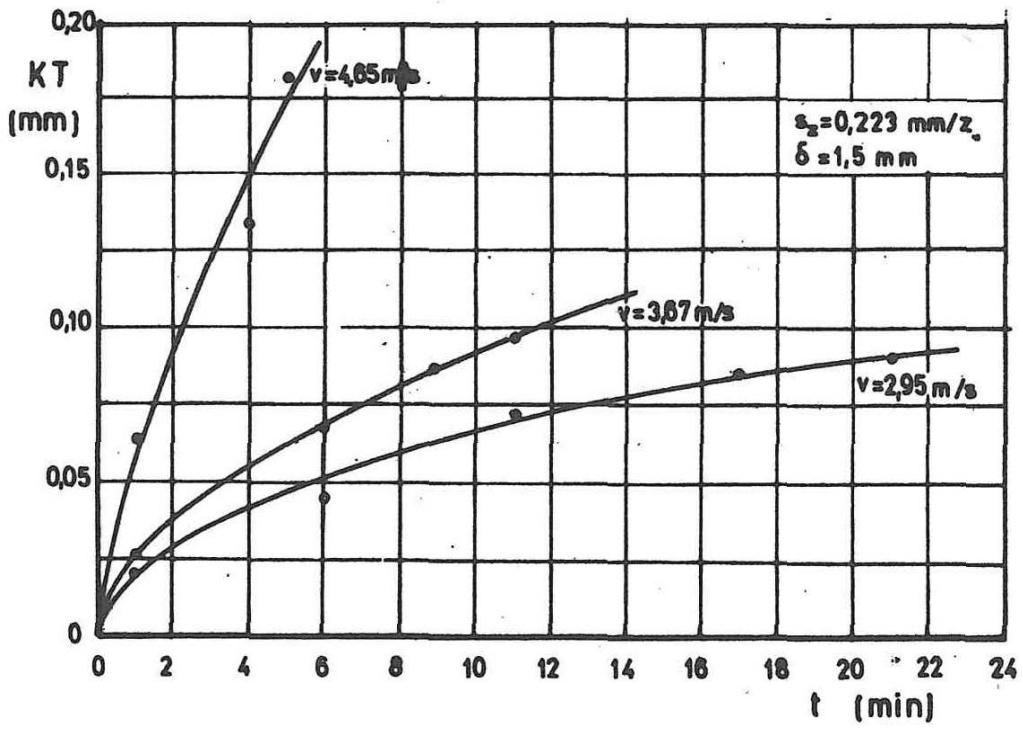
rine pojasa habanja na fazetama  $VB_g$  i  $VB_s$ . Da bi fazete stalno pri merenju bile u horizontalnom položaju, napravljen je poseban brior sa žljebovima, koji su uvek obezbedjivali isti



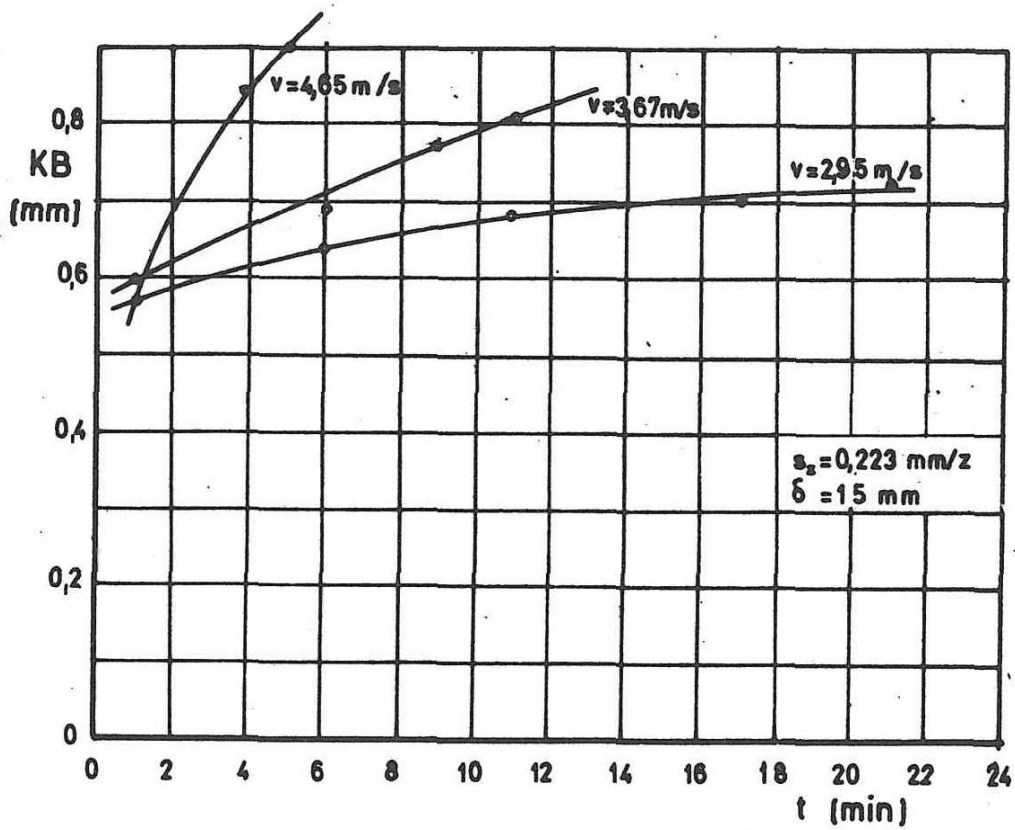
S1.4.



