



ENGINEERING ACADEMY OF MONTENEGRO



THE UNION OF ENGINEERS OF MONTENEGRO



MAINTAINERS SOCIETY OF MONTENEGRO



COOPERATIVE TRAINING CENTER  
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
PODGORICA

**XII INTERNATIONAL  
CONFERENCE  
MAINTENANCE AND  
PRODUCTION ENGINEERING**

**KODIP - 2014**

**PROCEEDINGS**

Budva, 18.-21.06.2014.



KONFERENCIJA ODRŽAVANJE I  
PROIZVODNI INŽENJERING  
KODIP 2014  
Budva, 18.-21.06.2014.

## ZBORNİK RADOVA

### *Izdavači:*

Inženjerska akademija Crne Gore  
Savez inženjera Crne Gore  
Društvo održavalaca sredstava za rad Crne Gore  
Mašinski fakultet u Podgorici - Kooperativni trening centar

### *Za izdavače:*

Prof. dr Ljubomir Pejović  
Ivan Burić, dipl. inž. građ.  
Doc. dr Deda Đelović  
Prof. dr Sreten Savićević

### *Tiraž:*

100 primjeraka

### *Štampa:*

Art Grafika, Podgorica

### *Zbornik uredili:*

Prof. dr Miodrag Bulatović  
Prof. dr Mileta Janjić  
Doc. dr Nikola Šibalić

### *Adresa:*

Univerzitet Crne Gore  
Mašinski fakultet  
Džordža Vašingtona bb, 81000 Podgorica  
Tel. +382 20 245 003 i +382 67 349 111; fax: +382 20 245 116  
E-mail: [bulatovm@ac.me](mailto:bulatovm@ac.me); [mileta@ac.me](mailto:mileta@ac.me)

CIP - Каталогизација у публикацији  
Национална библиотека Црне Горе, Цетиње

ISBN 978-9940-527-35-8 (Mašinski fakultet)  
COBISS.CG-ID 25103632



## PREFACE

*Dear participants of the Conference*

*We continue with the Conference of maintenance and production engineering.*

*On the right is the XII Conference KODIP-2014.*

*This year the conference theme will relate to innovations in organization, technology and process technology in manufacturing engineering and maintenance.*

*This conference is specifically dedicated maintenance technology and production engineering for sustainable development*

*Conference themes include:*

- *Production technologies and maintenance of sustainable development*
- *The conventional and unconventional production technology*
- *Tribology*
- *Materials*
- *Industrial Engineering*
- *Software Engineering*
- *Numerical modeling and simulation*
- *construction and design*
- *Production systems and optimization - Implementation of ISO quality standards.*
- *Modern techniques and technologies to maintain*
- *Maintenance - "from practice to practice"*

*In Proceedings of the 47 works of over 70 authors and co-authors*

*Content of work covers the areas of application in practice to serious scientific texts*

*Responding to the jury at the end of the conference to declare the most notable works of the research character of the area to solve practical problems and interesting presentation.*

*On behalf of the organizers of the Conference: Engineering Academy of Montenegro, Association of Montenegro, the Company Maintainers funds for the operation of Montenegro and cooperative training center Mechanical Engineering in Podgorica I express gratitude to the authors and co-authors, participants and guests, sponsors and co-organizers, who have their engagement, The presence and resources, and have made it possible to this event, and so far, it reprezentativnan and useful.*

*We welcome you, successful work and a pleasant stay on the Montenegrin coast, in the beautiful surroundings of the hotel "Slovenska plaza", here in Budva.*

**President of the Organizing Committee  
Prof. Dr. Miodrag Bulatovic**



## PROGRAM I SADRŽAJ

### **SRIJEDA, 18.06.2013.**

**20:00-22:00 REGISTRACIJA UČESNIKA**

### **ČETVRTAK, 19.06.2013.**

**08:00-10:00 REGISTRACIJA UČESNIKA**

**10:00-11:00 OTVARANJE KONFERENCIJE - SALA A**

**Predsjedavajući:**

**Prof. Dr Ljubomir Pejović, Prof. dr Ljubodrag Tanović, Doc. dr Deda Đelović,  
Prof. dr Safet Brdarević, Prof. dr Miodrag Bulatović**

#### **11:00-12:00 UVODNA IZLAGANJA - A**

- **D. Đelović, D. Medenica Mitrović:**  
ELEMENTI ANALIZE KORELACIJE IZMEĐU ODRŽAVANJA  
TEHNIČKIH SISTEMA I PRINCIPA ODRŽIVOG RAZVOJA ..... 1
- **D. Stanivuković, G. Ivanović, S. Mirković:**  
DOGAĐAJ - VEROVATNOĆA DOGAĐAJA - POUZDANOST ..... 9
- **S. Brdarević:**  
CILJEVI FUNKCIJE ODRŽAVANJA ..... 19
- **Lj. Tanović:**  
AKTUELNA ISTRAŽIVANJA U OBLASTI MIKRO-BRUŠENJA ..... 29

