

UNIVERZITET U NOVOM SADU



FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA
INSTITUT ZA PROIZVODNO
MAŠINSTVO

24. SAVETOVANJE PROIZVODNOG
MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE

ZBORNIK RADOVA

KNJIGA I

Novi Sad, 16-18. septembar 1992

UNIVERZITET U NOVOM SADU



FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA
INSTITUT ZA PROIZVODNO
MAŠINSTVO

**24. SAVETOVANJE PROIZVODNOG
MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE**

Novi Sad, 16-18. septembar 1992

ZBORNIK RADOVA

KNJIGA I

INSTITUT LA FARMACOLOGICA
MADRID

INSTITUT LA FARMACOLOGICA
MADRID

INSTITUT LA FARMACOLOGICA
MADRID

INSTITUT LA FARMACOLOGICA
MADRID

INSTITUT LA FARMACOLOGICA
MADRID

INSTITUT LA FARMACOLOGICA
MADRID

SUORGANIZATORI

1. **NOVOSADSKI SAJAM**, 21000 Novi Sad,
Hajduk Veljkova 11, tel. (021) 55-155, telex: 14180 sajam YU, Telefax (021) 616-121
2. **D.D. LIVNICA KIKINDA**, 2330 Kikinda,
Miloševački put b.b. Tel. (0230) 22-860, telex: 15519 i 15534, telefax: (0230) 26-743

POKROVITELJI SAVETOVANJA

1. **MINISTARSTVO ZA NAUKU I TEHNOLOGIJU REPUBLIKE SRBIJE**
2. **VOJVOĐANSKA BANKA**

ZBORNİK UREDILI:

VLADO VUJOVIĆ
MIROSLAV PLANČAK
JANKO HODOLIČ

PROGRAMSKI (NAUČNI) ODBOR

1. Prof. dr Vladimir Šolaja, predsjednik
2. Prof. dr Ratko Gatalo, zamenik predsjednika
3. Akademik prof. dr Dragutin Zelenović
4. Dr Ratko Uzunović, pomoćnik ministra
5. Prof. dr Vladimir Milačić
6. Prof. dr Branko Ivković
7. Prof. dr Vlado Vujović
8. Prof. Dr Sava Sekulić
9. Prof. dr Jožef Rekecki
10. Prof. dr Jelena Stankov
11. Prof. dr Predrag Popović
12. Prof. dr Branislav Devedžić
13. Prof. dr Milisav Kalajdžić
14. Prof. dr Joko Stanić
15. Prof. dr Dragoje Milikić
16. Prof. dr Milan Jurković
17. Prof. dr Vuko Domazetović
18. Prof. dr Vlastimir Palić
19. Prof. dr Aristid Perić
20. Prof. dr Vučko Mečanin
21. Prof. dr Sreten Urošević
22. Prof. dr Vladimir Mitković
23. Prof. dr Slavko Arsovski
24. Prof. dr Risto Kovač
25. Prof. dr Ivica Glavardanov
26. Prof. dr Ranko Rakanović
27. dr Ljubomir Lukić

ORGANIZACIONI ODBOR

1. Prof. dr Vlado Vujović, predsjednik
2. Prof. dr Miroslav Plančak, sekretar
3. Prof. dr Dragoje Milikić
4. Prof. dr Damir Kakaš
5. Prof. dr Ilija Ćosić
6. Doc. dr Janko Hodolić
7. Doc. dr Dragiša Vilotić
8. Doc. dr Sabo Bela
9. Mr Katarina Gerić
10. Mr Ilija Trbojević
11. Mr Milorad Rodić
12. Mr Nemanja Pavlović
13. Plavka Francuski
14. Julija Fišl
15. Milanko Manevski
16. Branislav Mazalica
17. Momir Dačević
18. Mr Maja Timotijević

RUKOVODIOCI SEKCIJA

1. Doc. dr Dragiša Vilotić, Tehnologija plastičnosti
2. Prof. dr Dragoje Milikić, Tehnologija obrade meta rezanjem
3. Doc. dr Sabo Bela, Materijali, termička obrada, livenje i zavarivanje
4. Doc. dr Janko Hodolić, Primena računara u projektovanju proizvoda i tehnologija
5. Doc. dr Branislav Borovac, Robotika
6. Prof. dr Sava Sekulić, Sistemi, sistematsko projektovanje i organizovanje

DOSADA ODRŽANA SAVETOVANJA PROIZVODNOG MAŠINSTVA

| | | | | | |
|------|------------|------|-------|------------|---------------------|
| I | BEOGRAD | 1965 | XIII | BANJA LUKA | 1979 |
| II | ZAGREB | 1966 | XIV | ČAČAK | 1980 |
| III | LJUBLJANA | 1967 | XV | NOVI SAD | 1981 |
| IV | SARAJEVO | 1968 | XVI | MOSTAR | 1982 |
| V | KRAGUJEVAC | 1969 | XVII | BUDVA | 1983 |
| VI | OPATIJA | 1970 | XVIII | NIŠ | 1984 |
| VII | NOVI SAD | 1971 | XIX | KRAGUJEVAC | 1985 |
| VIII | LJUBLJANA | 1973 | XX | BEOGRAD | 1986 |
| IX | NIŠ | 1974 | XXI | OPATIJA | 1987 |
| X | BEOGRAD | 1975 | XXII | OHRID | 1989 |
| XI | OHRID | 1977 | XXIII | ZAGRAB | nije održano (1991) |
| XII | MARIBOR | 1978 | | | |

PLAKETA „PROF. DR PAVLE STANKOVIĆ”

Odlukom Zajednice institucija proizvodnog mašinstva Jugoslavije ustanovljena je 1983. godine. Plaketa „PROF. DR PAVLE STANKOVIĆ”, koja se dodeljuje svake, odnosno svake druge godine.

Dosadašnji dobitnici ovog značajnog priznanja su:

Za 1983: Prof. dr Rudolf Zdenković, Prof. dr Vladimir Šolaja, Prof. Julije Kimer

Za 1984: Prof. Dr. Janez Paklenik, Prof. dr Binko Musafija

Za 1985: Prof. dr Predrag Popović, Prof. dr Vladimir Milačić

Za 1986: Prof. dr Branko Ivković, Prof. dr Strezo Trajkovski

Za 1987: Prof. dr Svetislav Zarić, Prof. dr Josip Hribar

Za 1988: Prof. dr Branislav Devedžić, Prof. dr Elso Kuljanić i Prof. dr Zoran Seljak

RECENZENTI

1. Za Tehnologiju plastičnosti

1. Prof. dr. Miroslav Plančak
2. Doc. dr. Dragiša Vilotić

2. Za Tehnologiju obrade metala rezanjem

1. Prof. dr. Dušan Vukelja
2. Prof. dr. Dragoje Milikić

3. Za Materijale, Termičku obradu, livenje i zavarivanje

1. Prof. dr. Leposava Šidanić
2. Prof. dr. Damir Kakaš
3. Prof. dr. Risto Kovač
4. Doc. dr. Sabo Bela

4. Za Primenu računara u projektovanju proizvoda i tehnologije

1. Prof. dr. Ratko Gatalo
2. Doc. dr. Majstorović Vidosav
3. Doc. dr. Janko Hodolić

5. Za Robotiku

1. Prof. dr. Miomir Vukobratović
2. Doc. dr. Branislav Borovac

6. Za Sisteme, sistematsko projektovanje i organizovanje

1. Prof. dr. Ilija Ćosić
2. Prof. dr. Savo Sekulić



PROF. DR BRANISLAV DEVEDŽIĆ

Profesor Branislav Devedžić rođen je 1930. godine u Kragujevcu. Studirao je na Mašinskom fakultetu u Beogradu, gde je diplomirao 1956. godine. Kao inženjer radio je u Zavodima "Crvena zastava" u Kragujevcu na poslovima vezanim za obradu metala plastičnim deformisanjem i to, najpre, kao prvi inženjer u Kovačnici, a zatim u Preseraju Fabrike automobila. Ovaj deo njegove stručne delatnosti odnosio se, kako na rešavanje brojnih tehnoloških problema tekuće proizvodnje, tako i na projektovanje novih proizvodnih kapaciteta, s obzirom da su se u tim godinama Zavodi "Crvena zastava" naglo širili, jer se zapravo zasnivala moderna domaća automobilska industrija. Već u tom periodu inž. Devedžić pokazuje širi interes od onog koji zahteva uobičajeno rutinsko izvršavanje inženjerskih zadataka. Pored ostalog, on pokreće samostalnu inicijativu za izvođenje različitih opitno-istraživačkih analiza, intenzivno prati inostrane časopise, objavljuje svoje prve stručne publikacije, nastavlja usavršavanje svetskih jezika i dr. Njegovom stručnom usavršavanju doprinosili su i duži specijalistički i drugi boravci u nekoliko razvijenih zemalja.

Prvih dana po osnivanju Odeljenja Mašinskog fakulteta u Kragujevcu 1960. godine, uključuje se u njegov rad kao honorarni asistent, nastavljajući istovremeno rad u industriji i objavljujući svoje radove u časopisima. Već 1963. god., uz ličnu podršku profesora Pavla Stankovića, formira osnovnu ideju o izradi svoje doktorske disertacije. Polovinom 1964. godine, izabran je za stalnog predavača na Mašinskom fakultetu u Beogradu - Odeljenje u Kragujevcu, zbog čega prekida stalni radni odnos u industriji, odnosno definitivno prelazi na Fakultet, kao jedan od prvih četiri nastavnika na tadašnjem Odeljenju u Kragujevcu. 1969. godine odbranio je doktorsku disertaciju na Mašinskom fakultetu u Beogradu i tako postao prvi doktor tehničkih nauka u Kragujevcu i jedan od prvih iz oblasti plastičnog deformisanja metala u zemlji. Pri prelasku na Fakultet, na izričit zahtev Fabrike automobila u Kragujevcu, zadržan je kao spoljni stručni saradnik, tako da je u toku više narednih godina povremeno aktivno učestvovao u rešavanju brojni složenih problema svoje ranije radne organizacije, a posebno problema obradivosti karoserijskog lima. Tako je, pored ostalog, 1970. godine, primenjujući sopstveni

model, odnosno originalan kriterijum obradivosti, razvijen u doktorskoj tezi, omogućio pouzdano prethodno definisanje proizvodnih performansi karoserijskih limova, isporučivanih u to vreme od strane većeg broja inostranih proizvođača, a time i smanjenje tadašnjeg izuzetno velikog broja neispravnih ispresaka za nekoliko puta.

Na Mašinskom fakultetu u Kragujevcu obavljao je u toku tri decenije, praktično sve nastavne, istraživačke i vannastavne poslove. Bio je prvi zamenik Starešine odeljenja, kasnije prodekan i dekan Mašinskog fakulteta, šef Katedre za proizvodno mašinstvo i dr. Oformio je Laboratoriju za obradu metala deformisanjem, kao i Laboratoriju za ispitivanje mašinskih materijala, objavio veći broj udžbenika i monografija, izvršio samostalno ili sa saradnicima, veliki broj istraživanja u okviru odgovarajućih projekata ili prema posebno ukazanim potrebama, objavio veliki broj radova, držao posle diplomsku nastavu na više univerziteta u zemlji, aktivno učestvovao na brojnim stručnim skupovima u zemlji i inostranstvu, uspostavio mnoge veze sa inostranim institucijama i istaknutim naučnim pregoocima, itd. Našoj zajednici je poznata njegova dugogodišnja aktivnost, ne samo kao člana Izvršnog Odbora, već i kao autora brojnih referata na najvećem broju dosadašnjih savetovanja.

Treba istaći da je prof. Devedžić lično inicirao osnivanje Jugoslovenske istraživačke grupe za obradu lima, tako da je od početka njen rukovodilac. Daljim njegovim ličnim angažovanjem uspeo se da ova grupa bude zvanično primljena u najpoznatiju svetsku istraživačku organizaciju u ovoj oblasti - Internacional Deep Drawing Research Group. Na više kongresa i sastanaka radnih grupa ove organizacije učestvovao je sa svojim radovima.

Osim toga, poslednjih godina veoma se angažovao na povezivanju pojedinih naših članica i istraživača u njima sa odgovarajućim institucijama i kolegama u DDR-u i SSSR-u.

Prof. Devedžić je autor velikog broja naučno-istraživačkih radova koji su saopštavani i objavljivani, kako u zemlji, tako i u SAD, Engleskoj, SR Nemačkoj, DDR, Austriji, Belgiji, Čehoslovačkoj, zatim 14 udžbenika i monografija, kao i brojnih ostalih stručnih publicističkih priloga, tako da se broj njegovih bibliografskih jedinica penje na preko sto. Osim toga, on je bio aktivan učesnik, a često i rukovodilac u preko 20 naučno-istraživačkih ili značajnijih stručnih projekata.

Pored plodne stručne i naučne delatnosti, prof. Devedžić je takode aktivno učestvovao u najrazličitijim društvenim poslovima, ne samo na Fakultetu, već i na Univerzitetu, Opštini Kragujevac, Republičkoj zajednici nauke i dr. Bio je, pored ostalog, član republičke komisije za programiranje nauke. Nosilac je diplome zaslužnog građanina grada Kragujevca.

Rezimirajući stručne naučne i društvene aktivnosti prof. Devedžića, koje traju već 35 godina, kao i impozantne rezultate nastale iz nje, može se zaključiti da on pripada najužem krugu od samo nekolicine naših naučnih radnika, stasalih posle rata, koji su se prihvatili složenog zadatka da u našoj zemlji, a posebno na našim univerzitetima, postave osnove savremenog naučnog tretmana delikatnih problema u oblasti plastičnosti metala i time omoguću mladim generacijama naučno-istraživačkih radnika da se i sami dalje razvijaju, polazeći upravo od tih osnova.

Stoga i priznanje koje mu danas Zajednica odaje ima takode svoju objektivnu zasnovanost.

Sadržaj

Sekcija I

| | |
|---|----|
| ANALIZA DEFORMABILNOSTI | 1 |
| <i>Vlado Vujović, Miroslav Plančak, Dragiša Vilotić I</i> | |
| GRANIČNA DEFORMABILNOST LIMOVA PRI RAZLIČITIM ISTORIJAMA DEFORMISANJA | 11 |
| <i>Prof. dr Branislav Devedžić</i> | |
| UTICAJ ENERGETSKOG KONCEPCIJSKOG REŠENJA MAŠINA ZA OBRADU DEFORMISANJEM NA NJIHOVU MOGUĆU FLEKSIBILNOST | 21 |
| <i>Dr. Predrag V. Popović, red.prof., Mašinski fakultet Univerziteta u Nišu</i> <i>Dr Dragan I. Temeljovski, docent Mašinskog fakulteta Univerziteta u Nišu</i> | |
| METOD KONAČNIH ELEMENATA U ANALIZI OBRADE PLASTIČNIM DEFORMISANJEM | 29 |
| <i>Prof. dr Milisav Kalajdžić, dipl. maš. inž.</i> | |
| MOGUĆNOST ODREĐIVANJA KONTAKTNIH NAPONA KOD ZAPREMINSKOG DEFORMISANJA | 37 |
| <i>Plančak M., Vilotić D., Trbojević I.,</i> | |
| KONCEPT EKSPERTNOG SISTEMA ZA PROJEKTOVANJE TEHNOLOGIJE KOVANJA PRIZMATIČNIH OTKOVAKA | 45 |
| <i>Dr Vojislav Stojković, red. prof., Mašinski fakultet Univerziteta u Nišu</i> <i>Mr Milan Krstić, dipl. inž., IMK "14. Oktobar", Kruševac</i> <i>Mr Antonija Mitrović, asist., Elektronski fakultet Univerziteta u Nišu</i> | |
| FIZIČKO MODELIRANJE TOPLE OBRADE -neka rešenja za 2D probleme | 53 |
| <i>Dr Milentije Stefanović, vanr.prof., Vesna Vasiljević, dipl.ing, asistent,</i> <i>Mašinski fakultet u Kragujevcu</i> | |
| ANALIZA NAPONSKOG STANJA KOD SLOBODNOG SABIJANJA VALJKA KONUSNIM PLOČAMA | 61 |
| <i>D. Vilotić, I. Trbojević, P. Francuski</i> <i>Institut za proizvodno mašinstvo Novi Sad</i> | |
| ODREĐIVANJE NAPONSKOG INDEKSA I GRANICE DEFORMABILNOSTI PRI OBRADI VUČENJEM | 69 |
| <i>Ilija Trbojević, Vlado Vujović, Plavka Francuski</i> | |

| | |
|--|----|
| PROBLEM PROSTIRANJA PLASTIČNE ZONE I NJENE GRANICE | 79 |
| <i>Francuski P., Vujović V., Plančak M.</i> | |

| | |
|--|----|
| PRILOG RAZVOJU TEHNOLOGIJE OBLIKOVANJA PRAŠKASTIH MATERIJALA SA ASPEKTA PERSPEKTIVNOSTI U ODNOSU NA KLASIČAN OBLIK OBRADE DEFORMISANJEM MONOLITNIH MATERIJALA | 87 |
| <i>Dr Ljubomir Bogdanov, dipl.maš.ing.</i> | |
| <i>MIN INSTITUT DD, Niš, Višegradska 33</i> | |