S1.5.



S1.6.



S1.7.



položaj fazete pri merenju habanja na alatnom mikroskopu.

Na grudnoj površini merena je širina kratera KB i odstojanje sredine kratera od sečiva KM, pomoću alatnog mikroskopa "Zeiss".

Direktno merenje dubine kratera KT vršeno je na šmalc-ovom mikroskopu za merenje hrapavosti, pri odgovarajućem uvećanju. Pločica je postavljena u poseban pribor koji je obezbedjivao uvek isti položaj.

## 5. REZULTATI MERENJA I NJIHOVA OBRADA

Prema postupku opisanom u prethodnoj tački izvršeno je merenje habanja.

Na slici 4. je prikazana srednja vrednost širine pojasa habanja na glavnoj ledjnoj površini  $VB_g$ , a na sl.5. srednja vrednost širine pojasa habanja na fazeti pod uglom od  $45^\circ$   $VB_s$ , u funkciji vremena rezanja. Na sl.6. i 7. su prikazane zavisnosti parametara habanja na grudnoj površini, dubina kratera KT i širina kratera KB, u funkciji vremena rezanja.

Na slici 8. prikazana promena termonapona U u funkciji vremena rezanja za tri ispitivane vrednosti brzine rezanja.

## 6. ANALIZA REZULTATA ISPITIVANJA

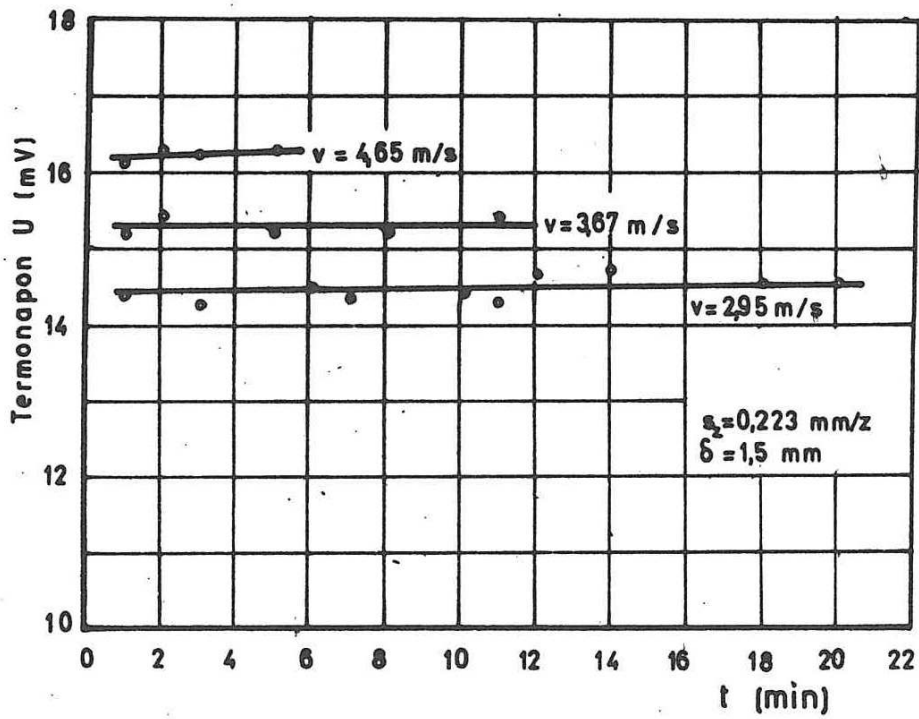
Sa dijagrama promene parametara habanja u funkciji vremena rezanja se vidi da pri brzini rezanja  $V=2,95$  m/s do zatupljenja, dolazi posle 19 minuta za kriterijum  $VB_0=0,3$  mm, a pri brzini  $V=4,63$  m/s posle 5 minuta rezanja, nakon čega naglo dolazi do povećanja dubine kratera KT i širine kratera KB.