#### **12:00-13:00 KOKTEL DOBRODOŠLICE**

#### **13:00-14:30 Izlaganje radova - A**

**Predsjedavajući: Prof. dr Radoje Vujadinović, Mirjana Stanić, Prof. dr Krsto Mijanović**

- **R. Vujadinović:**  
SAVREMENO ODRŽAVANJE VOZILA U FUNKCIJI ODRŽIVOG  
RAZVOJA DRUMSKOG SAOBRAĆAJA ..... 37
- **M. Stanić, B. Milovanov:**  
ASPEKTI ŽIVOTNE SREDINE U ODRŽAVANJU ..... 45
- **S. Hadrović, S. Stevović:**  
MAINTENANCE OF FOREST RESOURCES AND REUSE OF WOOD

WASTE IN FUNCTION OF BIOMASS PRODUCTION INCREASING .....55

- **M. Vukčević, N. Šibalić, M. Janjić:**  
EKONOMSKA ANALIZA PROIZVODNJE DRVNIH PELETA .....63
- **K. Mijanović, J. Kopač:**  
CHANGING THE PARAMETERS OF THE QUALITY OF  
INPUT MATERIALS TO SUSTAINABLE MANUFACTURING .....73
- **M. Petronijević:**  
THE ISO 9000 AND 14000 FAMILY OF STANDARDS:  
ENVIRONMENTAL MANAGEMENT SYSTEMS .....85
- **S. Radosavljević, M. Radosavljević, J. Radosavljević:**  
ANALIZA RIZIKA ENERGETSKIH SISTEMA  
RUDARSTVA I ODRŽIVI RAZVOJ .....93
- **V. Jauković:**  
UPRAVLJANJE RIZIKOM UDESA U RADNOJ I ŽIVOTNOJ SREDINI

**PETAK, 20.06.2013.**

**9:00 - 10:30 Izlaganje radova - A**

**Predsjedavajući: Prof. dr Milentije Stefanović, Dr Safet Avdić, Mr Milenko Perović**

- **V. Mandić, M. Stefanović, Ž. Gavrilović:**  
DEVELOPMENT OF THE FORGING TECHNOLOGY FOR PRODUCING  
THE ARTIFICIAL HIP STEM THROUGH APPLICATION OF VIRTUAL  
MANUFACTURING .....99
- **D. Milosavljević, M. Bojić, R. Čukić, G. Bogdanović, V. Mandić:**  
INFLUENCE OF STATE OF ART FACADE TECHNOLOGY TO  
NET-ZERO ENERGY BUILDINGS .....109
- **S. Avdić:**  
SANACIJA KATARKE BAGERA RH 40C RADI PROIZVODNE  
RASPOLOŽIVOSTI, POUZDANOSTI I SIGURNOSTI U EKSPLOATACIJI..115
- **D. Erić, V. Mandić, S. Marković:**  
PODRŠKA OPTIMIZACIJI PROIZVODNIH TEHNOLOŠKIH PROCESA  
PRIMENOM ELEMENATA VIRTUELNE PROIZVODNJE .....123
- **M. Perović:**  
METALOGRAFSKA ANALIZA I KARAKTERIZACIJA UZROKA  
PLASTIČNOG KOLAPSA SISTEMA SVJEŽEG VAZDUHA U  
TERMOENERGETSKIM OBJEKTIMA.....129
- **M. Perović:**  
NAVARIVANJE KRANSKIH TOČKOVA OD ČELIKA  
ZA POBOLJŠANJE .....133
- **P. Nikšić, R. Radovanović:**

NADZOR VIBRACIONOG STANJA TURBINE U TE "MORAVA" SVILAJNAC .....	139
--	-----

**11:00 - 12:30 Izlaganje radova - A**

**Predsjedavajući: Prof. dr Mustafa Imamović, Mr Milanko Koruga, Mr Dušan Đurović**

- **D. Đurović, M. Bulatović:**  
IZVRSNOST ODRŽAVANJA .....149
- **M. Vemić, M. Koruga, D. Gačević, Ž. Čačić, R. Jelovac:**  
REKONSTRUKCIJA, REVITALIZACIJA I MODERNIZACIJA  
KOTLOVSKOG POSTROJENJA U TERMOELEKTRANI PLJEVLJA .....155
- **M. Koruga:**  
STRATEGIJA ODRŽAVANJA TEHNIČKIH SISTEMA  
U TERMOELEKTRANAMA .....167
- **M. Vujaković, A. Mićašević, U. Ljiljak:**  
UPRAVLJANJE OPREMOM - SPECIFIČNOSTI ISO 55001:2014 .....177
- **M. Imamović, A. Manduka:**  
DIZAJN I POUZDANOST ELEMENATA MAŠINA .....185
- **R. Biočanin, S. Šaćirović, B. Bilalović, M. Badić:**  
EKOLOŠKA BEZBEDNOST HRANE I VODE U USLOVIMA  
VISOKO-TOKSIČNE KONTAMINACIJE.....191
- **Z. Todorović:**  
KOMPLEMENTARNI ODNOS TURIZMA I ODRŽIVOG RAZVOJA U  
CRNOJ GORI.....203