| | |
|---|----|
| SINTER-KOVANJE OSNOVI TEHNOLOŠKOG POSTUPKA I PRIMENA | 95 |
| <i>Mr. STJEPAN M.PANIC, dipl.mas.ing "SINTER" M.d.d.UZICE</i> | |

| | |
|---|-----|
| ANALIZA UTICAJA OJAČAVANJA MATERIJALA NA PROCES DUBOKOG IZVLAČENJA | 105 |
| <i>dr Velibor Marinković, vanr.prof. Mašinski fakultet u Nišu</i> | |

| | |
|---|-----|
| PROBLEM NEUJEDNAČENOSTI REZULTATA EKSPERIMENTALNOG ODREĐIVANJA EKSPONENTA DEFORMACIONOG OJAČAVANJA KAROSERIJSKIH LIMOVA | 113 |
| <i>S.Aleksandrovi MASINSKI FAKULTET KRAGUJEVAC</i> | |

| | |
|--|-----|
| IZVLAČENJE KUTIJASTIH DELOVANESTIŠLJIVIM FLUIDOM | 121 |
| <i>Mr Rančić Bojan, asistent, Mašinski fakultet u Nišu</i> | |
| <i>Dr Vojislav Stoilković, red.prof., Mašinski fakultet u Nišu</i> | |

| | |
|---|-----|
| POVEĆANJE EFIKASNOSTI PROJEKTOVANJA ALATA ZA IZRADU CILINDRIČNIH DELOVA DUBOKIM IZVLAČENJEM PRIMENOM PERSONALNIH RAČUNARA | 131 |
| <i>dr. Ljubomir Janković, v.prof. Mašinski fakultet u Nišu,</i> | |
| <i>Predrag Janković, dipl. maš. ing</i> | |

| | |
|--|-----|
| ANALIZA PRITISAKA, SILA I MOMENATA UVIJANJA NA VALJCIMA PRI IZRADI LIMENIH KORITASTIH PROFILA | 137 |
| <i>Dr Dragolub B. Lazarević, docent Mašinskog fakulteta Univerziteta u Nišu</i> | |
| <i>Mr Miroslav R. Radovanović, asistent Mašinskog fakulteta Univerziteta u Nišu</i> | |
| <i>D.Lazarević, M.Radovanović</i> | |

| | |
|--|-----|
| PRILOG RAZMATRANJU PROBLEMA HABANJA REZNIH ELEMENATA ALATA ZA PROSECANJE I PROBIJANJE | 145 |
| <i>Dr Tomislav Todić, docent Mašinskog fakulteta u Prištini</i> | |

| | |
|--|-----|
| UTICAJ ZAZORA I POLUPREČNIKA PROFILA NA POSTOJANOST ALATA U PROCESU RAZDVAJANJA DINAMO LIMA | 151 |
| <i>Rozgonji Endre, "SEVER" Subotica</i> | |
| <i>Plančak Miroslav, FTN-Institut za proizvodno mašinstvo Novi Sad</i> | |

| | |
|--|-----|
| KOMPJUTERSKO UPRAVLJANJE LINIJOM ZA LABORATORIJSKA ISTRAŽIVANJA PROCESA VALJANJA I IZVLAČENJA | 157 |
| <i>Vučko Mečanin, Milan Jurković, Ranko Rakanović Mašinski fakultet Kraljevo</i> | |

| | |
|---|-----|
| PRILOG RAZMATRANJU PROBLEMA SISTEMA MAŠINA-ALAT I STEPENA NJIHOVE FLEKSIBILNOSTI U TEHNOLOGIJAMA PLASTIČNOSTI | 165 |
| <i>Dr. Dragan I. Temeljkovski, Dr Predrag V. Popović</i> | |

| | |
|---|-----|
| PRILOG RAZMATRANJU PROBLEMA DIREKTNE AMORTIZACIJE ČEKIĆA. | 171 |
| <i>Dr. Ljubodrag Đorđević, docent Mašinskog fakulteta u Kraljevu</i> | |
| <i>Dr Predrag V. Popović, red profesor Mašinskog fakulteta u Nišu</i> | |
| <i>Mr. Krzysztof Sattelmeir, INSTITUT BISTYP, Warszawa Mr. Milan</i> | |
| <i>Krstić, dipl. maš. ing. IMK "14 OKTOBAR" - Kruševac</i> | |

| | |
|---|-----|
| NOSEĆE STRUKTURE MAŠINA U TEHNOLOGIJAMA PLASTIČNOSTI OD KOMPOZITNIH MATERIJALA | 181 |
| <i>Dr. Dušanka M. Vukićević</i> | |

| | |
|---|-----|
| RAZVOJ NOVE METODE ZA MERENJE ZAOSTALIH NAPONA STVORENIH DEFORMACIONIM OJAČANJEM - HAPŠENJEM PRITISNO-ZAVOJNIH OPRUGA | 187 |
| <i>Mr. Miodrag Milošević, dipl.ing. Viša tehnička škola,</i> | |
| <i>Španskih boraca 8, 34000 Kragujevac</i> | |
| <i>Dr Ilija Šijan, dipl.ing. FNP, ZASTAVA,</i> | |
| <i>Španskih boraca 4, 34000 Kragujevac</i> | |
| <i>Andrija Savčić, dipl.ing. Institut za automobile, ZASTAVA,</i> | |

CONSTITUTIONAL AND LEGISLATIVE HISTORY OF THE
UNITED STATES OF AMERICA
1789-1890

THE CONSTITUTION OF THE UNITED STATES OF AMERICA
AS AMENDED

THE CONSTITUTION OF THE UNITED STATES OF AMERICA
AS AMENDED

THE CONSTITUTION OF THE UNITED STATES OF AMERICA
AS AMENDED

THE CONSTITUTION OF THE UNITED STATES OF AMERICA
AS AMENDED

THE CONSTITUTION OF THE UNITED STATES OF AMERICA
AS AMENDED

THE CONSTITUTION OF THE UNITED STATES OF AMERICA
AS AMENDED

THE CONSTITUTION OF THE UNITED STATES OF AMERICA
AS AMENDED

THE CONSTITUTION OF THE UNITED STATES OF AMERICA
AS AMENDED

THE CONSTITUTION OF THE UNITED STATES OF AMERICA
AS AMENDED

THE CONSTITUTION OF THE UNITED STATES OF AMERICA
AS AMENDED

THE CONSTITUTION OF THE UNITED STATES OF AMERICA
AS AMENDED

THE CONSTITUTION OF THE UNITED STATES OF AMERICA
AS AMENDED

THE CONSTITUTION OF THE UNITED STATES OF AMERICA
AS AMENDED

THE CONSTITUTION OF THE UNITED STATES OF AMERICA
AS AMENDED

THE CONSTITUTION OF THE UNITED STATES OF AMERICA
AS AMENDED

THE CONSTITUTION OF THE UNITED STATES OF AMERICA
AS AMENDED

THE CONSTITUTION OF THE UNITED STATES OF AMERICA
AS AMENDED

THE CONSTITUTION OF THE UNITED STATES OF AMERICA
AS AMENDED

THE CONSTITUTION OF THE UNITED STATES OF AMERICA
AS AMENDED

THE CONSTITUTION OF THE UNITED STATES OF AMERICA
AS AMENDED

Sadržaj

Sekcija II

| | |
|---|----|
| NOVE TEORIJSKE METODE POVEĆANJA POSTOJANOSTI REZNIH ALATA | 1 |
| <i>Dr Vujo Gordić, Mašinski fakultet Kraljevo</i> | |
| <i>Dr Vladimir Šolaja, Mašinski fakultet Beograd</i> | |
| <i>Dr Dušan Vukelja, Mašinski fakultet Kragujevac</i> | |
| ISTRAŽIVANJA PROCESA NASTAJANJA STRUGOTINE PRI OBRADI NA GLODALICI | 7 |
| <i>P.Kovač, L. Šidamir, D. Milikić;</i> | |
| OBRAZOVANJE STRUGOTINE PRI MIKROREZANJU KERAMIKE | 17 |
| <i>dr Ljubodrag Tanović, Mašinski fakultet - Beograd</i> | |
| <i>Prof dr Milenko Jovičić, Mašinski fakultet - Beograd</i> | |
| PRIMENA NOVIH MATERIJALA PRI OBRADI TEŠKO OBRADLJIVIH METALA I LEGURA | 23 |
| <i>Dr Milenko Jovičić, dipl.inž</i> | |
| <i>Mašinski fakultet u Beogradu</i> | |
| KOMPLEKSNO VREDNOVANJE REZNIH ALATA ZASNOVANO NA VEROVATNOSNOM PRINCIPU | 31 |
| <i>Dr SAVA St. SEKULIĆ</i> | |
| TEMPERATURA REZANJA PRI VISOKOUČINSKOM BRUŠENJU | 41 |
| <i>Milikić D., Drobnyak V., Kovač P., Gostinirović M.</i> | |
| UTICAJ TEHNOLOGIJE IZRADE NA TAČNOST ODVALNIH GLODALA | 49 |
| <i>V. Šimon, Tehnološki fakultet Univerziteta u Novom Sadu</i> | |
| UTVRĐIVANJE KORELACIONIH VEZA PARAMETARA REZANJA U OBRADI CILINDRIANIKI ODVALNIM GLOĐANJEM | 57 |
| <i>Vlastimir Pejić, FTN Institut za proizvodno mašinstvo Novi Sad</i> | |
| <i>Bogdan Sovilj,</i> | |
| ODREĐIVANJE PARAMETARA OBRADLJIVOSTI PRI BUŠENJU POLIMERNIH KOMPOZITNIH MATERIJALA OJAČANIH UGLJENINIM VLAKNIMA | 69 |
| <i>Sanja Janković, dipl.in., asistent-pripravnik</i> | |
| <i>Dr Miloš Glavonjić, dipl. inž., docent</i> | |
| POMAK KOD BUŠENJA VIŠESTEPENIH OTVORA U JEDNOJ OPERACIJI | 77 |
| <i>Zoran Kočović, dipl.ing. s</i> | |

| | | |
|---|--|-----|
| ✓ | MOGUĆI PRILAZI PRAĆENJU HABANJA ALATA MERENJEM PRIRAŠTAJA OTPORA REZANJA | 83 |
| | <i>Mr Bogdan Nedić, dipl. inž. Mašinski fakultet, Kragujevac</i> | |
| | <i>Mr Branko Tadić, dipl. inž. Mašinski fakultet, Kragujevac</i> | |
| | <i>Mr Zvonko Đorđević, dipl. inž. Mašinski fakultet, Kragujevac</i> | |
| ✓ | UTICAJ POHABANOSTI ALATA NA KVALITET OBRADENE POVRŠINE | 89 |
| | <i>B. Tadić, D. Karović, B. Nedić, S. Milutinović</i> | |
| ✓ | RAZVOJ MODELA HABANJA GLODALA KOD AC SISTEMA | 95 |
| | <i>Zvonko Djordjević, Slavko Arsović, Bogdan Nedić, Branko Tadić</i> | |
| | TEHNOEKONOMSKA OPTIMIZACIJA OBRADNIH PROCESA U TEŠKOJ MAŠINOGRADNJI | 103 |
| | <i>Vučko Mečanin, Ranko Rakanović, Ljubodrag Đorđević, Arandel Babić, Dragan Petrović</i> | |
| ✓ | TROŠKOVI OBRADE I OTPORI REZANJA U FUNKCIJI PRIMENE ALATA SA I BEZ PREVLAKA | 111 |
| | <i>D. Karović, B. Tadić, B. Nedić, M. Erić</i> | |
| | EKSPLOATACIONE KARAKTERISTIKE FELLOWS NOŽEVA SA TĀN PREVLAKAMA | 119 |
| | <i>Dr Snežana Radonjić, doc., Tehnički fakultet, Čačak</i> | |
| | <i>Prof.dr Zoran Nikić, Tehnički fakultet, Čačak</i> | |
| | <i>Božidar Jovanović, dipl.ing, "14.oktobar" Kruševac</i> | |
| | EKSPLOATACIONE KARAKTERISTIKE PFAUTER GLODALA PRESVUČENIH SLOJEM TĀN | 127 |
| | <i>Prof.dr Zoran Nikić, Tehnički fakultet, Čačak</i> | |
| | <i>Dr Snežana Radonjić, doc., Tehnički fakultet, Čačak,</i> | |
| | <i>Veselin Jugović, dipl.ing, Jugoslav, Novi Sad</i> | |
| | <i>Božidar Jovanović, dipl.ing, "14.oktobar", Kruševac</i> | |
| | PRORAČUN SILA REZANJA I MOMENATA KOD OBIMNOG GLODANJA | 135 |
| | <i>Radovanović mr Miroslav, dipl. ing, Marinković dr Velibor, dipl. ing, Lazarević</i> | |
| | <i>dr Dragoljub, dipl. ing</i> | |
| | SILE REZANJA PRI STRUGANJU KRUŽNIM SAMOOBRNTNIM NOŽEVIMA | 143 |
| | <i>Banjac Dragan</i> | |
| | EKSPERIMENTALNO ODREĐIVANJE SILA REZANJA PRI OBRADI ČELIKA Č.4732 KRUŽNIM SAMOOBRNTNIM NOŽEVIMA | 153 |
| | <i>Banjac Dragan, Todić Velimir</i> | |

| | |
|---|---------|
| TEORIJSKI MODEL ODREĐJIVANJA HRAPAVOSTI POVRŠINE OBRADJENE CO LASEROM | 161 |
| <i>Stošić mr Miroslav, Viša tehnol.-tehn. škola, Kruševac</i> | |
| <i>Radovanović mr Miroslav, Mašinski fakultet, Niš</i> | |
| <i>Lazarević dr Dragoljub, Mašinski fakultet, Niš</i> | |
| FLEKSIBILNI PROIZVODNI SISTEM U INDUSTRIJI MALOLITRAŽNIH MOTORA | 181 |
| <i>Lj. Vuletić dipl.ing., glavni projektant</i> | |
| <i>P. Pantelić dipl.ing., direktor projektovanja</i> | |
| EKSPERTNI MODEL ZA DEFINISANJE SETA ALATA U FLEKSIBILNIM TEHNOLOGIJAMA | 187 |
| <i>dr Ljubomir Lukić, dipl.ing., viši naučni saradnik</i> | |
| <i>Prof.dr Vladimir Šolaja, dipl.ing., savetnik LOLA Institut,</i> | |
| SISTEM IZBORA REZNOG ALATA ZA OBRADU PRIZMATIČNIH DELOVA BAZIRAN NA ZNANJU | 193 |
| <i>Goran Devedžić asistent, Mašinski fakultet,</i> | |
| PREGLEDNA ANALIZA PODSISTEMA ALATA U FLEKSIBILNOM OBRADNOM SISTEMU | 205 |
| <i>Goran Devedžić asistent, Mašinski fakultet,</i> | |
| INKREMENTALNI DIGITALNI PRETVARAČI ZA MERENJE DUŽINE I ODREĐJIVANJE POZICIJE | 221 |
| <i>Miodrag Arsić Dragan Denić, Elektronski fakultet - Niš</i> | |
| AUTOMATIZACIJA OBRADNIH SISTEMA PRIMENOM PERSONALNIH RAČUNARA | 229 |
| <i>Dr Ratomir M. Ječmenica, dipl.maš.ing., vanr.prof., Tehnički fakultet - Čačak</i> | |
| <i>Miodrag Kukić, dipl.maš.ing., projektant, Tehnički fakultet - Čačak</i> | |
| PRILOG ISPITIVANJU MAGNETNIH PRIBORA ZA STEZANJE OBRADAKA KOD RAVNIH BRUSILICA | 243 |
| <i>Borojev mr Ljubomir, asistent Zeljković mr Milan, asistenti</i> | |
| <i>Gatalo dr Ratko, red.prof. Institut za proizvodno mašinstvo, FTN, Novi Sad</i> | |
| TRIBOLOŠKE POJAVE KOD ALATNIH MAŠINA | 251 |
| <i>Dr. Ing. RAKIĆ Radoslav,</i> | |
| <i>NIS Naftagas promet, Novi Sad</i> | |
| JEDAN PRIMER AUTOMATIZACIJE KONTROLE PROIZVODA | 257 |
| <i>Dr Ratomir M. Ječmenica, dipl.maš.ing., vanr.prof., Tehnički fakultet - Čačak</i> | |
| <i>Miodrag Kukić, dipl.maš.ing., projektant, Tehnički fakultet - Čačak</i> | |

UNIVERZITET U NOVOM SADU



FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA
INSTITUT ZA PROIZVODNO
MAŠINSTVO

**24. SAVETOVANJE PROIZVODNOG
MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE**

Novi Sad, 16-18. septembar 1992

ZBORNIK RADOVA

SEKCIJA I

INSTITUTO DE PRODUÇÃO
MATERIAL

1911

INSTITUTO DE PRODUÇÃO
MATERIAL

INSTITUTO DE PRODUÇÃO
MATERIAL

ANALIZA DEFORMABILNOSTI

Vlado Vujović, Miroslav Plančak,

Dragiša Vilotić Institut za proizvodno mašinstvo,

Laboratorija za tehnologiju plastičnosti, Univerzitet u Novom Sadu.