Promena termonapona u funkciji vremena rezanja, kako se vidi sa dijagrama sl.8., je neznatna, pa vrednost termonapona, za svaku konstantnu vrednost brzine rezanja, oscilira oko srednje vrednosti.

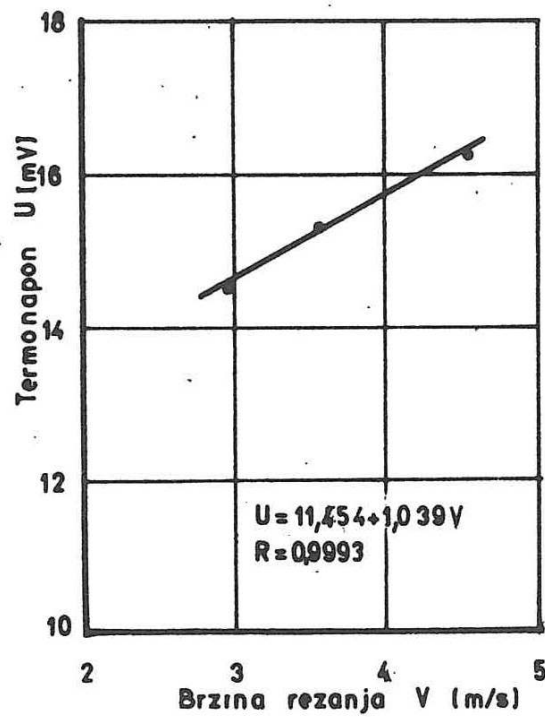
Iako su ispitivanja vršena u širem dijapazonu brzina rezanja do zatupljenja alata, ne uočava se promena termonapona, iako su krive habanja dostigle sve tri karakteristične faze, Promena termonapona zavisi od brzine rezanja.

Dobijena linearna zavisnost termonapona od brzine rezanja:





S1.8.



S1.9.

$$U = 1,039Y + 11,45$$

važi uz visok koeficijent korelacije  $R=0,9995$  i prikazana je na sl.9.

## 7. ZAKLJUČCI

- Na osnovu napred izloženog može se zaključiti sledeće:
- Vrednosti termonapona pri konstantnom režimu rezanja do potpunog zatupljenja alata ne zavisi od vremena
  - zavisnost termonapona od brzine rezanja može se predstaviti linearnom zavisnošću,
  - primenjena eksperimentalna tehnika i prenošećnje termonapona pri čenom glodanju, obezbedjuje minimalne greške usled parazitnih termonapona.

## 8. 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 metalov, Vestnik mašinstroenia, 11, 1963.
- |3| Lowack, H.: Temperaturen An Hartmetall Drehwerkzeugen Bei der Stahlzerspannung, Doktorska disertacija, Aachen, 1967.
- |4| Kovač, P., Milikić, D.: Zavisnost termonapona pri čenom glodanju od režima rezanja, Zbornik radova IPM, god.2., 1985. br.2.
- |5| Sekulić, S.: Odredjivanje termonapona u zavisnosti od preseka vitkosti i faktora sabijanja strugotine, Zbornik radova MMA '79, Novi Sad, 1979.
- |6| Tišma, Dj.: Odredjivanje izraza za termonapon pri čenom glodanju alatima od TM, FTN, IPM, Diplomski rad, 1986.