**13:00 - 14:30 Izlaganje radova - A**

**Predsjedavajući: Prof. dr Živko Babić, Mr Mihailo Popović, Dr Zoran Jurković**

- **M. Jurković, Z. Jurković, M. Obad, S. Buljan:**  
REENGINEERING TOOLS IN THE DEVELOPMENT OF MODERN AND  
COMPETITIVE MANUFACTURING.....211
- **N. Šibalić, M. Vukčević, S. Savićević, M. Janjić, S. Martić, D. Laković:**  
PRIMJENA POSTUPKA FSW KOD ZAVARIVANJA ISTORODNIH  
MATERIJALA .....221
- **M. Mandić, G. Mladenović, Lj. Tanović, G. Danon:**  
MODEL ZA PREDIKCIJU SILE REZANJA PRI OBIMNOM GLODANJU  
HRASTOVINE.....231
- **G. Mladenović, Lj. Tanović, M. Popović:**  
OPTIMIZACIJA PUTANJE ALATA PRI OBRADI SLOBODNIH  
POVRŠINA GLODANJEM.....239
- **M. Popović, LJ. Tanović, G. Mladenović:**  
EKSPERIMENTI ORTOGONALNOG STRUGANJA U FUNKCIJI  
PREDIKCIJE SILA REZANJA .....247

- **M. Perović, M. Jevtović:**  
SANACIJA OŠTEĆENJA VEZE GLAVNOG HIDRAULIČNOG CILINDRA  
I OSLONE PLOČE PRESE ZA EKSTRUZIJU ALUMINIJUMA 27 MN .....255
- **Ž. Babić, R. Lekanić:**  
KONSTRUKTIVNA POBOLJŠANJA ALATA U TEHNOLOGIJI  
TERMOOBLIKOVANJA AMBALAŽE ZA TABLETE .....261

**16:00 - 19:00 Izlet brodom**

**20:30 SVEČANA VEČERA**

**SUBOTA, 21.06.2013.**

**09:00 - 11:00 Izlaganje radova - A**

**Predsjedavajući: Prof. dr Lazo Vujović, Prof. dr Mileta Janjić, Mr Sadžid Nuhodžić**

- **S. Šćepanović, L. Vujović, J. Vujović:**  
PLANIRANJE ODRŽAVANJA JEDINKE .....269
- **M. Janjić, M. Bulatović, M. Vukčević, D. Đurašković:**  
MODELIRANJE I SIMULACIJA NAPREZANJA STAKLENE PLOČE .....275
- **M. Janjić, M. Vukčević, S. Savićević, N. Šibalić:**  
POREĐENJE DEFORMACIONIH STANJA DOBIJENIH  
DISKRETIZACIONIM METODAMA .....283
- **D. Đurašković, M. Bulatović, M. Janjić, M. Vukčević:**  
ODRŽAVANJE U FUNKCIJI GOTOVOSTI MAŠINA ZA  
OBRADU STAKLA .....289
- **Z. Đukić:**  
STABLO OTKAZA SISTEMA DIZEL MOTORA .....295
- **S. Nuhodžić:**  
ULOGA I KONCEPCIJA DIJAGNOSTIKE U MODELU UNAPREDJENJA  
ODRŽAVANJA OSOVINSKIH SKLOPOVA ŽELJEZNIČKIH VOZNIH  
SREDSTAVA .....305
- **I. Kucora, LJ. Radovanović, Ž. Adamović:**  
RAZVOJ MATERIJALA CEVNIH SNOPOVA PIROLITIČKIH PEĆI  
ZA PROIZVODNJU LAKIH OLEFINA .....313

**11:30 - 13:30 Izlaganje radova - A**

**Predsjedavajući: Prof dr Petar Nikšić, Dr Slobodan Radosavljević, Đorđe Lazarević**

- **Đ. Lazarević, I. Ćosić, M. Lazarević, N. Sremčev, N. Suzić:**  
CLASSIFIER FOR PLANK SHAPED PARTS MADE IN  
FURNITURE INDUSTRY .....323
- **P. Nikšić, V. Milićević, D. Vujović:**

OPTIMIZACIJA TROŠKOVA U PROIZVODNJI I EKSPLOATACIJI VODENE PARE U POGONU KEKSA I VAFLA PROIZVODNOG SISTEMA SWISSLION D.O.O. ....	327
• <b>Z. Punoševac:</b> UTICAJ LIDERA NA NEFORMALNO OBRAZOVANJE.....	333
• <b>S. Radosavljević, M. Radosavljević, J. Radosavljević:</b> MOGUĆNOST UGRADNJE NOVOG POGONA NA KONSTRUKCIJU STRELE ROTORNOG BAGERA SRs 1200*22/2, (ANALIZA) .....	343
• <b>M. Mijanović Markuš, Z. Mijanović, R. Vukasojević, M. Đukanović:</b> EDUKATIVNI ROBOTI U VISOKOM OBRAZOVANJU.....	351
• <b>N. Šibalić, B. Šljukić:</b> PREMAZI ZA POVRŠINSKU OBRADU PROIZVODA OD DRVETA U EKSTERIJERU .....	359
• <b>D. Bratić, R. Grujičić, O. Mijanović, L. Grubiša, M. Mijanović Markuš, R. Tomović, Z. Mijanović:</b> AUTONOMNI MOBILNI ROBOT ZA SAKUPLJANJE DISKOVA .....	365