ABSTRACT

Material behaviour in the deforming region is affected by a number of influential factors. Control of the parameters such as material characteristics, process variables and tool-workpiece interface condition that influence the state of stress may thus be exercised to produce conditions favorable for enhanced deformation. Interactive nature of these parameters adds to the complexity of formulating the formability condition for metalworking processes. Formability analysis enables an integration of all influential factors in order to find optimal process variables according to the minimum costs. In the paper is presented a systematic approach to the formability analysis using some of the results of experimental investigation in the field of die geometry and strain history influence on the formability.

1. UVOD

Deformabilnost je jedan od vitalnih aspekata obrade metalnih materijala. Radi se o povezivanju ponašanja materijala i parametara procesa obrade. Od velikog je ekonomskog interesa pitanje da li će biti deo proizveden sa ili bez defekata pri plastičnom deformisanju. Ako je unapređenje produktivnosti neophodno onda veće širenje znanja o deformabilnosti materijala može biti veoma isplativo.

Zbog složene prirode deformabilnosti ne postoji ni jedan poseban test koji bi se mogao koristiti za njeno vrednovanje, odnosno određivanje. Više laboratorijskih testova je razvijeno, koji su korisni za proveravanje deformabilnosti materijala. Ponekad se koriste i veoma specifični testovi za ove svrhe. U literaturi je još uvek malo podataka o testovima deformabilnosti. Podaci dobijeni testovima deformabilnosti su osnova analize deformabilnosti /10/. Veličina deformacije koja je neophodna za proizvodnju korisnog oblika dela naziva se DEFORMACIJA OBLIKOVANJA. Deformacija oblikovanja je retko konstantna u području plastične zone, u stvari ona

se može drastično menjati od tačke do tačke. Ako se deformacija oblikovanja u jednoj jednoj tački izjednači sa graničnom mogućnošću deformisanja materijala kaže se da je dostignuta granica oblikovanja materijala, odnosno GRANICA DEFORMISANJA. Ta veličina deformacije naziva se GRANIČNA DEFORMACIJA. Prekoračenje ove granice uzrokuje greške u obratku i on više ne predstavlja koristan oblik. Pri ovome nema značaja što je obradak ispravan na 99.9% zapremine nije prekoračena granica deformisanja. Analiza deformabilnosti ima za cilj da osigura tako vođenje procesa deformisanja, koje će osigurati da ni u jednoj tački deformacija oblikovanja ne dostigne graničnu deformaciju, odnosno da osigura određeni stepen sigurnosti.

Analiza deformabilnosti se po pravilu sastoji iz četiri glavna dela

1. Određivanje deformacije oblikovanja i njenih promena na obratku od tačke do tačke, odnosno i distribucije deformacija

2. Određivanje promene deformacije oblikovanja u bilo kojoj posebnoj tački u toku procesa deformisanja, odnosno određivanje istorije deformisanja obratka

3. Određivanje granice deformisanja materijala prema kojoj će se deformacija oblikovanja upoređivati. Obično je granica deformisanja materijala data u obliku Dijagrama granične deformabilnosti (DGD). Postoje dva načina prezentacije ovih dijagrama:

- u području oblikovanja lima kao veza veće i manje jedinične deformacije

$$\epsilon_1 = f(\epsilon_2) \quad (1)$$

- u području zapreminskog oblikovanja, kao veza granične efektivne deformacije i naponskog indeksa deformabilnosti.

$$\bar{\epsilon}_{lim} = f(\beta) \quad (2)$$

4. Procena uticaja materijala i uslova obrade na deformaciju oblikovanja, odnosno graničnu deformaciju. To se odnosi na moguć izbor materijala i uticaja geometrije (alata, priprema, zone deformisanja) i graničnih uslova na naponsko stanje.

U radu se prezentiraju prvo uticajni faktori na deformabilnost i njenu analizu i zatim izlažu doprinosi pojedinih faktora veličini deformabilnosti na bazi eksperimentalnih istraživanja izvršenih u Laboratoriji za tehnologiju plastičnosti Univerziteta u Novom Sadu.

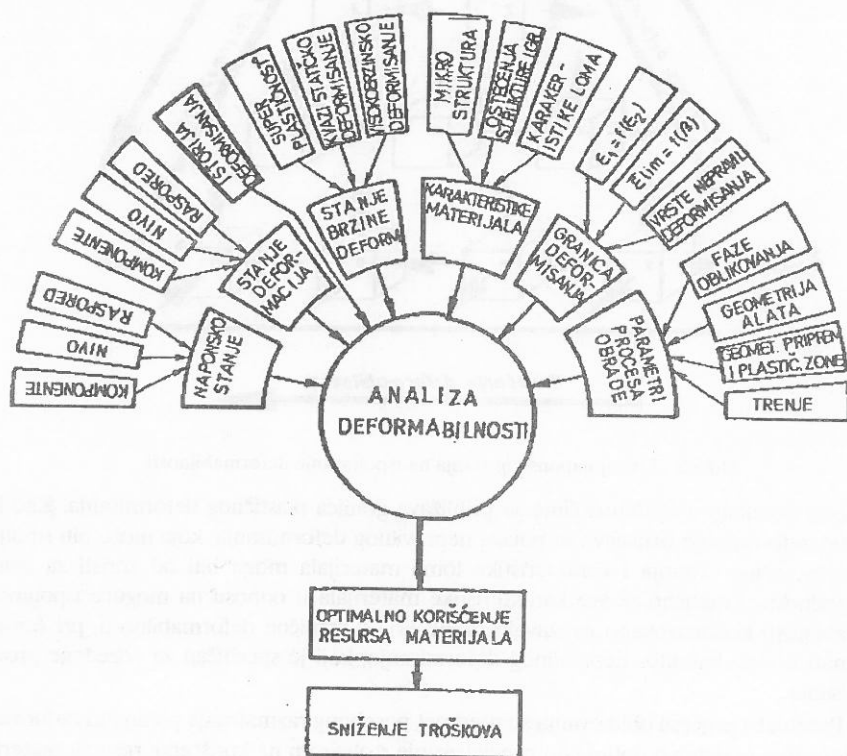
2. PODRUČJE ANALIZE DEFORMABILNOSTI

U uvodu je rečeno da se analiza deformabilnosti sastoji iz navedena četiri glavna dela. Međutim spektar uticajnih faktora je znatno širi. Na slici 1 šematski su prikazani uticajni faktori na deformabilnost pa i na njenu analizu kao i ciljevi ove analize. Na osnovu ove šeme moguće je zaključiti da je analiza deformabilnosti veoma složena problematika i da predstavlja integraciju saznanja iz više područja (teorija plastičnosti, materijali, obradni sistem). Istovremeno su za analizu deformabilnosti potrebna produbljena i proširena znanja o uticaju naznačenih faktora.

Naponsko stanje, kao posledica načina prenošenja spoljnog opterećenja i graničnih uslova plastične zone, ima odlučujući značaj na ispoljavanje deformabilnosti materijala. Brojni radovi su posvećeni izučavanju uticaja naponskog stanja na ponašanje materijala. Uticaj

realizovane naponske šeme na moguću veličinu granične deformacije šematski se prikazuje na slici 2 prema /5/. U pitanju je jedan sintetizovan prikaz promene ponašanja materijala u zavisnosti od vrste naponskog stanja.

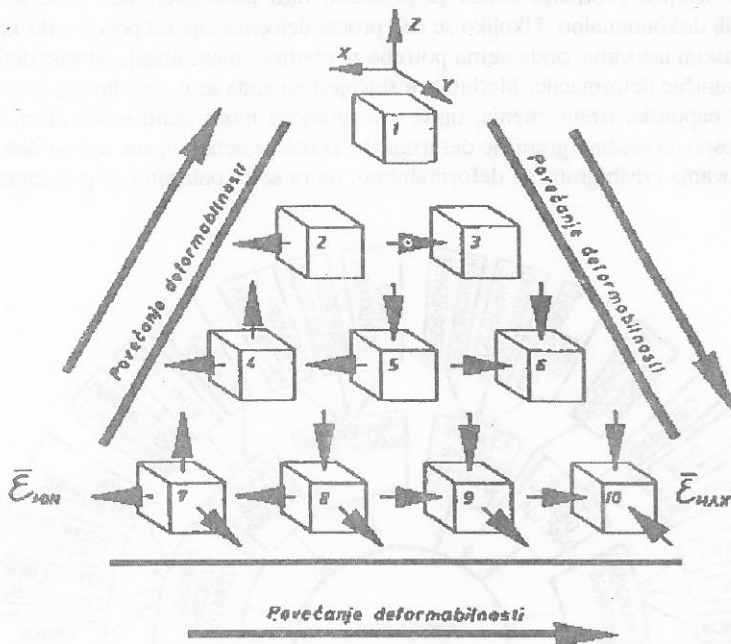
U analizi deformabilnosti naponsko stanje se prati ili posredno preko deformacija, slučaj kada se granična deformacija određuje kao veza većih i manjih deformacija u ravni ($\epsilon_1 - \epsilon_2$), pre svega u području oblikovanja lima ili neposredno preko naponskog indeksa deformabilnosti, kada je kriva granične deformabilnosti određena sa $\bar{\epsilon}_{lim} = f(\sigma)$. Deformaciono stanje je posledica naponskog stanja, pri čemu za analizu deformabilnosti poseban značaj ima istorija deformisanja. Krajnja promena oblika je posledica niza uzastopnih faza koje se izvode u kontinuitetu ili diskontinualno. Ukoliko se ceo proces deformisanja od početka do kraja izvodi u istim naponskim uslovima, onda nema potrebe za obuhvatanjem uticaja istorije deformisanja na veličinu granične deformacije. Međutim u slučajevima kada se u pojedinim fazama procesa deformisanja naponsko stanje menja, onda ova promena može imati veliki uticaj na krajnji rezultat, odnosno na veličinu granične deformacije. Dakle za nehomogene uslove deformisanja, pored posedovanja krivih granične deformabilnosti, mora se raspolagati i sa podacima o istoriji deformisanja.



Slika 1 - Deformabilnost i uticajni faktori

Brzina deformacije za analizu deformabilnosti je od značaja sa stanovišta poznavanja oblasti brzine deformisanja u kojoj se proces izvodi. Pripadnost jednom od tri navedena područja (slika 1) brzine deformacije u velikoj meri određuje karakteristike ponašanja materijala sa stanovišta ispoljavanja deformabilnosti.

Struktura materijala se u toku plastičnog deformisanja menja. Karakter tih promena zavisi od polazne strukture materijala. U toku procesa deformisanja nastaje poboljšavanje, ali i oštećenje strukture materijala. Sa odmicanjem procesa deformisanja raste



Slika 2 - Uticaj naponskog stanja na ispoljavanje deformabilnosti

broj defekata u strukturi čime se približava granica plastičnog deformisanja. Kao kraj plastičnog deformisanja označava se pojava nepravilnog deformisanja, koja može biti ispoljena na različite načine. Teorija i karakteristike loma materijala mogu biti od koristi za analizu deformabilnosti. Praktično se sve karakteristike materijala u odnosu na moguće ispoljavanje deformabilnosti kondenzovano izražavaju preko krivih granične deformabilnosti, pri čemu se treba imati u vidu karakter nepravilnog deformisanja, koji je specifičan za određene procese deformisanja.

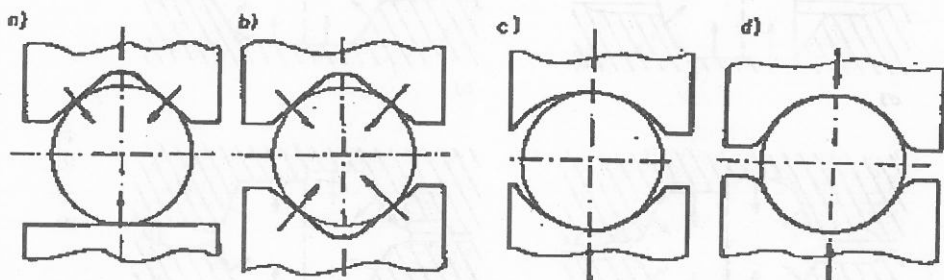
Parametri procesa oblikovanja su predmet posebnog razmatranja pri analizi deformabilnosti. Potrebno je njihovo optimalno projektovanje s obzirom na korišćenje resursa materijala što kao krajnji rezultat daje sniženje troškova proizvodnje metalnih delova. U nastavku se prezentiraju neki rezultati u vezi uticaja geometrija alata i priprema, odnosno plastične zone na ispoljavanje deformabilnosti.

3. FAZE OBLIKOVANJA I GEOMETRIJE ALATA I PRIPREMKA

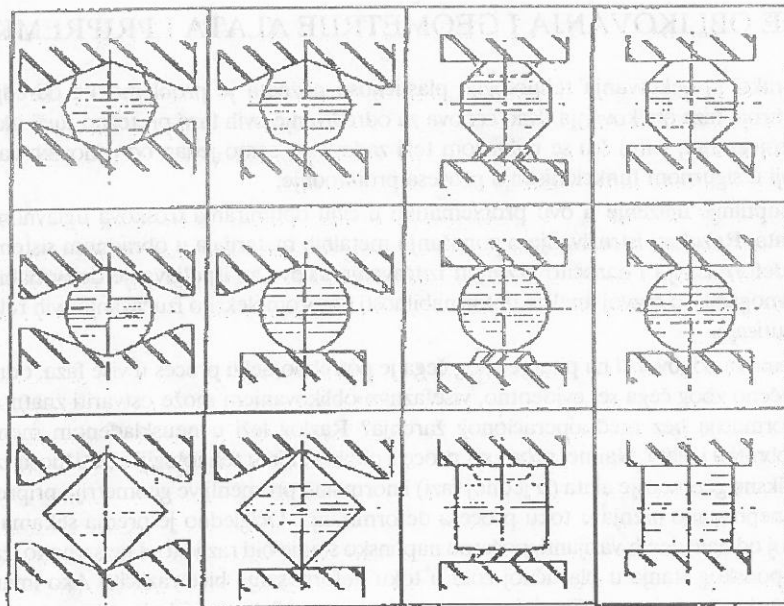
U praksi projektovanja tehnologije plastičnosti poznata je problematika određivanja optimalnog broja faza oblikovanja. Kao osnova za određivanje ovih faza pretežno služi iskustvo i intuicija projektanta, s tim što se uglavnom teži zadovoljiti samo jedan od osnovnih zahteva koji se sastoji u sigurnom funkcionisanju procesa proizvodnje.

Za suptilnije ulaženje u ovu problematiku u cilju optimiranja troškova uglavnom nije bilo elemenata. Rezultati istraživanja o ponašanju metalnih materijala u obradnom sistemu pri plastičnom deformisanju i naročito rezultati izučavanja uslova za ispoljavanje deformabilnosti materijala omogućili su razvoj analize deformabilnosti kao kompleksno izučavanje svih relevantnih uticaja uticaja.

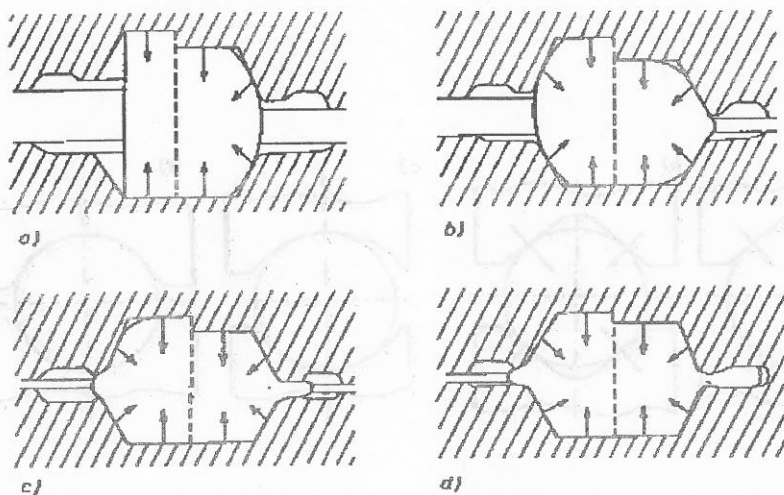
Trebalo bi odgovoriti na pitanje zbog čega je potrebno deliti proces u više faza, odnosno preciznije rečeno zbog čega se, evidentno, višefaznim oblikovanjem može ostvariti znatno veća ukupna deformacija bez međuooperacionog žarenja? Razlog leži u neusklađenom menjanju geometrija obratka i alata. Naime, skoro svi procesi oblikovanja u tehnologiji plastičnosti izvode se pomoću fiksne geometrije alata (u jednoj fazi) i normalno promenljive geometrije pripremljenog, čiji se oblik neprestano menja u toku procesa deformisanja. Očigledno je prema slikama 3 i 4 da će u svakoj od navedenih varijanti, početno naponsko stanje biti različito. I ne samo to, zakoni promene naponskog stanja u plastičnoj zoni u toku deformisanja biće različiti. Ako imamo u vidu da naponsko stanje ima snažan uticaj na ponašanje materijala u smislu ispoljavanja njegove deformabilnosti, onda je lako zaključiti da geometrije elemenata alata kao i geometrija pripremljenog odlučujuće utiču na iskorišćenje resursa materijala. Na slici 3 prikazane su kombinacije ravnih i kružnih (cilindričnih) oblika površina alata i cilindričnog oblika obratka.