**13:30 - 14:30 ZAVRŠNE DISKUSIJE - ZATVARANJE KODIP 2014 - A**

**Predsjedavajući: Prof. dr Miodrag Bulatović, Doc. dr Deda Đelović,  
Prof. dr Mileta Janjić**



M. Popović<sup>1</sup>, L.J. Tanović<sup>2</sup>, G. Mladenović<sup>3</sup>

## EKSPERIMENTI ORTOGONALNOG STRUGANJA U FUNKCIJI PREDIKCIJE SILA REZANJA

### Rezime

U radu je prikazana procedura za određivanje skupa parametara rezanja testovima ortogonalnog struganja, koji se koriste za predikciju sila i momenta rezanja za konkretnu kombinaciju materijala alata i obratka. Sile i momenti koji deluju na rezni alat u toku procesa obrade su od suštinskog značaja za proces projektovanja alata. Sve operacije rezanja dele iste principe mehanike rezanja, ali njihova geometrija i kinematika se razlikuju. Prvi korak je razmatranje relativno jednostavnog procesa ortogonalnog rezanja u kome je sečivo upravno na pravac relativnog kretanja, a deformacije se javljaju u ravni, da bi se rezultati analize dalje koristili kao osnova za razvoj mnogo opštijeg slučaja kosog rezanja u kome je sečivo pod uglom različitim od 90° u odnosu na pravac relativnog kretanja.

**Ključne reči:** predikcija, ortogonalno i koso rezanje, sile i momenti, alat

### 1. UVOD

Sile (otpori) rezanja i njeni momenti imaju veliki značaj u tehnologiji mašingradnje i uopšte u teoriji obrade metala. One predstavljaju osnovne kategorije mehanike procesa rezanja, što znači da se silom rezanja iskazuje jedna od osnovnih karakteristika stanja i ponašanja procesa rezanja. Kada se odrede funkcije sila rezanja i njihovih momenata, tada ove funkcije omogućuju da se [1]: proračuna snaga koja se troši u datom zahvatu i izabere odgovarajući pogon mašine alatke (MA); izaberu i proračunaju sistemi glavnih i pomoćnih prenosnih mehanizama; izvrši proračun čvrstoće i dimenzionišu elementi i jedinice MA; odrede dimenzije i izvrši odgovarajući proračun pomoćnih pribora u projektovanoj tehnologiji obrade; 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 proveriti mogućnost obrade nekog mašinskog dela sa stanovišta propisanog kvaliteta konformnosti.

U radu [2], autori polaze od toga da je cilj današnje tehnologije mašingradnje da se i prvi izradak proizvede kvalitetno u što kraćem vremenu i na najekonomičniji način. Odgovor na sve složenije zahteve koje nameće savremena industrija u vidu kompleksnosti proizvoda i smanjenja vremena izrade proizvoda nameće istraživački pravac koji je poslednjih godina označen kao virtuelni proces obrade. Suština virtuelnog procesa obrade je da se proces obrade pre svoje fizičke realizacije u realnom svetu,

<sup>1</sup> Mr Mihajlo Popović, [mpopovic@mas.bg.ac.rs](mailto:mpopovic@mas.bg.ac.rs), Univerzitet u Beogradu – Mašinski fakultet

<sup>2</sup> Prof. dr Ljubodrag Tanović, Univerzitet u Beogradu – Mašinski fakultet

<sup>3</sup> Goran Mladenović, dipl. inž. maš., Univerzitet u Beogradu – Mašinski fakultet

simulira što realističnije u virtuelnom svetu kroz računarsku simulaciju. Računarska simulacija ima kao prvi cilj da pruži uvid u efekte procesa obrade, među kojima se izdvaja analiza sila rezanja.

Kod analitičkog modeliranja procesa obrade rezanjem prvi korak je definisanje procesa kao funkcije materijala obratka, geometrije i materijala alata, debljine strugotine i brzine obrade. Na ovaj način se dolazi do identifikacije parametara rezanja koji se koriste za predikciju sila rezanja, momenata, snage i granica stabilnosti za određenu kombinaciju geometrije alata i materijala alata i obratka. Parametri rezanja se mogu odrediti koristeći mehaniku ortogonalnog rezanja ili mehanističke modele [2, 3, 4].