Slika 3 - Kombinacije raznih oblika površina alata i cilindričnog oblika obratka /10/



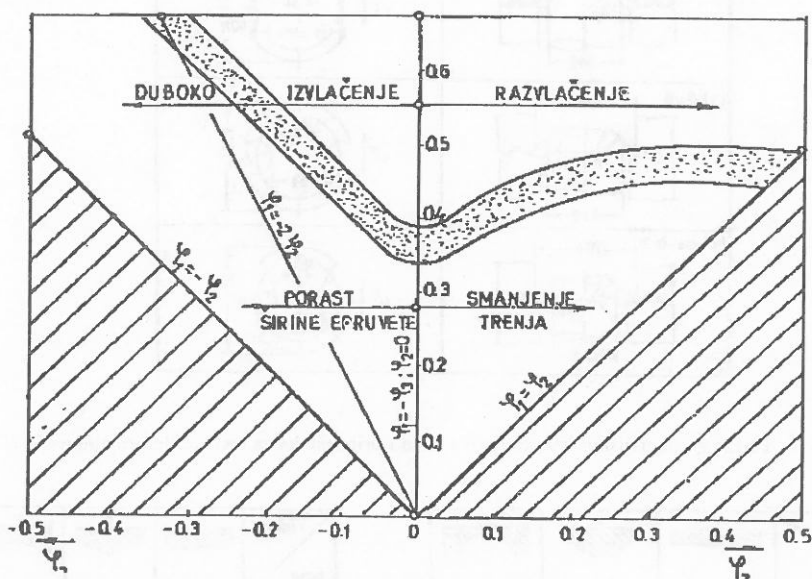
Slika 4 - Kombinacija raznih oblika površina alata sa različitim oblicima pripremaka



Slika 5 - Menjanje geometrije obratka pri istoj geometriji alata /10/

Na slici 4 prikazuje se niz različitih kombinacija različitih oblika površina alata i površina obratka. I ovde je lako zaključiti da će se deformaciona sila na različite načine prenositi na plastičnu zonu, odnosno da će se u njoj konstituisati različita naponska stanja sa različitim uticajem na ispoljavanje deformabilnosti materijala.

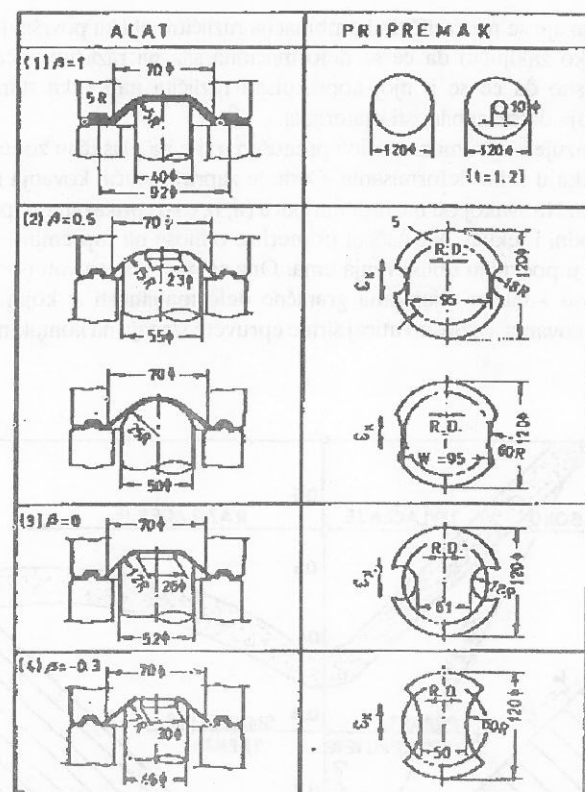
Na slici 5 prikazuje se promena načina prenošenja sile na plastičnu zonu u zavisnosti od promene oblika obratka u toku deformisanja. Ovde je zapravo slučaj kovanja u kalupu gde je fiksna geometrija alata. Na svakoj od naznačenih skica (a, b, c i d) prikazana su po dva stadijuma deformisanja - prethodni i tekući. Naznačeni primeri se odnose na zapreminsko deformisanje. Ista je problematika i u području oblikovanja lima. Ona se može ilustrovati pomoću slika 6 i 7. Na slici 6 prikazane su konture dijagrama granične deformabilnosti iz kojih se vidi lokacija pojedinih metoda oblikovanja, odnosno uticaj širine epruvete i trenja na kontaktnim površinama.



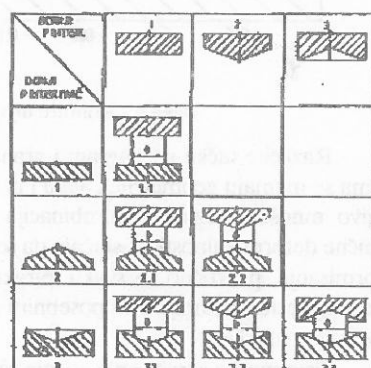
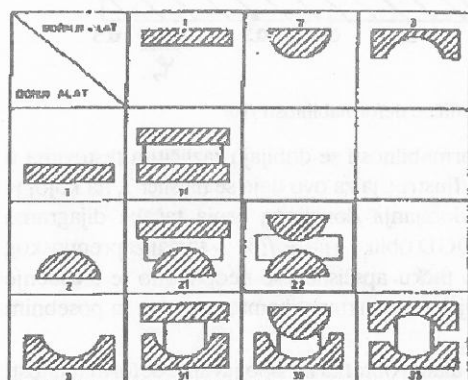
Slika 6 - Konture dijagrama granične deformabilnosti /10/

Različite tačke u dijagramu granične deformabilnosti se dobijaju različitim testovima u kojima se menjaju geometrije i alata i priprema. Ilustracija za ovo daje se na slici 7, na kojoj je vidljivo mnoštvo različitih kombinacija u cilju dobijanja dovoljnog broja tačaka dijagrama granične deformabilnosti. U slučaju da se koristi DGD oblika $\epsilon_{lim} = f(\beta)$ - slučaj zapreminskog deformisanja, praktično za svaku karakterističnu tačku apscisne ose neophodno je izvođenje posebnog testa, razumljivo sa posebnim geometrijskim karakteristikama, odnosno sa posebnim naponskim stanjima.

Sistematska istraživanja uticaja geometrije alata i obratka na ispoljavanje deformabilnosti materijala koja se vrše u Laboratoriji za tehnologiju plastičnosti Univerziteta u Novom Sadu ilustruju se na slici 8 gde su prikazane kombinacije raznih oblika površina alata i priprema.



Slika 7 - Prikaz geometrijskih karakteristika alata i priprema za testove deformabilnosti /7/



Slika 8 - Prikaz kombinacija površina alata i obratka

4. ZAKLJUČAK

Na osnovu izloženog zaključuje se da je analiza deformabilnosti u svim njenim elementima neophodna za dobijanje pravog odgovora na pitanje optimalnog broja faza oblikovanja. Promena faze oblikovanja nije ništa drugo do prilagođavanje geometrije alata promenjenoj geometriji obratka u cilju ponovnog ostvarenja povoljnog naponskog stanja u plastičnoj zoni. Još bolji rezultati bi se dobili u korišćenju resursa deformabilnosti materijala kada bi bilo moguće realizovati kontinualnu promenu geometrije alata u cilju zadržavanja istog naponskog stanja tokom celog procesa. U tom slučaju problematika istorije deformisanja ne bi postojala. Inače istorija deformisanja ima odlučujući uticaj na korišćenje potencijala deformabilnosti materijala.

LITERATURA

- /1/ Vujović V., Plančak M., Vilotić D. and Shabaik A.H.: The Use of Cold Workability Test Results to Predict FLC as a Function of Stress State. Proceedings of the 2nd ICTP, Stuttgart p.p. 453-459
- /2/ Frobin R.: Untersuchung des Umformvermögens und der Umformgrenze. Dissertation, TH Karl-Mark-Stadt, 1979.
- /3/ Vujović V., Shabaik A.H.: A New Workability Criterion for Ductile Metals. Journal of Engineering Materials and Technology, ASME, July 1986., vol.108, p.p. 245-249.
- /4/ Vilotić D., Shabaik A.H.: Analysis of Upsetting with Profiling Dies. Transaction of the ASME, Journal of Engineering Materials and Technology, October 1985., vol. 105, p.p. 261-264
- /5/ Vujović V., Plančak M., Vilotić D. i Shabaik A.H.: Forming Limit Investigation by Means of Stress formability Index. Advanced Technology of Plasticity 1990., vol.3, Kyoto, July 1990., p.p.1305-1310.
- /6/ Vilotić D., Plančak M., Trbojević I.: Uticaj geometrije pritiskivača na parametre procesa pri sabijanju cilindričnih pripremaka, Tehnologija plastičnosti u mašinstvu, godina 16, br.1-2, Novi Sad,1991., str. 81-89.
- /7/ Ishigaki H.: Deformation Analysis of Large Sized Panels in the Press Shop."Mech. Sheet Metal Forming, Material Behaviour and Deformation Analysis. Proc. Symp. Warren. Mich. 1977.", New York - London 1978, 315-337, Discuss. 337-339
- /8/ Sven N., Rusmussen L.: Einfluss der Umformgeschichte auf das Grenzformanderungsschaubild. Seminar NEB, Stuttgart 1, Juni 1984., s.7/1-7/18.
- /9/ Bogatov A.A., Mižirickij J.O., Smirnov V.S.: Resurs plastičnosti metalov pri obrabotke davlenijem. Metalurgija, Moskva, 1984.
- /10/ Vujović V.: Deformabilnost. Monografija, Institut za proizvodno mašinstvo Univerziteta u Novom Sadu, Novi Sad 1992. (u štampi).

GRANIČNA DEFORMABILNOST LIMOVA PRI RAZLIČITIM ISTORIJAMA I DEFORMISANJA

*Prof. dr Branislav Devedžić
Mašinski fakultet u Kragujevcu*

1. UVOD

Široko korišćenje konvencionalnih Keeler-Goodwin-ovih dijagrama granične deformabilnosti (FLD) za ocenjivanje obradivosti tankih limova, odnosno stepena tehnološke kritičnosti delova koji se obrađuju, traje već više od dvadeset godina. Mada su u tom periodu činjeni brojni pokušaji da se ovi dijagrami interpretiraju preko različitih i uglavnom složenih teorijskih modela, ipak se, kao najpouzdaniji, zadržao postupak njihovog eksperimentalnog određivanja.

Međutim, i u tom slučaju je pouzdanost oblika i položaja graničnih krivih manje-više nedovoljna, kako zbog nepostojanja jedinstvene eksperimentalne metodologije, tako i zbog velikog broja uticajnih činilaca koji mogu varirati i u okviru nominalno istog kvaliteta lima (debljina, uslovi trenja, deformaciono ojačavanje, anizotropija, brzina deformacije, kriterijum početka lokalizacije deformisanja, ...). U takvim okolnostima FLD praktično može poslužiti samo kao relativno gruba orijentacija za ocenu granične deformabilnosti u uslovima monotonog proporcionalnog deformisanja. Osim toga, on kao takav služi i kao polazište za ocenu obradivosti lima i pri više faznom monotonom deformisanju. Ako je to tako, nameće se sledeće pitanje: može li se osnovni oblik FLD dobiti analitičkim putem, pri čemu bi on bio definisan u funkciji neke od standardnih karakteristika materijala, kao i jednog pogodnog parametra istorije deformisanja?

Ako bi se to postiglo, onda bi se uticaji ostalih pomenutih činilaca mogli uzeti u obzir preko jednostavnih empirijskih faktora (što je, u ostalom, potrebno i kada se eksperimentalni dijagrami koriste za obradne uslove unekoliko različite od eksperimentalnih). Time bi se, ujedno, ostvarila mogućnost za jednostavno programirano izračunavanje veličina graničnih deformacija u pojedinim slučajevima, a takođe i različitih analiza, stepena tehnološke kritičnosti, itd. uz samo par polaznih podataka.

2. NEKE OPŠTE RELACIJE

U narednoj analizi korišće se relevantne teorijske relacije koje je ustanovio Tomlenov /1/ još pre tri decenije, ali će one zatim biti korigovane u skladu sa kasnijim saznanjima. Ne ulazeći na ovom mestu u detaljnije razmatranje tih odnosa, navešće se samo konačni matematički izrazi za neke od njih.

a) Granične deformacije za zone materijala dovoljno udaljene od ivice matrice:

$$\varphi_{1L} = n = \text{const.}; \varphi_{2L} = mn; -\varphi_{3L} = (m+1)n; \quad (1)$$

$$\varphi_{eL} = \frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{1+m+m^2} n = \frac{2A}{3} n \quad (2)$$

pri čemu su: φ_i - glavne prirodne deformacije; φ_e - ekvivalentna deformacija; n - faktor deformacionog ojačavanja; $m = \varphi_2/\varphi_1$; $A = \sqrt{1+m+m^2}$; L - indeks koji označava graničnu vrednost.

b) Granične deformacije za zone materijala koje su locirane neposredno uz ivicu matrice (pa ne mogu menjati svoju širinu već samo dužinu i debljinu):

$$\varphi_{1L} = \frac{n}{m+1}; \varphi_{2L} = \frac{m}{m+1} n; -\varphi_{3L} = n; \quad (3)$$

$$\varphi_{eL} = \frac{2}{3} \frac{\sqrt{1+m+m^2}}{m+1} n = \frac{2A}{\sqrt{3}} \frac{n}{m+1} \quad (4)$$

Kako su u levom delu Keeler-Goodwin-ovog dijagrama naponskodeformacioni odnosi praktično pod određenim uticajem ovog drugog modela (b), to će se izvršiti izvesno uprosečavanje, pa će se u daljem koristiti uslovna (dakle, neobavezna!) pretpostavka da je taj model u deformacionom sistemu zastupljen sa oko 1/3. Iz toga proizlazi prosečna vrednost:

$$\bar{\varphi}_{1L} = \frac{2n + \frac{n}{m+1}}{3} = \frac{2m+3}{3(m+1)} n \quad (5)$$

$$\bar{\varphi}_{eL} = \frac{2A}{\sqrt{3}} \frac{2m+3}{3(m+1)} n \quad (6)$$

Osim ovih izraza, u daljem će se takođe koristiti i neki odnosi koji proizlaze iz fenomenološke teorije plastičnog razaranja koju je razradio Kolmogorov /2/. Ona se zasniva na procesu nastajanja, rasta, umnožavanja (ili "zalečivanja") mikro-defekata u diskretnoj strukturi metala u toku plastičnog deformisanja. Detaljniji podaci o tome mogu se naći u brojnoj literaturi /2/, /5/, ..., a ovde se navodi samo sledeće.

Granična ekvivalentna deformacija u implicitnom, najopštijem obliku je:

$$\varphi_{eL} = \varphi_{eL}(\text{mater.}; \tau; \beta; \varphi_e; t; \mu_\sigma; \gamma)$$

gde su: τ - vreme; $\beta = 3 \sigma_m / K$ - pokazatelj naposke šeme (σ_m - srednji normalni napon; K je deformacioni otpor); φ_e - brzina deformacije; t - temperatura; μ_σ - Lode-ov koeficijent;

γ - koeficijent nemonotonosti procesa deformisanja.