U radu se prikazuje postupak određivanja svih potrebnih parametara, za usvojeni model sile rezanja koju čini: (i) komponenta proporcionalna preseku strugotine koja se prikazuje kao proizvod širine rezanja,  $b$ , i debljine rezanog sloja,  $a$  u zoni smicanja,  $F_c$  i (ii) komponenta ivične sile,  $F_e$  [5, 6]. Tako su izrazi za glavnu silu i silu prodiranja kod ortogonalnog rezanja:

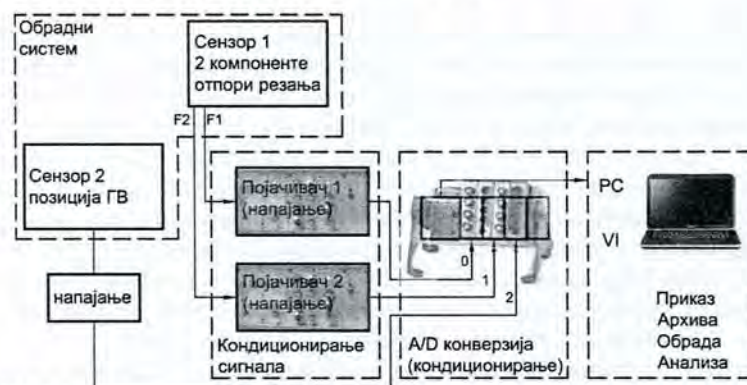
$$F_1 = F_{1c} + F_{1e} = K_{1c}ab + K_{1e}b \quad (1)$$

$$F_2 = F_{2c} + F_{2e} = K_{2c}ab + K_{2e}b \quad (2)$$

Specifični otpori rezanja, ( $K_{ic}$ ) se izražavaju u funkciji napona smicanja, grudnog ugla, materijala obratka i osrednjenog koeficijenta trenja između strugotine i grudne površine alata. Koeficijenti ivičnih sila ( $K_{ie}$ ) se nalaze iz eksperimenata rezanja ekstrapolacijom izmerenih sila za nultu dubinu rezanja.

## 2. EKSPERIMENTI ORTOGONALNOG STRUGANJA

Svaki proces obrade rezanjem zahteva određeno dejstvo spoljašnje sile za uklanjanje materijala. Praćenje sila u obradi rezanjem istraživači intenzivno koriste radi provere analitičkih modela procesa, otkrivanja otkaza alata itd.



Slika 1. Model merno-akvizicionog sistema za merenje otpora rezanja pri ortogonalnom struganju

Na slici 1 prikazan je model korišćenog merno-akvizicionog sistema za merenje otpora rezanja pri ortogonalnom rezanju na obradnom sistemu KNU revolver struga. Ovako postavljeni sistem karakterišu sledeće celine:

- proces ortogonalnog struganja koji se odvija u okviru njegovog obradnog sistema;
- senzori mernih signala otpora rezanja (dinamometar);
- beskontaktni prekidač;
- pojačivači signala i njihova napajanja (kondicioniranje signala);

- akvizicioni modul (A/D konverzija, takođe poseduje i mogućnost kondicioniranja signala);
- kompjuter sa programskom podrškom sistemu kroz virtuelnu instrumentizaciju za prikaz signala, njegovo arhiviranje, a potom, obradu i analizu.

Eksperimenti su izvedeni u Zavodu za mašine alatke (ZMA), na Katedri za proizvodno mašinstvo Mašinskog fakulteta u Beogradu, uz sledeće faze:

- formiranje plana eksperimenata,
- pripremanje obradnog sistema: revolver struga POTISJE PH42 CNC na koji se postavlja dinamometar i priprema oblika cevi od čelika Č4320,
- instaliranje sistema za akviziciju podataka i kalibracija dinamometra,
- izvođenje eksperimenata prema formiranom planu uz prikupljanje i numerisanje strugotine.

### 2.1. Plan eksperimenta

U identifikaciji pokazatelja otpora rezanja (glavnog otpora i otpora prodiranja) izvršeno je ortogonalno rezanje cevastog priprema prečnika 85 mm i debljine zida 2,1mm uzdužnim kretanjem. Korišćeni su alati sa četiri različita grudna ugla ( $5^{\circ}$ - $20^{\circ}$ ). Brzina obrade je varirana u opsegu od 10 do 40 m/min čime je pokrivena većina zahvata obrade rezanjem korišćene grupe materijala i alatima od brzoreznog čelika prema tablicama preporučeni vrednosti [8]. Korak je variran od 0,01 do 0,15 mm/o, što pri ortogonalnom rezanju predstavlja i debljinu rezanog sloja. Širina obrade je jednaka debljini zida priprema: 2,1mm.



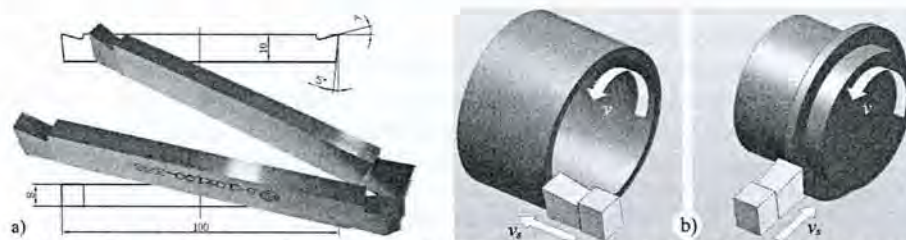
Slika 2. Prikaz obradnog i merno-akvizicionog sistema

Ortogonalno rezanje je izvođeno sa datim parametrima obrade na dužini 10 koraka da bi bilo vremena da se otpori rezanja ustale. Da bi se pokazalo postojanje ivičnih sila, po dostizanju krajnje tačke obrade, alat je ostajao u toj tački još nekoliko obrta glavnog vretena, i tek onda pozivao u novu početnu tačku. Habanje alata je kontrolisano kontaktnim mikroskopom da bi se uverili da nema značajnog uticaja na sile rezanja.

### 2.2 Obradni sistem NU struga

**Podsistem alata.** Za potrebe eksperimenta korišćeni su strugarski noževi za zahvate usecanja, uz čiju upotrebu u zahvatu uzdužnog struganja prstenaste površine cevi se obezbeđuje proces ortogonalnog rezanja. Treba koristiti alate bez lomača strugotine i sa ravnom grudnom površinom. Materijal strugarskih noževa je isti kao materijal od koga se proizvode ureznici za koje je kasnije formiran model sila, a to je brzorezni čelik Č9780 (HSS-E, EMo5Co5). Projektovani su i izrađeni strugarski noževi dimenzija

8×10×100 mm, sa 4 različita grudna ugla ( $\gamma=5^\circ, 10^\circ, 15^\circ$  i  $20^\circ$ ), leđnim uglom  $\alpha=5^\circ$  i oštrim vrhom. Strugarski nož sa grudnim uglom  $\gamma=5^\circ$ , prikazan je na slici 3a. Termička obrada izrađenih strugarskih noževa izvršena je na isti način kao što se sprovodi i za ureznike koji su kasnije bili testirani.



Slika 3. Strugarski noževi za ortogonalno rezanje izrađeni od materijala Č9780 (a), Primeri ortogonalnog rezanja kod struganja, uzdužno i poprečno (b)

**Podsistem pribora.** Obzirom da se u eksperimentu koristi dinamometar, koji nije predviđen za posebne namene, potrebno je bilo konstruisati i izraditi držač alata (strugarskog noža) kao i držač samog dinamometra u nosaču alata, tj. revolveru korišćenog KNU revolver struga. Pomoćni pribor se može videti na slici 2b.

**Podsistem obratka.** Kao pripremak je korišćena cev spoljnjeg prečnika 85mm i debljine 2.1mm. Materijali priprema u eksperimentima bili su legirani čelik za cementaciju Č4320 i legirani čelik za poboljšanje Č4732.

**Obradni proces.** U procesu obrade, u ovom slučaju struganja, vrši se transformacija obratka u smislu promene fizičko hemijskih svojstava, oblika, mera i dr. pri čemu se kao posledica dejstva sila rezanja pojavljuju otpori rezanja. Ortogonalno rezanje može biti izvedeno na dva načina, poprečno i uzdužno slika 3b, i tada se javljaju samo dve komponente otpora rezanja. Pravac vektora pomoćnog kretanja poklapa sa pravcem koji je upravan na obrađenu površinu. Dubina obrade je jednaka koraku ortogonalnog struganja.

### 2.3 Sistem za akviziciju podataka

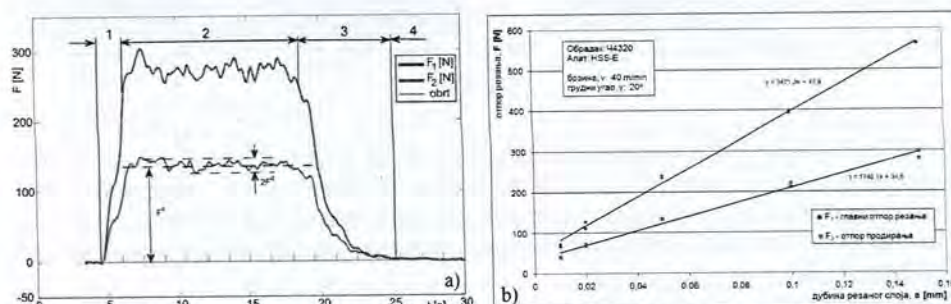
Za merenje otpora rezanja korišćen je dvokomponentni dinamometar konstruisan i izrađen u ZMA, merni pojačivači KWS 3082-A firme HBM, akvizicioni sistem kompanije NI - *National Instruments* koji se sastoji iz NI CompactDAQ USB cDAQ-9174 sa modulom NI 9215 za analogni ulaz napona  $\pm 10V$ , 16-o bitni sa 4 kanala i 100 kS/s/ch i laptop računar sa *Windows 7* operativnim sistemom i instaliranim softverom za akviziciju podataka *LabVIEW*.

Nakon izvršenih faza stvoreni su neophodni uslovi za obradu dobijenih rezultata i izvođenje odgovarajućih zaključaka, obzirom da su izlazi iz poslednje faze izvođenja eksperimenata datoteke sa eksperimentalnim rezultatima.