Ako su u pitanju uobičajene brzine deformacije i uobičajene temperature, onda će granična deformacija pretežno zavisiti od svojstava materijala, naponskog stanja i nemonotonosti procesa:

$$\varphi_{eL} = \varphi_{eL}(\text{mater.}; \beta; \gamma) \quad (7)$$

Koeficijent iskorišćenja potencijala plastičnosti:

$$q = \int_0^{\varphi_{eL}} \gamma \frac{d\varphi_e}{\varphi_{eL}} \quad (8)$$

Za slučaj razaranja materijala je $q=1$. Kompleksni deformacioni proces i se može podeliti u više (n) faza, pa će za i-tu fazu biti:

$$q_i = \gamma_i \frac{\Delta\varphi_{e1}}{\varphi_{eL1}} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (9)$$

a za čitav proces važi

$$q = \sum_{i=1}^n q_i \quad (10)$$

3. QUASI-TEORIJSKI FLD

Upoređujući teorijski Keeler-Goodwin-nov dijagram sa graničnom vrednošću $\varphi_{1L} = n = \text{const.}$ prema Tomlenovu, uočava se velika neusaglašenost među njima. Posebno je karakterističan oblik, odnosno diskontinuitet empirijskog dijagrama u zoni njegovog minimuma, tj. pri ravanskom deformacionom stanju. Sa druge strane, poznato je u teoriji plastičnosti da ovo stanje karakteriše najveći uticaj srednjeg glavnog normalnog napona σ_2 na plastično tečenje. Njegov položaj u naponskoj šemi može se izraziti preko Lode-ovog koeficijenta napona μ_σ . Takode se u istom smislu može govoriti i o sličnom pokazatelju deformacije C_φ , koji indirektno ilustruje položaj srednje glavne deformacije φ_2 u deformacionoj šemi. Po definiciji je:

$$C_\varphi = \frac{\varphi_2}{|\varphi_{\max}|} \quad (11)$$

što znači da ovaj koeficijent ima najveću vrednost u slučaju ravanskog, tj. najkritičnijeg, deformacionog stanja ($\varphi_2=0$) i ona tada iznosi $2/\sqrt{3}$ a 1.15, smanjujući se do $C_\varphi=1$ - idući ka stanju uravnoteženog dvoosnog razvlačenja ($\varphi_2 = \varphi_1$) ili jednoosnog istezanja ($\varphi_2 = \varphi_3$).

Imajući ovo u vidu kao i stvarni oblik konvencionalnog empirijskog FLD, izvršice se korigovanje navedenih izraza za φ_{1L} prema Tomlenovu na taj način što će se on podeliti sa korekcionim faktorom k koji je usklađen sa iznosom C_φ . Neka on bude izražen u obliku:

$$k = 1 + a(C_\varphi - 1) \quad (12)$$

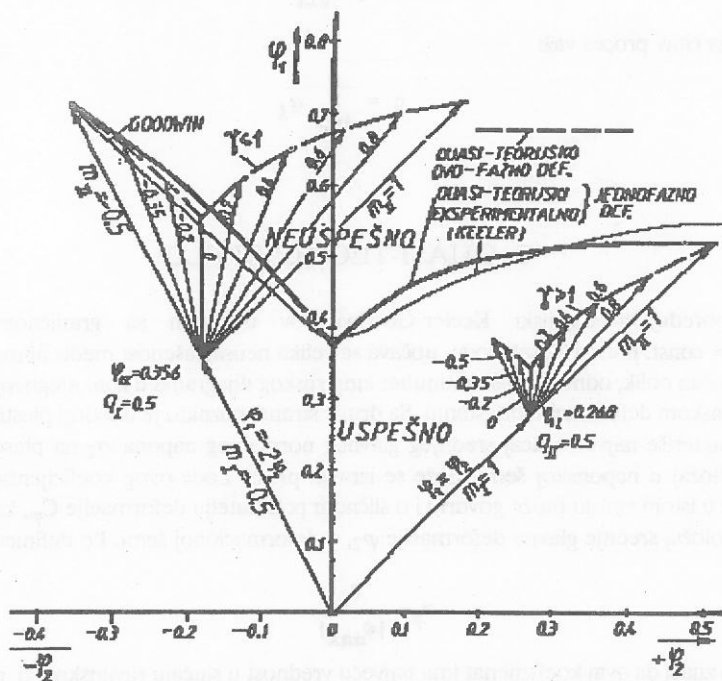
S obzirom da je za desnu stranu dijagrama (φ_{\max}) = (φ_3), a za levu (φ_{\max}) = (φ_1), kao i da su takođe različiti izrazi za φ_{eL} , biće a) za desnu (r) stranu:

$$C_\varphi^r = \frac{2A}{\sqrt{3}(m+1)} ; \varphi_{1L}^r = \frac{n}{k^2} = \frac{n}{1+a \left[\frac{2A}{\sqrt{3}(m+1)} - 1 \right]} \quad (13)$$

b) za levu (e) stranu

$$C_\varphi^l = \frac{2A}{\sqrt{3}} ; \varphi_{1L}^l = \frac{\varphi_{1L}}{k^2} = \frac{\frac{2m+3}{3(m+1)} n}{1+a \left(\frac{2A}{\sqrt{3}} - 1 \right)} \quad (14)$$

Ovde se neće posebno analizirati u kom se opsegu može kretati vrednost koeficijenta a u pojedinim slučajevima, već će se samo radi ilustracije, navesti da je on, za odnose koji odgovaraju empirijskom dijagramu na slici 1, približno $a \approx 3$.



Slika 1- Eksperimentalni i quasi-teorijski FLD za slučajeve monotnog i nemonotnog deformisanja

Na osnovu rezultata brojnih istraživanja moguće je zaključiti da izuzetno veliki uticaj na položaj granične krive ima debljina lima (s). Slično kao i u prethodnom slučaju, za pouzdanije i generalno formulisanje tog uticaja bilo bi potrebno posebno razmatranje, pa će se ovde koristiti

uprošćen izraz u obliku koeficijenta $b \approx 1 + 1.8s$ zasnovanog na objavljenim rezultatima nekih istraživanja [7], [8], ...

Sa ovim uslovnim vrednostima, jednačine desnog i levog dela dijagrama biće

$$\varphi_{1L}^r = \frac{(1+1.8s)n}{6A} - 2 \quad (15)$$

$$\sqrt{3} (m+1)$$

$$\varphi_{1L}^l \approx \frac{\frac{2m+3}{3(m+1)} (1+1.8s)n}{\frac{6A}{\sqrt{3}}} - 2 \quad (16)$$

Grafički prikaz tako dobijenih graničnih krivih dat je na sl. 1-4, pri čemu je na slici 1 data i empirijska granična kriva radi komparacije. Na osnovu svega može se zaključiti da je za dobijanje izraza φ_{1L} korišćeno polazište zasnovano na idealizovanim relacijama Tomlenova [1], a da su dalje korekcije vršene pretežno na osnovu podataka iz empirijskih dijagrama. Time su krive dobile quasi- teorijski karakter, a njihova osnovna prednost je u činjenici da se mogu izraziti samo na osnovu izmerenih deformacija na kritičnom mestu (φ_1 i φ_2), s obzirom da su parametri koji se odnose na materijal (n i s) poznati.

4. FLD PRI DVOFAZNOM NEMONOTONOM DEFORMISANJU

Pogodno je da se uticaj nemonotonosti deformisanja na FLD principijelno razmotri za slučaj dvofaznog deformisanja (faza I i II) pri čemu se u svakoj fazi ostvaruje proces proporcionalnog deformisanja ($m_I = \text{const.}$; $m_{II} = \text{const.}$).

Druga faza (II) započinje sa nasleđenom (zatečenom) dekohezijom mikrostrukture izvršenom u prvoj fazi (I), pa će se intenzitet dalje dekohezije razlikovati od onog koji bi se ostvario da je deformisanje nastavljeno u uslovima prve faze (m_I) - sve do razaranja materijala. Ako se ovo ne bi uzelo u obzir, bila bi najveća moguća (granična) deformacija (totalna) φ_{1L}^T :

$$\varphi_{1L}^T = \varphi_{1I} + \varphi_{(1II)L} = q_I \varphi_{1IL} + (1-q_I) \varphi_{1IIL} \quad (17)$$

Napomena: pri višefaznom deformisanju u n faza bilo bi:

$$\varphi_{1L}^T = \sum_{i=1}^{n-1} q_i \varphi_{1iL} + (1 - \sum_{i=1}^{n-1} q_i) \varphi_{1nL} \quad (18)$$

Kako međutim, promena putanje deformisanja izaziva ubrzanje ili usporenje dekohezi-onih procesa, to će ukupna deformacija biti manja ili veća od ovako izračunate vrednosti. Zato će se bliže definisati ranije pomenuti koeficijent nemonotonosti procesa γ i on zatim iskoristiti za neophodnu korekciju. Naime, najobičnije rasuđivanje dovodi do zaključka da će γ zavisiti u najvećoj meri od promene pravca putanje deformisanja i od koeficijenta iskorišćenja plastičnosti u prvoj fazi: $\gamma = \gamma [(m_I - m_{II}) ; q_I]$. S obzirom da je pri monotonom proporcionalnom deformisanju $\gamma = 1$, može se, u pojednostavljenom približenju pisati:

$$\gamma \approx 1 + f(m_I - m_{II}) q_I \quad (19)$$

pri čemu treba razlikovati slučajeve kada je algebarski $m_I > m_{II}$ i $m_I < m_{II}$. Ukoliko se usvoji (opet na osnovu raspoloživih empirijskih podataka) da je u prvom slučaju $f \approx 3$, a u drugom $f \approx 1/3$, biće;

$$\gamma^{(m_I > m_{II})} \approx 1 + 3(m_I - m_{II}) q_I \quad (20)$$

$$\gamma^{(m_I < m_{II})} \approx 1 + \frac{m_I - m_{II}}{3} q_I \quad (21)$$

Na osnovu toga proizilazi da će u drugoj fazi moći da se ostvari deformacija:

$$\phi_{(III)L}^{(m_I > 0)} = \frac{1 - q_I}{\gamma} \phi_{III}^{(m)} \quad (21)$$

gde je $\phi_{III}^{(m)}$ - ona granična deformacija koja bi se ostvarila da se čitav proces monotono odvija samo u uslovima druge faze ($m = m_{II}$) prema navedenim izrazima za ϕ_{II}^r ili ϕ_{II}^e , zavisno od toga da li je $m_{II} > 0$ ili $m_{II} < 0$

Na osnovu toga dobijaju se konačni izrazi za ukupne (totalne) granične deformacije pri dvofaznom deformisanju:

a) za $m_{II} > 0$

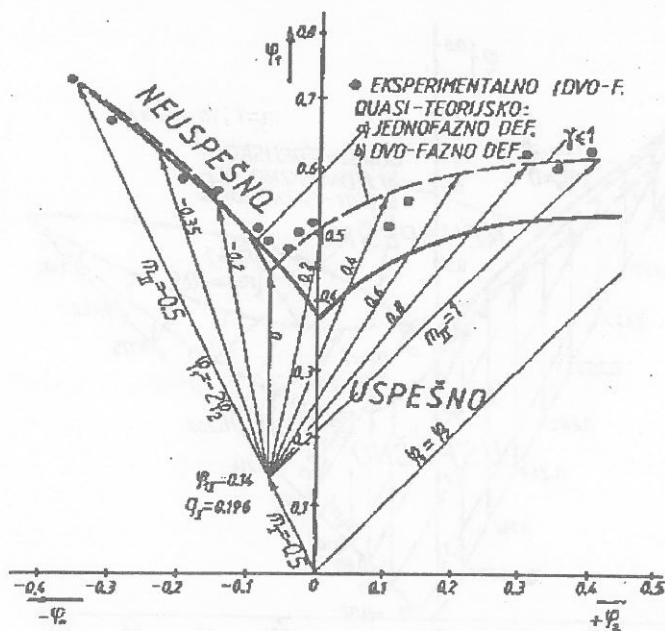
$$\phi_{II}^{T(m_{II} > 0)} = \phi_{II} + \frac{1 - q_I}{1 + f(m_I - m_{II}) q_I} \frac{(1 + 1,8 s) n}{\frac{6A_{II}}{\sqrt{3(m_{II} + 1)}} - 2} \quad (22)$$

b) za $m_{II} < 0$

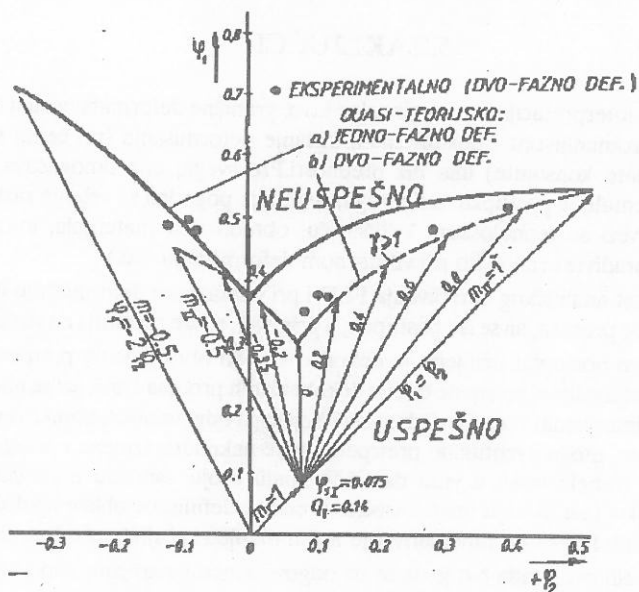
$$\phi_{II}^{T(m_{II} < 0)} = \phi_{II} + \frac{1 - q_I}{1 + f(m_I - m_{II}) q_I} \frac{\frac{2m+3}{3(m+1)} (1 + 1,8 s) n}{\frac{6A_{II}}{\sqrt{3}} - 2} \quad (23)$$

pri čemu je $q_I = \phi_{II}/\phi_{III}$ gde ϕ_{III} treba da nosi oznaku r ili l - zavisno od toga da li je $m_I > 0$ ili $m_I < 0$. Takođe i vrednosti faktora f treba usaglasiti sa $m_I > m_{II}$ ili $m_I < m_{II}$ ($f = 3$ ili $f = 1/3$).

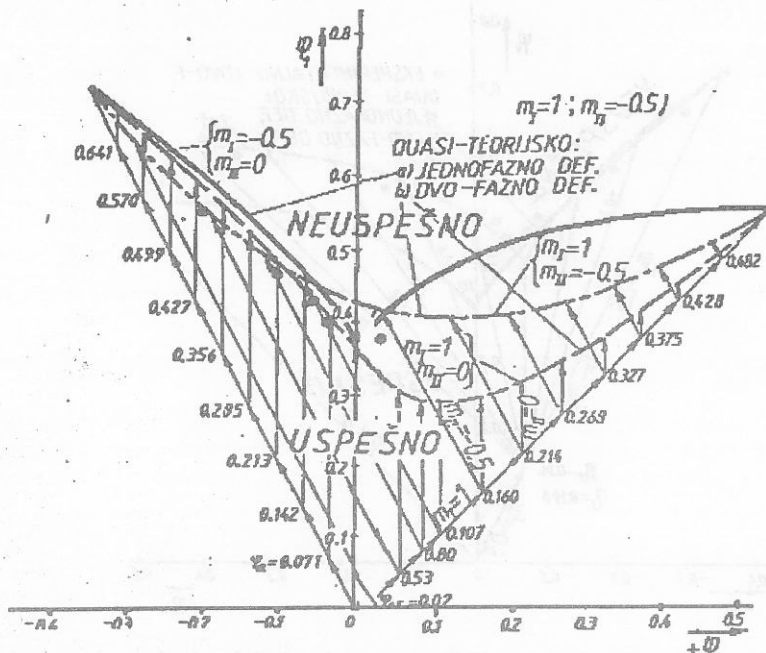
Nekoliko primera ovako dobijenih graničnih krivih prikazano je na sl. 1-4.



Slika 2 - Primer FLD pri nemonotonom deformisanju



Slika 3 - Primer FLD pri nemonotonom deformisanju



Slika 4 - Primer FLD pri nemonotonom deformisanju

5. ZAKLJUČCI

1. Teorijska interpretacija konvencionalne krive granične deformabilnosti u vidu funkcije sa samo jednom promenljivom - pokazateljem putanje deformisanja (pri čemu su n -faktor i debljina lima poznate konstante) ima niz prednosti. Pre svega, ona omogućava izbegavanje složenog eksperimentalnog postupka. Osim toga, veoma je pogodna za vršenje različitih analiza i izračunavanja u vezi sa tehnološkom kritičnošću, obradivošću materijala, uticajem istorije deformisanja na obradivost (naročito pri višefaznom deformisanju, itd.)

2. Mogućnost analitičkog određivanja FLD i pri višefaznom deformisanju ilustrovana je na slučaju dvofaznog procesa, ali se isti postupak, u principu, može proširiti i na složenije procese.

3. U čitavom postupku učinjeno je nekoliko kritički obrazloženih pretpostavki (npr. u vezi sa uticajem debljine lima, promene brzine dekohezionih procesa i dr.), jer se nije raspolagalo sa dovoljno eksperimentalnih i ostalih podataka. Zbog toga odgovarajući korekcionni koeficijenti, koji iz njih proizilaze, mogu eventualno pretrpeti i neke naknadne izmene i prilagođavanja. Pri tome bi, svakako, trebalo imati u vidu da FLD imaju svoju osnovnu praktično-tehnološku namenu, pa kao takvi i ne moraju imati naročito precizno definisane oblike i položaje. U istom smislu treba prihvatiti i izvršeno zanemarivanje nekih manje značajnih uticajnih činilaca.

4. Osnovni cilj ovog rada bio je da se uz odgovarajuću ilustraciju, samo ukaže na jedan pojednostavljen pristup pri teorijskom definisanju FLD.

Dalje eventualne korekcije i preciziranja pojedinih detalja su moguća i poželjna.