### 3. OBRADA REZULTATA MERENJA

Na slici 4a prikazan je jedan karakteristični zapis otpora rezanja. U trenutku početka obrade i dejstva alata na obradak, otpori rezanja počinju da rastu kako se dubina rezanja povećava do svoje maksimalne vrednosti koja je jednaka zadatom koraku obrade (zona 1) i nastavljaju da osciliraju oko konstantne vrednosti u daljem procesu obrade (zona 2). U ovoj zoni se uočava dinamički karakter otpora rezanja koji se ogleda u odstupanju

signala od neke srednje, statičke vrednosti [7]. Kada se dostigne zadata dužina obrade, dubina rezanja se u sledećem obrtu smanjuje do nule, a alat zadržava u dostignutoj poziciji, tako se i otpori smanjuju (zona 3), ali do određene konačne vrednosti koje se identifikuju kao *ivični otpori* [5, 6]. U trenutku vraćanja alata u početnu tačku za obradu sledećeg zahvata, otpori rezanja nestaju. Za svaki od preko 150 eksperimenata, koji su izvedeni alatima sa različitim grudnim uglovima, koracima i brzinama rezanja, izvršeno je osrednjavanje otpora rezanja u središnjem delu zone konstantnih vrednosti i proračunavanje debljine strugotine. Na slici 4b je prikazan dijagram zavisnosti sila od dubine za brzinu 40 m/min i grudni ugao 10°.



Slika 4. Karakterističan zapis otpora rezanja (a), Trend otpora rezanja za  $\gamma=20^\circ$  i  $v=40\text{m/min}$  (b)

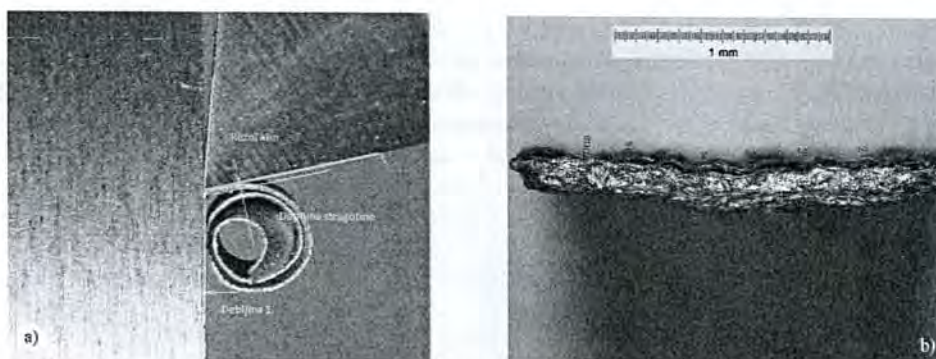
#### Određivanje koeficijenta sabijanja strugotine

Prilikom izvođenja eksperimenata, uzimani su uzorci strugotine, koja je numerisana i odlagana da bi se odredila njena debljina. Širina obrade struganjem je bila 2,1mm i pretpostavljeno je da je to i širina strugotine. Obrada je izvođena bez sredstava za hlađenje i podmazivanje (SHP). Strugotina je u eksperimentima sa materijalom obratka Č4320 i materijalom alata od brzoreznog čelika, bila neprekidna.

Za eksperimentalno određivanje koeficijenta sabijanja strugotine postoji više metoda, među kojima su najpoznatije zapreminska, masena i direktna metoda ili metode koje koriste savremeniju opremu

Fotografisanjem zone rezanja (slika 5a), ili snimanjem brzom kamerom (kamera sa mnogo većim brojem frejmova u sekundi od standardnih koje daju 30 frejmova i namenjene su za normalnu reprodukciju), moguće je prilikom samog procesa obrade identifikovati proces stvaranja strugotine, a kasnije sa fotografije, odnosno frejma video zapisa, doći do odnosa dubine obrade i debljine strugotine, što i jeste koeficijent sabijanja strugotine  $r_c$ .

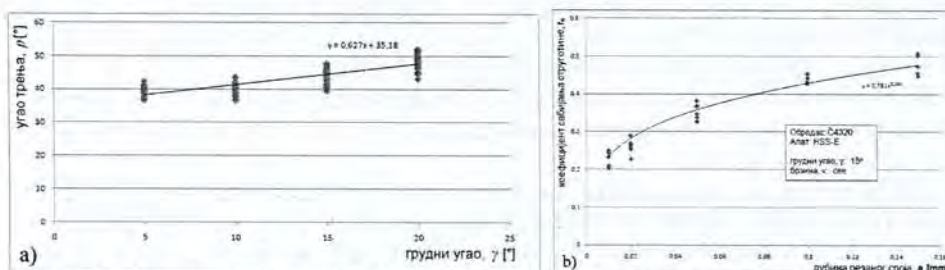
Uz korišćenje mikroskopa, ili u poslednje vreme sve pristupačnijih mikroskopskih kamera (kamere rezolucije 2-5 MPix, uvećanja do 500 puta koja se povezuju sa računarom preko USB priključka), kalibrisane pločice za mikroskope sa podelom od 0,01 mm i pomoćnog pribora u koji se bazira strugotina, moguće je odrediti debljinu strugotine po njenom preseku. Obzirom da se ovakvom kamerom mogu sačuvati slike strugotine, uz odgovarajući softver na takvim slikama je posle kalibracije moguće direktno očitavati rastojanja, zakrivljenosti i slično (slika 5b).