LITERATURA

- /1/ L.D. Tomlenov: *Mehanika processov obrabotki metallov devleniem*. Mašgiz, Moskva 1963.
- /2/ V.L. Kolmogorov: *Plastičnost i razrušenje*. Metalurgija, Moskva 1977.
- /3/ W. Muschenborn, H. Sonne: Einfluss des Formänderungsweges auf die Grenzformänderungen des Feinbleches. *Arch. Eisenhüttenwes.*;46;1975;No9
- /4/ H. Keemola, M. Pelkkikagas: Effect of predeformation and strain path on the forming limits of steel, copper and brass. *Sheet Metal Ind.*, 54, 1978.
- /5/ B. Devedžić: On the effects of strain on the forming limit of sheet metal. 15th Congr. IDDRG, 1988., Dearborn
- /6/ S. Ramussen: Einfluss der Umformgeschichte auf das Grenzformänderungsschaubild. *Blech, Rohre, Profile*, 32, 1985.
- /7/ A.B. Haberfield, A.W. Boyles: Modern Concepts of Sheet Metal Formability. *The Metallurgist and Material Technologist*, Sept. 1975./8/ B. Devedžić: Factors influencing the forming-limit curves of sheet metals", 21. Sav. proizv. maš. Jug., Opatija, 1987.

ABSTRACT

Sheet metal forming limit has been important topic for decades, and it still is. However, certain significant details have remained obscure, and the values of parameters used when estimating forming limit often do not match with practical results. Appropriate diagrams (mostly Keeler-Goodwin diagrams) are frequently used in practice when estimating formability. However, such an approach suffers from several underlying problems, like the influence of various factors on the precision of diagrams, difficulties in trying to give an appropriate analytical interpretation of diagrams, the influence of strain history and changes in discrete microstructure, etc.

In this paper forming limit diagrams and the appropriate correction factors are given as functions of basic qualities of the material (n-factor), sheet thickness and main strains in the critical location of the formed part.

1. The first of the three plates is a photograph of the
 2. The second of the three plates is a photograph of the
 3. The third of the three plates is a photograph of the
 4. The fourth of the three plates is a photograph of the
 5. The fifth of the three plates is a photograph of the
 6. The sixth of the three plates is a photograph of the
 7. The seventh of the three plates is a photograph of the
 8. The eighth of the three plates is a photograph of the
 9. The ninth of the three plates is a photograph of the
 10. The tenth of the three plates is a photograph of the

ABSTRACT

The first of the three plates is a photograph of the
 The second of the three plates is a photograph of the
 The third of the three plates is a photograph of the
 The fourth of the three plates is a photograph of the
 The fifth of the three plates is a photograph of the
 The sixth of the three plates is a photograph of the
 The seventh of the three plates is a photograph of the
 The eighth of the three plates is a photograph of the
 The ninth of the three plates is a photograph of the
 The tenth of the three plates is a photograph of the

UTICAJ ENERGETSKOG KONCEPCIJSKOG REŠENJA MAŠINA ZA OBRADU DEFORMISANJEM NA NJIHOVU MOGUĆU FLEKSIBILNOST

Dr. Predrag V. Popović, red.prof., Mašinski fakultet Univerziteta u Nišu

Dr Dragan I. Temeljkovski, docent Mašinskog fakulteta Univerziteta u Nišu

1. UVOD

Poznato je, da je sa jedne strane osnovni pokazatelj pri određivanju vrste mašine za obradu deformisanjem način preobražaja i prenosa energije kroz njen pogonski sistem, pri čemu je konačan izlaz određena vrsta mehaničke energije - energije neophodne za deformisanje predmeta rada, a sa druge da određenoj vrsti tehnološkog procesa i vrsti predmeta obrade odgovaraju određeni zakoni promene brzine deformacije materijala, pa time i određena vrsta energije.

Proces preobražaja i toka energije, prikazan shematski na slici 1., prolazi kroz različite međufaze, što se može izraziti opštim energetskim nizom:

$$W_{iz} \rightarrow W_{ul} \rightarrow W_e \rightarrow W_r \rightarrow W_k \quad (1)$$

gde su:

W_{iz} - izvorna energija (napr. toplotna, vodenog toka, i dr.);

W_{ul} - ulazna energija u mašinu, kao deo obradnog sistema (napr. ul električna);

W_e - efektivna mehanička energija, odnosno energija na izvršnom delu mašine;

W_r - raspoloživa mehanička energija, odnosno energija na alatu, tj. na izlazu iz obradnog sistema i

W_k - deo mehaničke energije utrošen na preoblikovanje predmeta meta obrade, odnosno energije preobražene u koristan rad.

Međutim, izraz (1), koji služi za analize preobražaja, protoka i gubitaka energije u svim fazama njenog toka od izvora do predmeta obrade je, za problematiku koja se tretira u ovom radu, od interesa samo u delu:

$$W_{ul} \rightarrow W_e$$

(2)

a radi sagledavanja pogonskog sistema sa izvršnim delom mašine - kao energetskih činioca - odnosno sagledavanja energetskog resursa mašine u jednom radnom ciklusu.

Imajući nadalje u vidu da tok energije kroz pogonski sistem obezbeđuju elementi - nosioci energije - koji su: stišljiv (vazduh, gas) i nestišljiv (voda, ulje) fluid pod pritiskom, kruti elementi (poluge, rotirajući elementi) itd., što znači da se pogonski sistem može tretirati kao neprekidni lanac energetskih elemenata, to se polazeći od toga, da se u tehnologijama preoblikovanja materijala deformisanjem koristi mehanička energija definisana izrazom.

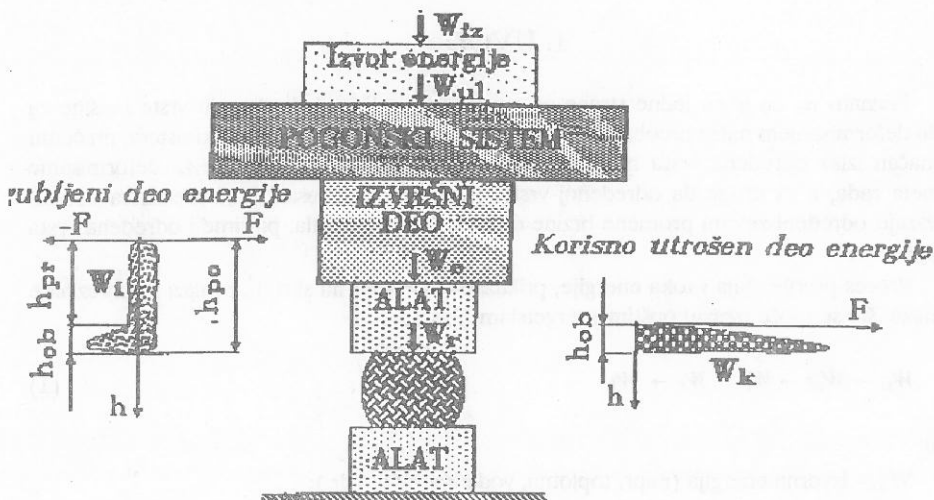
$$W_m = W_s + W_d$$

(3)

gde su: W_m - mehanička energija;

W_s - potencijalna, odnosno stišćka energija i

W_d - kinetička, odnosno dinamička energija,



Slika 1. Shematski prikaz preobražaja i toka energije.

pa analizom vrsta mehaničke energije i vrsta tela, odnosno elemenata pogonskog sistema koji istu obezbeđuju, kao i njihovom mogućom kombinatorikom, može doći do konceptijskih varijanti pogonskog sistema sa energetskog aspekta, što se odražava direktno na konceptijsko-konstruktivno rešenje pogonskog sistema u celini.

2. TIPOVI POGONSKIH SISTEMA

Iz iznetog se vidi da su nosioci i izvori energije koja se koristi u periodu obrade predmeta rada tzv. energetske elementi pogonskog sistema.

Kako ovi elementi, u suštini, različito primaju, akumuliraju i odaju energiju, to se shodno tome mogu definisati četiri osnovna tipa efektivne mehaničke energije, odnosno četiri osnovna tipa pogonskog sistema sa energetske stanovišta:

- pogonski sistem tipa W_{ew} koji koristi kinetičku energiju rotacije odnosno energiju rotirajućeg elementa (zamajca);
- pogonski sistem tipa W_{ev} , koji koristi kinetičku energiju translacije, odnosno energiju materijalnog tela koje se pravolinijski kreće (malja);
- pogonski sistem tipa W_{eI} , koji koristi kinetičku energiju impulsa odnosno energiju udara ili vibrirajućeg tela i
- pogonski sistem tipa W_{ep} , koji koristi potencijalnu energiju, odnosno energiju statičkog pritiska.

Ovim su definisani četiri osnovna tipa pogonskih sistema, koji koriste samo jednu vrstu izloženih osnovnih energija. Međutim, pogonski sistem može biti ostvaren, kako na principu korišćenja jedne od izloženih osnovnih energija, tako i na principu njihovih kombinacija, odnosno korišćenja dve ili više osnovnih energija, pri čemu pogonski sistem može biti, generalno, teorijski rešen tako da se ostvaruje:

- istovremeno dejstvo svih vrsta energija kojima raspolaže pogonski sistem i
- fazno pomereno dejstvo energija kojima raspolaže pogonski sistem.

Pri istovremenom dejstvu svih vrsta energija, a korišćenjem matematičkog izraza za izračunavanje broja kombinacija kada postoji n - elemenata i k - vrsta:

$$\binom{n}{k} = \frac{n!}{k!(n-k)!} \quad (4)$$

dobija se 15 mogućih vrsta pogonskog sistema sa energetske aspekta, prikazanih u tablici T-1., do kojih se došlo na osnovi toga da je broj osnovnih energija: $n = 4$, pa za:

- $k = 2$, kada je pogonski mehanizam projektovan tako da koristi istovremeno dve osnovne vrste energija, se dobija:

$$\binom{4}{2} = 6 \quad (5)$$

odnosno, u slučaju fazno pomećenog dejstva energija, broj mogućih kombinacija je:

$$N_2 = 6 + 6 \cdot 2! = 18 \quad (6)$$

Tablica T-1. Energetske varijante pogonskog sistema

| | | |
|--|---------------------------------------|--|
| $W_{supr} = W_{eu} + W_{ep} + W_{ev}$ | $W_{euvi} = W_{eu} + W_{ev} + W_{ei}$ | |
| $W_{sup} = W_{eu} + W_{ep}$ | $W_{euvi} = W_{eu} + W_{ev}$ | $W_{evi} = W_{ev} + W_{ei}$ |
| $W_{eu} = W_{eu} + W_{ei}$ | $W_{ep} = W_{ep} + W_{ei}$ | $W_{ev} = W_{ev} + W_{ep}$ |
| $W_{supi} = W_{eu} + W_{ep} + W_{ei}$ | $W_{epi} = W_{ep} + W_{ei}$ | $W_{evpi} = W_{ev} + W_{ep} + W_{ei}$ |
| $W_{euvi} = W_{eu} + W_{ev} + W_{ei} + W_{ep}$ | | |
| <div><div>↓</div>Kinetička energija translacije</div> <div><div>↺</div>Kinetička energija rotacije</div> <div><div>↓</div>Kinetička energija impulsa</div> <div><div>↓↓↓</div>Potencijalna energija pritiska</div> | | <div><div>▨</div>Izvršni deo</div> <div><div>▤</div>Alat</div> <div><div>▩</div>Predmet rada</div> |

- za $k = 3$, kada pogonski mehanizam koristi istovremeno tri osnovne vrste energija:

$$\binom{n}{k} = 4 \quad (7)$$

odnosno, u slučaju fazno pomećenog dejstva energija, broj mogućih kombinacija je:

$$N_3 = 4 + 4 \cdot 3! = 28 \quad (8)$$

- i za $k = 4$, kada pogonski mehanizam koristi istovremeno sve četiri osnovne vrste energija:

$$\binom{n}{k} = 1 \quad (9)$$

odnosno, u slučaju fazno pomećenog dejstva energija, broj mogućih kombinacija je:

$$N_4 = 1 + 1 \cdot 4! = 25 \quad (10)$$

Koncepcijsko-konstruktivski tip mašine (K_i) zavisi od energetskog tipa pogonskog sistema, što se matematički može izraziti sa:

$$K_i = K(We_j) \quad (i = 1, 2, \dots) \quad (j = p, v, \omega, i, \omega p; v\omega, \dots, v\omega p, \dots v\omega p_i) \quad (11)$$

pri čemu se iz iznetog vidi da je ukupni teorijsko mogući broj kombinacija $K_i = 75$.

Mašine različitog energetskog tipa pogonskog sistema se međusobno razlikuju, s jedne strane po koncepcijsko-konstruktivskom rešenju, kako pogonskog sistema tako i mašine u celini, a sa druge strane, kako po dinamičkim performansama, odnosno promeni zakona dejstvjuće sile izvršnog dela mašine na obradak, tako i po kinematičkim performansama, odnosno zakonima promene brzine za vreme procesa oblikovanja materija

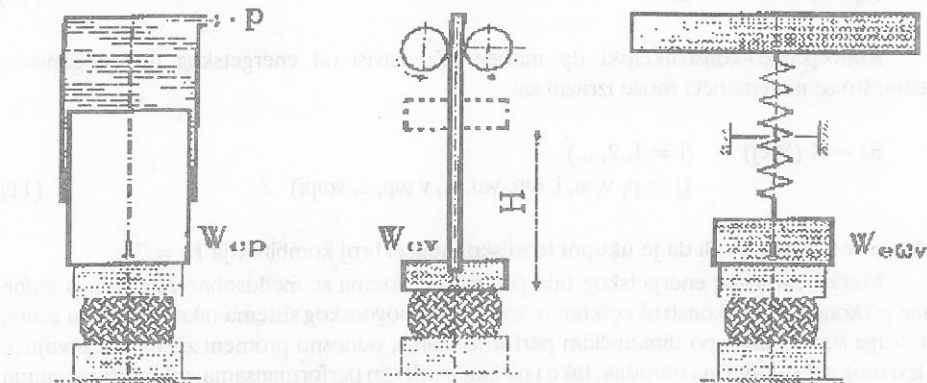
Tablica T-2. Vrednosti brzina deformacije za osnovne postupke

| Postupci plastičnog preoblikovanja metala | Intenzitet brzine deformacije $\dot{\epsilon}$ u s^{-1} | | | | | | | | |
|---|---|-----------|-----------|-----------|---|------|--------|--------|--------|
| | 10^{-4} | 10^{-3} | 10^{-2} | 10^{-1} | 1 | 10 | 10^2 | 10^3 | 10^4 |
| Superplastično | | | | | | | | | |
| Duboko izvlačenje | | | | | | | | | |
| Valjanje u toplom stanju | | | | | | | | | |
| Valjanje u hladnom stanju | | | | | | | | | |
| Visokobrzinsko kovanje | | | | | | | | | |
| Oblikovanje eksplozivom | | | | | | | | | |
| Istiskivanje | | | | | | | | | |

Kako od intenziteta i zakona promene brzine deformacije zavisi pravilnost odvijanja procesa deformisanja određenog materijala određenim tehnološkim procesom, i kako između brzine deformacije i brzine deformisanja postoji direktna međuzavisnost, to je veoma važno imati na umu da od vrste osnovne energije zavisi intenzitet i zakon promene brzine deformisanja,

odnosno intenzitet i zakon promene kretanja radnog tela - 'alata' - elementa koji neposredno dejstvuje na predmet obrade.

Tako, pogonski sistemi koji koriste potencijalnu energiju pritiska obezbeđuju kretanje izvršnom delu mašine, a time i radnom telu (alatu), malim i veoma malim intenzitetom brzine, pa su mašine sa ovakvim pogonskim sistemom pogodne za superplastično deformisanje materijala i duboko izvlačenje (u tablici T-2. vidi vrednosti brzina deformacije za osnovne tehnološke postupke).



Slika 3. Shematski prikaz različitih energetskih tipova pogonskih sistema:

a. - tipa W_{ep} , b. - tipa W_{cv} i c. - tipa W_{eov} .

Pogonski sistemi koji koriste energiju impulsa imaju izraženo velike intenzitete brzina deformisanja, pa se koriste za visokobrzinsko kovanje, sačmarenje, oblikovanje eksplozivom i dr.

Pogonski sistemi koji koriste kinetičku energiju rotacije i translacije obezbeđuju brzine deformisanja čiji se intenziteti kreću između ova dva ekstremna slučaja, pa su mašine sa ovakvim pogonskim sistemom tehnološki pogodne za operacije koje se obavljaju u domenu tzv. srednjih brzina deformisanja.

Generalno se može reći da izbor energetskog tipa pogonskog sistema zavisi od:

- oblika i dimenzija predmeta rada;
- vrste i svojstava materijala od kog se izrađuje elemenat;
- termo-mehaničkog režima deformisanja u procesu preoblikovanja obradka i
- od vrste tehnološke operacije, odnosno tipa zakona promene deformacione sile u funkciji hoda izvršnog dela mašine:

$$F = F(h) \quad (12)$$

Ilustracije radi na slici 3., shematski je prikazan pogonski sistem sa efektivnom energijom:

- pod a. - tipa W_{ep} (hidraulična presa),
- pod b. - tipa W_{cv} (slobodnopadajući čekić) i
- pod c. - tipa W_{eov} (zavojna presa).

3. ENERGETSKI STEPEN FLEKSIBILNOSTI

Imajući u vidu, sa jedne strane:

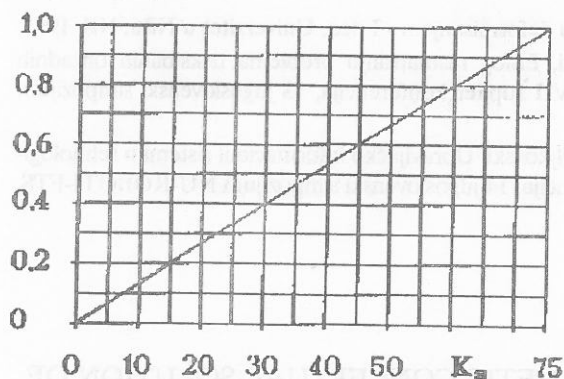
- veoma široku lepezu tehnoloških metoda obrade materijala deformisanjem, pa s tim u vezi obilje zajedničkih i posebnih meritornih uticajnih faktora od kojih zavisi valjanost odvijanja procesa, što se u konačnom odražava na kvalitet izradka;

- vrste raspoloživih energija i mogućih principa na kojima se bazira rad i dejstvo pogonskih mehanizama, te intenziteta radnih opterećenja i zakona njihovih promena;

- obilje konceptijsko-konstruktivnih rešenja ostalih podsistema mašina za obradu deformisanjem, koji omeđuju pogonski sistem (noseća struktura, izvršni deo, i dr.) ili su u neposrednoj vezi sa njim (upravljački sistem, sistem za podmazivanje, i dr.) i

- povezanosti pogonskog sistema sa drugim elementima mašine, odnosno obradnog sistema u celini (nosećom strukturom, sistemom podmazivanja, upravljačkim sistemom, sistemima mehanizacije i automatizacije, itd.),

i sa druge strane opšti razvoj elemenata mehanizacije i automatizacije, a naročito elektronike, što je od vitalnog interesa za razvoj moćnih upravljačkih sistema, dolazi se do jasnog zaključka da se stvaraju uslovi za realizaciju fleksibilnih mašina za obradu deformisanjem sa energetskog aspekta.



Slika 4. Zavisnost $\eta_w = \eta(K_s)$.

Kako je sa K_i obeleži ukupni teorijski broj energetskih kombinacija koje mašina može da ostvari, i ako se sa K_s obeleži stvarni broj mogućih kombinacija, tada se može definisati tzv. energetski stepen fleksibilnosti mašine relacijom:

$$\eta_w = \frac{K_s}{K_i} \quad (13)$$

odnosno, na osnovi dobijenog da je $K_i = 75$:

$$\eta_w = \frac{K_s}{75} \quad (14)$$

čija je grafička interpretacija data na slici 4.

4. ZAKLJUČAK

Na osnovi svega iznetog mogu se izvući sledeći zaključci, i to:

1. Spovedena identifikacija i klasifikacija mašina za obradu deformisanjem po vrstama energije, sa jedne strane, a sa druge, s obzirom na razvoj elektronike i računarske tehnike, mogućnost ostvarenja programskog upravljanja mašinama ovog tipa, ukazuju na široke mogućnosti kreiranja mašina u tehnologijama plastičnosti visoke fleksibilnosti sa energetskog aspekta.
2. Definisani energetski stepen fleksibilnosti je pogodan za sprovođenje analiza u cilju ocene fleksibilnosti konceptijskih rešenja mašina u tehnologijama plastičnosti.
3. Da je zavisnost energetskog stepena fleksibilnosti od broja mogućih kombinacija koje mašina može da ostvari linearna funkcija.

Literatura

- /1./ P. Popović, Mašine za obradu deformisanjem - I deo, Univerzitet u Nišu, Niš, 1991.
- /2./ P. Popović, D. Temeljovski, Prilog rasmatranju problema fleksibilnih obradnih sistema u tehnologijama plastičnosti, XVII Jupiter konferencija, 13 jugoslovenski simpozijum NU-ROBOTI_FTS, Kopaonik, 1991.
- /3./ J. Ristić, P. Popović, D. Temeljovski, Upravljačko informacioni sistemi u tehnologijama plastičnosti, XVIII Jupiter konferencija, 14 jugoslovenski simpozijum NU-ROBOTI_FTS, Kopaonik, 1992.

P. Popović, D. Temeljovski

INFLUENCE OF THE ENERGETIC CONCEPTUAL SOLUTION OF THE METAL FORMING MACHINES ON THEIR POSSIBLE FLEXIBILITY

S u m m a r y

This paper gives a classification of the metal forming machines according to the kind of energy used for remodelling of workpieces and thus a number of possible theoretical thus conceptual solutions of these machines is reached.

Starting from a possible number - from the energetic aspect - of variances of these machines and from the fact that by the program control their capabilities (performances) can be easily and quickly adapted to the process, an energetic degree of flexibility is defined as an indicator of these machines ability to adapt to the change of the process demands.

METOD KONAČNIH ELEMENATA U ANALIZI OBRADE PLASTIČNIM DEFORMISANJEM*

*Prof. dr Milisav Kalajdžić, dipl. maš. inž.
Mašinski fakultet, Beograd, 27. marta 80*

1. UVOD

Permanentni prodor kompjuterskih tehnika (computer - aide engencering - CAE, design - CAD and manufacturing - CAM) i u industriju prerade metala u delu tehnologija koje se odnose na plastično deformisanje, posebno je intezivan u poslednjoj deceniji (napr. /1-7/) sa značajnim trendom koji se odnosi na procese simulacije i procese projektovanja u širem smislu.

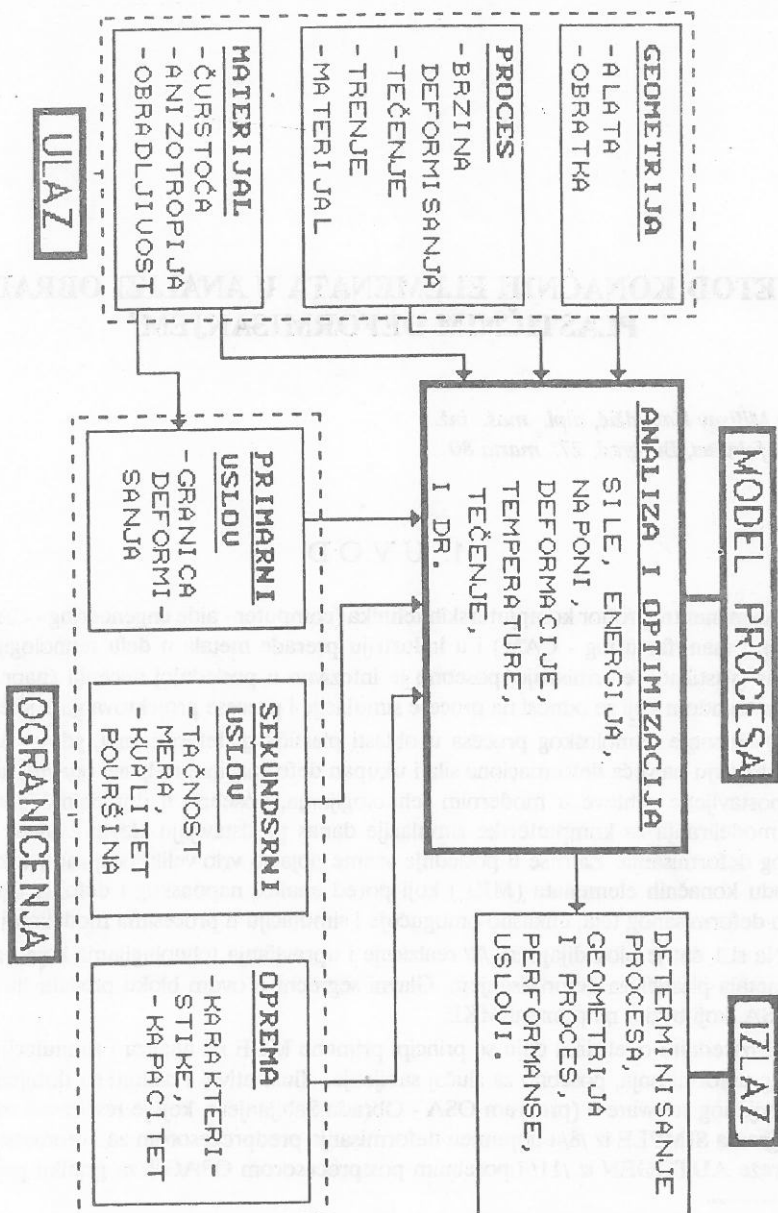
Definisanje tehnološkog procesa u oblasti plastičnog deformisanja, gde se kao glavni faktori određuju najveća deformaciona sila i ukupan deformacioni rad, vve odavno ne zadovoljavaju postavljene zahteve u modernim tehnologijama, posebno u domenima optimizacija. Proces modeliranja za kompjuterske simulacije danas predstavljaju glavni zadatak u oblasti plastičnog deformisanja. Zato se u poslednje vreme pojavio vrlo veliki broj radova koji bazira na metodu konačnih elemenata (MKE) koji pored analize naponskog i deformisanog stanja plastično deformisanog tela, efikasno omogućuje i simulaciju u procesima modeliranja.

Na sl.1 dat je blok dijagram /8/ realizacije i upravljanja tehnologijama koje baziraju na obradi metala plastičnim deformisanjem. Glavni segment u ovom bloku predstavlja MODEL PROCESA, koji bazira na primeni MKE.

U narednim odeljcima daju se principi primene MKE na analizu i simaulaciju procesa plastičnog deformisanja, posebno za slučaj sabijanja. Ilustrativni rezultati su dobijeni korišćenjem razvijenog software-a (program OSA - Obrada Sabijanjem, koji je realizavan modifikacijom programa SIMPLE iz /8/ i dopunjen deformisanja predprocesorom za automatsko generisanje mreže AUTOGEN iz /11/ i posebnim postprocesorom OSAGR za grafiku prezentaciju

* Rad predstavlja deo projekta *Fleksibilni tehnološki sistemi u čijem finansiranju učestvuje i Republički fond za tehnološki razvoj Srbije*

rezultata i animaciju procesa sabijanja). Ceo paket je realizovan u QBASIC-u i instalise se sa jednostavnim pristupom na IBM PC računare i kompatibilne sa potrebnom podrškom MS DOS-a.

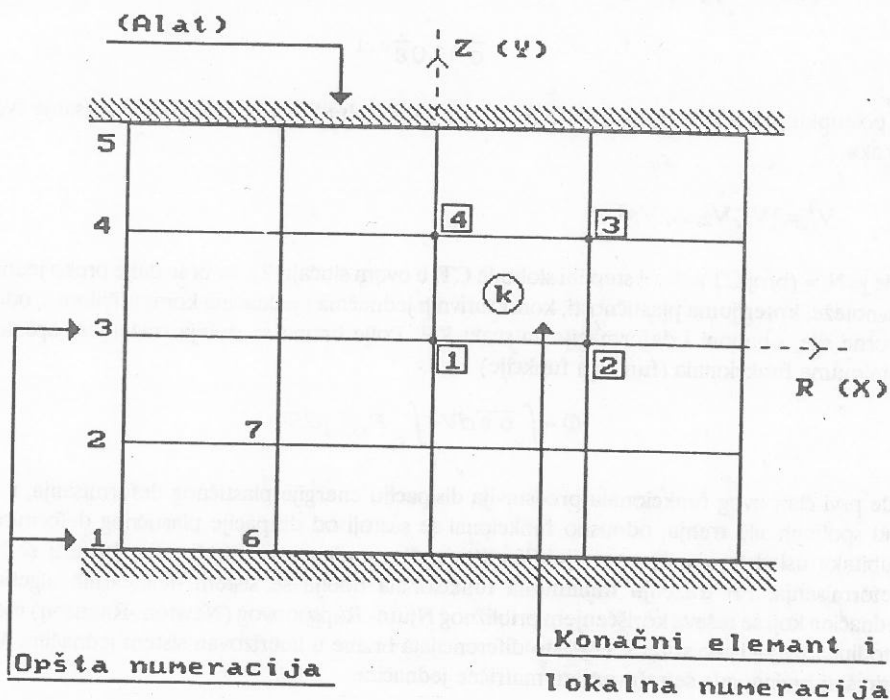


SI.1 - Blok dij. realizacije i upravljanja procesima

2. KRUTO-PLASTIČNI KONAČNI ELEMENTI

Klasifikacija čvrstih tela u matematičkom modeliranju se zasniva na karakteru zavisnosti napon-deformacija. U tom smislu može se govoriti o krutim (nedformabilnim) telima, idealno plastičnim, kruto-plastičnim i elasto - plastičnim telima. Kada se govori o elasto-plastičnim telima, a u kontekstu obrade metala plastičnim deformisanjem, onda u ovu oblast pripada veći broj metoda obrade plastičnim deformisanjem u hladnom stanju. Međutim kada se radi o obradi, pre svega punih tela, onda je u pitanju obrada u toplom stanju i matematički model čvrstog tela odgovara kruto plastičnom telu, bez obzira na karakter zavisnosti napon-deformacija u oblasti plastičnosti.

Teorijske osnove, uz princip MKE za elasto-plastične modele, date su ranije (napr. /9-10/), i u suštini su dosta slične analizi u oblasti elastičnosti, naravno uz određene teškoće i probleme u rešavanju konkretnih zadataka. Međutim, kada se radi o kruto plastičnim modelima, problem analize i simulacije je jednostavniji.



Sl.2-Mreža KE sa opštom i lokalnom numeracijom

U proceduri primene MKE, određeni domen kruto plastinog tela deli se mrežom na konačne elemente pravilnog geometrijskog oblika, kako je to pokazano na sl.2. Mreža KE je definisana opštom numeracijom čvornih tačaka (CT) i lokalnom numeracijom svakog KE u određenom smeru. Za Hxmenuti program OSA predviđeni su konačni elementi u obliku pravougaonika za analizu i proraun osnosimetričnih i ravanskih problema.

Osnovni princip primene MKE za kruto plastične materijale bazira na primeni osnovnih jednačina teorije plastičnosti, a posebno na primeni kriterijuma plastičnog deformisanja koji se daje u obliku

$$\bar{\sigma}^2 = \frac{2}{3} (\sigma_{ij} \sigma_{ij}) \quad (1)$$

gde su - intezitet napona i - devijatori napona. Intezitet brzine deformacije daje se kao

$$\bar{\epsilon}^2 = \frac{2}{3} (\dot{\epsilon}_{ij} \dot{\epsilon}_{ij}) \quad (2)$$

gde su $\dot{\epsilon}_{ij}$ - brzine deformacije.