Slika 5. Fotografija zone rezanja (a), Presek strugotine snimljen mikroskopskom kamerom (b)

Svaka od ovih metoda ima svojih mana koje dovode do nepreciznosti u izračunavanju debljine strugotine. U radu je korišćena kombinacija masene i direktne metode uz upoređenje rezultata sa fotografskom metodom u ograničenom broju eksperimenata. Na osnovu izmerenih sila i debljina strugotine, dolazimo do parametara potrebnih za analitički opis sila:

- Osrednjena vrednost napona smicanja,  $\tau_s = 558 \text{ N/mm}^2$ .
- Ugao trenja  $\rho = 35.18 + 0.627\gamma$ . Linearna zavisnost dobro opisuje ovu promenu koja je prikazana na slici 6a.
- Koeficijent sabijanja strugotine  $r_c = C_0 h^C$ , gde je  $C_0 = 0.942 - 0.012 \gamma$ , a  $C_1 = 0.391 - 0.01 \gamma$ . Na slici 6b je prikazana zavisnost za  $\gamma = 15^\circ$  za koju je  $r_{c(15)} = 0.781 h^{0.26}$ .
- Srednje vrednosti koeficijenata ivičnih sila  $K_{1e} = 28.8 \text{ N/mm}$  i  $K_{2e} = 21.5 \text{ N/mm}$ .



Slika 6. Zavisnost ugla trenja od grudnog ugla (a), Zavisnost koeficijenta sabijanja strugotine od dubine rezanja za grudni ugao od  $15^\circ$  (b)

Da bi se izvršila predikcija sila kosog rezanja uvode se sledeće pretpostavke: napon smicanja i koeficijent trenja su isti kod kosog i ortogonalnog rezanja; ugao smicanja i grudni ugao orto-gonalnog rezanja poistovećuju se sa uglom smicanja i grudnim uglom u ravni  $P_n$  (upravnoj na sečivo); ugao odvođenja strugotine jednak je uglu između sečiva i pravca brzine rezanja.

#### 4. ZAKLJUČAK

Dobijeni parametri kroz eksperiment ortogonalnog rezanja iskorišćeni su za identifikaciju procesa urezivanja navoja, ali mogu da se iskoriste za predikciju sila i momenata svih tipova obrade rezanjem za istu kombinaciju materijala alata i obratka.

Eksperimenti su izvođeni u laboratoriji Katedre za proizvodno mašinstvo. Posebna pažnja je posvećena obezbeđenju visoke efikasnosti i tačnosti dobijenih rezultata merenja, racionalnom korišćenju vremenskih resursa laboratorije, jednostavnosti upotrebe i lakoj prenosivosti sistema sa jedne mašine alatke na drugu, kao i upotrebi programa koja će olakšati korišćenje kompjutera u akviziciji, obradi i analizi podataka.

#### LITERATURA

- [1] Stanić, J., *Teorija obrade metala I*, Mašinski fakultet, 1989
- [2] Altintas, Y., Brecher, C., Weck, M., Witt, S., Virtual Machine Tool, *Cirp Annals-Manufacturing Technology*, vol. 54, no. 2, pp. 115-138, 2005
- [3] Altintas, Y., *Manufacturing Automation*, Cambridge University Press, UK, 2012
- [4] Armarego, E.J.A., The unified-generalized mechanics of cutting approach – a step towards a house of predictive performance models for machining operations, *Machining Science and Technology*, 4:3, 319-362, 2000
- [5] Guo, Y.B., Chou, Y.K., The determination of ploughing force and its influence on material properties in metal cutting, *Journal of Materials Processing Technology* 148, pp.368–375, 2004
- [6] Waldorf D.J., A Simplified Model for ploughing forces in turning, *Journal of Manufacturing Processed*, Vol.8/No.2, pp.76-82, 2006
- [7] Lazić, M., *Tehnologija obrade metala rezanjem*, Mašinski fakultet u Kragujevcu i Jugoslovensko društvo za tribologiju, Kragujevac, 2002
- [8] Kalajdžić, M., i ostali, *Tehnologija obrade rezanjem - Priručnik*, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Beograd, 2012

### ORTHOGONAL TURNING EXPERIMENTS FOR PREDICTING THE CUTTING FORCES

#### *Abstract*

*In this paper the cutting coefficients were identified using the orthogonal cutting mechanics which are used in predicting the cutting forces and torque. The force and torque acting on a cutting tool during the process are of fundamental importance in the design of cutting tools. All cutting operations share the same principles of mechanics of cutting, but their geometry and kinematics are different. The first step in the prediction of forces acting on a cutting tool is to consider a relatively simple orthogonal cutting process in which the cutting edge is perpendicular to the cutting speed and the deformation occurring in the plane, in order to continue to use the results of this analysis as a base for the development of a much more general case of oblique cutting, where the edge is angled to the cutting speed.*

**Keywords:** *prediction, orthogonal and oblique cutting, forces and torque, tool*