Opis kruto plastičnog tela daje se u ovom slučaju kao

$$\bar{\sigma} = 1.0 \bar{\epsilon}^{0.1} \quad (3)$$

U postupku proračuna pomoću MKE neophodno je odrediti polje brzina deformisanja čvornih tačaka

$$\mathbf{V}^T = [V_1, V_2, \dots, V_N] \quad (4)$$

gde je $N = (\text{broj CT}) \times (\text{broj stepeni slobode CT, u ovom slučaju 2})$, da bi se dalje preko jednačina ravnoteže, kriterijuma plastičnosti, konstitutivnih jednačina i jednačina kompatibilnosti, odredile čvorne sile, i naponi i deformacije za svaki KE. Polje brzina se dobija traženjem apsolutnog minimuma funkcionala (funkcija funkcije)

$$\Phi = \int_V \bar{\sigma} \bar{\epsilon} dV - \int_{S_f} \mathbf{F}_i \mathbf{u}_i dS \quad (5)$$

gde prvi član ovog funkcionala predstavlja disipaciju energije plastičnog deformisanja, a drugi rad spoljnjih sila trenja, odnosno funkcional se sastoji od disipacije plastičnog deformisanja i gubitaka usled trenja. Na površini S_f postoje sile trenja, a na površini S_v definišu se brzine deformisanja. Pri traženju minimuma funkcionala dobija se sistem nelinearnih algebarskih jednačina koji se rešava korišćenjem približnog Njutn- Rapsonovog (Newton -Raphson) metoda, i to linearizujući ceo sistem. Umesto diferencijala brzine u linerizovan sistem jednačina daje se priraštaj brzina, gde se rešavanjem matrične jednačine

$$K \Delta \mathbf{v} = \mathbf{f} \quad (6)$$

gde je K matrica krutosti a \mathbf{f} rezidualni vektor čvornih sila, vrši konačna popravka polja brzina deformisanja. Linearni sistem jednačina se rešava direktnim iteracijskim postupkom, gde je u ovom programu OSA za grešku predviđena vrednost od 0.00005. Celokupna procedura proračuna, posle definisanja mreže KE i graničnih uslova sastoji se u sledećem:

- Predviđeni stepen sabijanja deli se na određen broj segmenata koji podeljeni sa vremenskim priraštajem (inkrement) predstavljaju priraštaj brzina deformisanja CT,

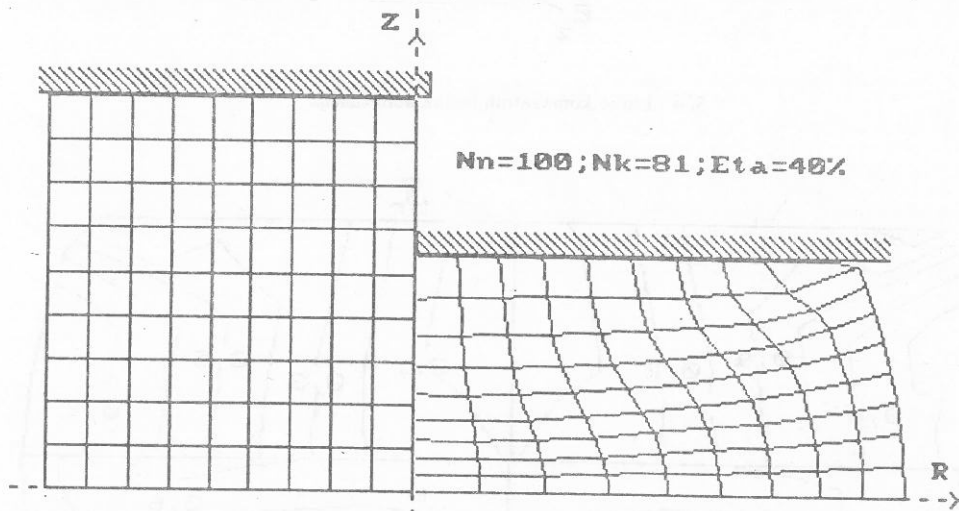
- U prvom koraku formira se ukupan potencijal sistema i vrši njegova linearizacija preko Njutn-Rapsonovog postupka, gde je neophodna konvergencija rešenja,

- Ukoliko postoji konvergencija, formira se sistem jedn.(6) za svaki vremenski inkrement, uz neophodnu korekciju geometrije modela i karakteristika materijala. Ovde treba naglasiti suštinsku razliku u rešavanju problema u oblasti elastičnosti ili elasto - plastičnosti u odnosu na kruto plastične probleme. U prvom slučaju se za zadate sile traže deformacije, naponi i sl., a u drugom slučaju se za zadate pomeraje (odnosno stepen deformacije) traže sile, naponi, brzine deformacije, deformacije i ukupna promena geometrije modela.

3. JEDAN PRIMER SLOBODNOG SABIJANJA

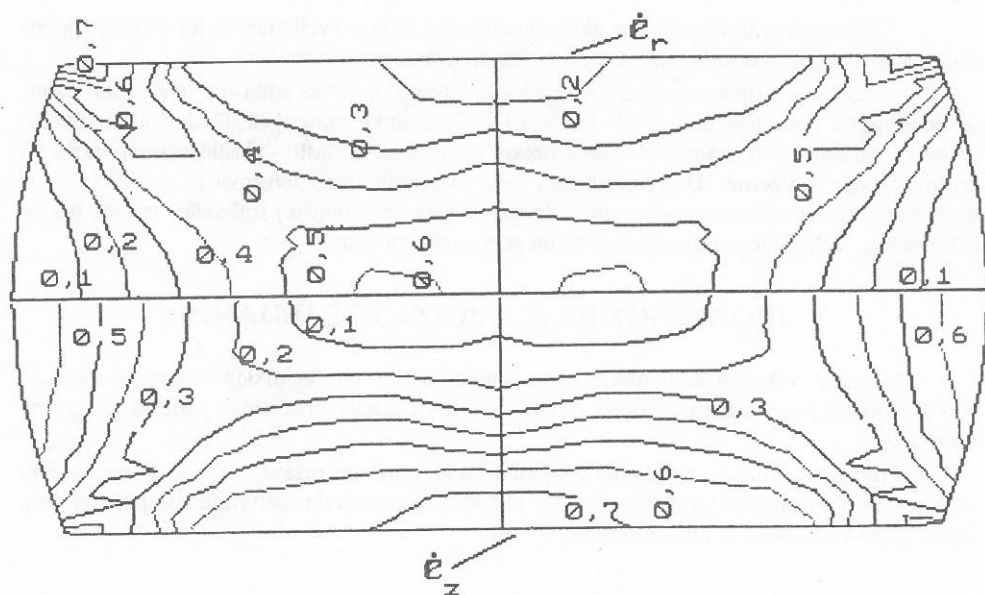
Na sl.3 je prikazan jedan diskretizovan model sa odgovarajućim deformisanim modelom koji je dobijen proračunom pomoću programa OSA i grafiki procesiran pomoću programa OSAGR.

Prikazan primer se odnosi na cilindrično telo, odnosno rešavan je kao osnosimetrični problem. Diskretizacija je izvršena sa 100 CT i 81 KE i to samo jedne četvrtine tela, pošto postoji simetrija po vertikalnoj Z i horizontalnoj R - osi.

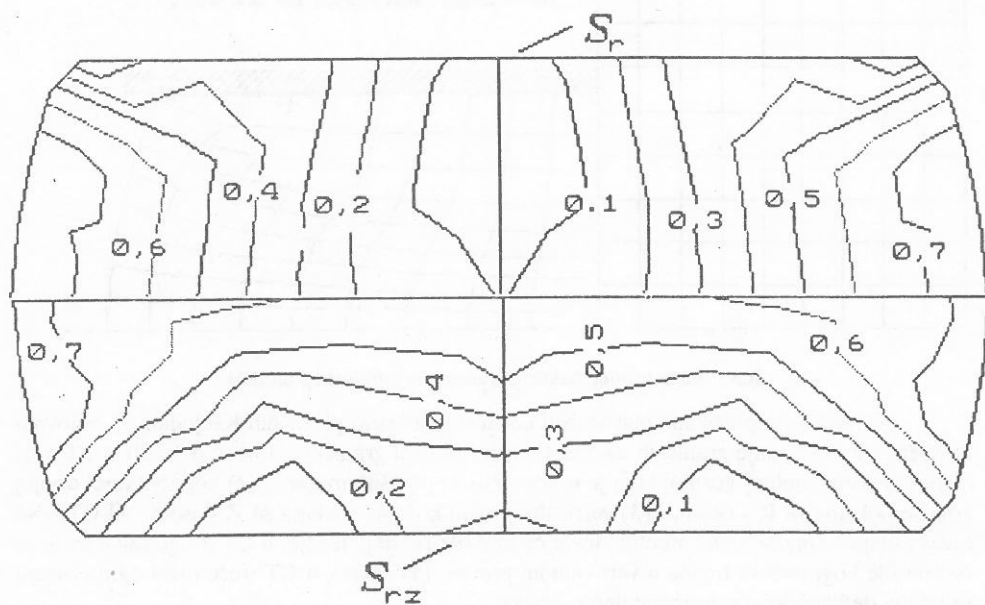


Sl.3 - Jedan primer diskretizovanog i deformisanog modela

Pri rešavanju problema plastičnosti korišćenjem kruto plastičnih KE jedan od osnovnih problema je definisanje graničnih uslova. U ovom slučaju granični uslovi se definišu u CT u tri ravni (1) horizontalnoj gornjoj koja je u kontaktu sa površinom alata, (2) horizontalnoj donjoj koja se poklapa sa R - osom, i (3) vertikalnoj ravni koja se poklapa sa Z - osom. U CT prve ravni zadaju se brzine deformisanja, traže čvorne sile i zadaje trenje, u CT druge ravni traže se čvorne sile i ograničava brzina u vertikalnom pravcu, i konačno, u CT treće ravni ograničavaju se brzine deformisanja u horizontalnom pravcu.



Sl.4 - Linije konstantnih brzina deformacija



Sl.5 - Linije konstantnih napona

Na sl.4 su, primera radi, date za primer sa sl.3 linije konstantnih brzina deformacija u radijalnom i vertikalnom pravcu, a na sl.5 linije konstantnih napona, i to normalnih u radijalnom pravcu i smičućih. Ove linije su date u sedam normiranih, relativnih nivoa (od 0,1 - 0,7).

Inače, proračun za navedeni primer je izvršen u 20 vremenskih inkremenata i za koeficijent trenja između materijala i gornje ploče alata od 0,5. Navodi se još da je ceo proračun izveden u oko 250 iteracija (Njutn -Rapsonovih i direktnih) i da vreme proračuna na IBM PC AT računaru iznosi oko 175 min. Jedno od osnovnih pitanja kod primene MKE uopšte, odnosi se na konvergenciju rešenja u funkciji broja konačnih elemenata. Iako je poznato da je konvergencija kod osno simetričnih problema vrlo brza, u ovom slučaju se iz navedenog primera vidi da broj KE praktično ne utiče na krajnji rezultat.

Tabela 1.

| Nk | Nn | Fmax | Rmax | t /min/ |
|----|-----|--------|--------|---------|
| 81 | 100 | 100 | 100 | 175 |
| 16 | 25 | 100.41 | 100.41 | 36 |

U tabeli 1. dati su uporedni rezultati za najveću silu i najveću koordinatu po R - osi za slučaj proračuna sa 81 i sa 16 KE. Razlika za ove dve veličine iznosi svega 0,41%, dok je razlika u vremenu proračuna skoro trostruka.

Tabela 2.

| Nk | Nink | Fmax | Rmax | t /min/ |
|----|------|-------|-------|---------|
| 16 | 20 | 100 | 100 | 36 |
| 16 | 16 | 0.999 | 0.999 | 32 |
| 16 | 10 | 0.996 | 0.961 | 24 |
| 16 | 5 | 0.990 | 0.889 | 13 |

Uticao broj vremenskih inkremenata na tačnost dobijenih rezultata dat je u tabeli 2. Za model od 16 KE i za broj inkremenata od 5 do 20 razlika za silu je neznatna, dok je za geometriju nešto veća, ali sa smanjenjem broja inkremenata znatno se smanjuje vreme proračuna.

4. UMETO ZAKLJUČKA

Zaključci koji slede iz kratke gornje analize važe praktično za slučaj slobodnog sabijanja. No određeni problemi i u tom slučaju postoje, a odnose se pre svega na pitanje trenja i konvergenciju Njutn-Rapsonove iteracije za veće stepene sabijanja. Isto tako, iako se rezultati dobijeni pomoću programa OSA slažu na test primerima sa rezultatima iz literature (napr.7/), ostaje i pitanje potrebe eksperimentalne verifikacije.

U ovom radu nije razmatrano pitanje sabijanja u kalupima. Ovde se navodi da su i za ovaj slučaj dobijeni upotrebljivi rezultati, kao i to da se tu kao osnovni problem nameće pitanje promene graničnih uslova u toku izvršenja programa.

- /1/ K. Roll, K.Lange, Possibilities for the Use of the Finite Element Method for the Analysis of Bulk Metal Forming Processes, Ann CIRP, Vol.31/1/1982,145-150
- /2/ K. Osokad, K. Mori, H. Kudo, The Use of Micro - and Supercomputers for Simulation of metal Forming Processes, Ann CIRP, Vol. 34/1/1985,241-244
- /3/ T. Wanheim, C. Fischeleim, Y.Yoshida, Strain Measurements in 3-D Somulation of Metal Forming Processes, Ann CIRP, Vol. 35/1/1986,165-172
- /4/ F. Yoshida, T. Wanheim, The Method for the 3-D Strain and Strain Rate Analyses in Visioplasticity, Ann CIRP, Vol. 37/1/1988,221-224
- /5/ K. Osakada, G.-B. Yang, T. Nakamura, K. Mori, Expert System for Cold-Forging Process Based on FEM Simulation, Ann CIRP, Vol. 39/1/1990,249-252
- /6/ J.-F. Fontane, J.-C. Gelin, A Finite Element Analysis of High-Speed MetalForming Processes, Ann CIRP, Vol. 40/1/1991, 277-280
- /7/ M. Her...mWilhelm, P.Kcek, K. Lange, Process Simulation of Metal-Forming: Some Examples, Ann CIRP, Vol. 40/1/1991,285-289
- /8/ S. Kobayashi, Soo-Ik Oh, T. Altan, Metal Forming and the Finite-Element Meyhod, Oxford Univ. Press (1989)
- /9/ E. P. Unksov, A. G. Ovinnikov (redakcija), Teorija plastieskih deformacij metallov, Mainostrojenije, Moskva (1983)
- /10/ M. Kalajdi, Tehnologija mainogradnje, Mainski fakultet, Beograd (1991)
- /11/ M. Kalajdi, Mekelba plus, 18. JUPITER konferencija, 5. Yu simpozijum CAD/CAM, Kopaonik (1992), str. 7 - 14

USING FINITE-ELEMENT METHOD IN METAL FORMING ANALYSIS

*Prof. dr Milišav Kalajdzic,
Mechanical Engineering Faculty, Belgrade*

S u m m a r y

The paper describes applications of FEM in metal forming analysis and forces, stresses and strains calculations. The software, including grafical postprocessor, description for the case of simple compresion is given. For the examples of compresion of rigid plastic materials, influences of finite elements number and number of increments on the results are shown.

MOGUĆNOST ODREĐIVANJA KONTAKTNIH NAPONA KOD ZAPREMINSKOG DEFORMISANJA

*Plančak M., Vilotić D., Trbojević I.,
Institut za proizvodno mašinstvo, Laboratorija za tehnologiju plastičnosti,
Univerzitet u Novom Sadu*

1. UVOD

Jedna od osnovnih karakteristika hladnog zapreminskog deformisanja jeste pojava velikih vrednosti sila u procesu. Zbog kompleksnosti mehanizma deformisanja, varijabilnih graničnih uslova, kontinualne promene oblika komada za vreme obrade - sila koja deluje na materijal nije ravnomerno raspoređena po površini kontakta alat-materijal. Na određenim mestima tog kontakta pojavljuju se naponski "vrhovi" tj. veoma visoke vrednosti kontaktnog napona.

Poznavanje rasporeda i veličine kontaktnih napona od izuzetnog je značaja kako sa stanovišta teoretske analize procesa deformisanja (kontaktni napon je granični uslov ukupnog naponskog sistema u obratku), tako i sa stanovišta alata (visoki kontaktni naponi mogu dovesti do povećanog habanja alata pa i do prevremenog loma).

U ovom radu analiziraju se mogućnosti određivanja kontaktnih napona kod zapreminskog deformisanja, a takođe se u okviru eksperimentalnog dela rada daje sopstveni prilog komparaciji pojedinih metoda.

2. TEORETSKE I EKSPERIMENTALNE MOGUĆNOSTI ODREĐIVANJA KONTAKTNIH NAPONA

Egzaktna teoretska rešenja u domenu problematike kontaktnih napona, sem u izuzetnim slučajevima, nisu moguća. Bez obzira o kojoj se teoretskoj metodi radi, za određivanje veličine napona neophodno je uvođenje određenog broja pretpostavki i pojednostavljenja, što se neminovno odražava na tačnost dobijenih rezultata.

Mogućnost identifikacije kontaktnih napona metodom rešavanja jednačina teorije plas-

tičnosti ograničena je na veoma mali broj slučajeva i kao takva nema većeg značaja. Pojednostavljenja koja se uvode u cilju omogućavanja integracije jednačina ravnoteže objektivno spuštaju ovu metodu na nivo "inženjerskih metoda".

Veliki značaj i puno prostora u literaturi dato je metodi linije klizanja. Ova metoda je sa matematičkog stanovišta veoma precizna i može pružiti niz informacija o procesu. Istraživanja su pokazala da se rezultati dobijeni metodom linije klizanja dobro slažu sa eksperimentalnim rezultatima.

Neki nedostaci ove metode (ograničenost na ravanske probleme, nemogućnost uzimanja u obzir ojačanja materijala i kontaktnog trenja) u poslednje vreme se manje-više uspešno rešavaju. Ipak, primenljivost metode linije klizanja ograničena je njenom matematičkom glomaznošću i sporošću dolaženja do rezultata. Za svaki priraštaj deformacije potrebno je konstruisati novo polje linija klizanja, što često bez prethodnih eksperimentalnih istraživanja, predstavlja velike teškoće i zahteva iskustvo pa i intuiciju istraživača.

Metoda gornje granice, pogotova njena grafička varijanta, veoma je pogodna za brzo određivanje veličine deformacione sile, deformacionog rada i srednjeg pritiska na alat. Kao i kod linija klizanja, i kod ove metode odlučujući značaj na tačnost rezultata ima tačnost određivanja kinematskog polja unutar tela koje se analizira.

Nagli razvoj elektronskih računara uslovio je pojavu jednog broja numeričkih metoda od kojih je, za sada, najširu primenu našla metoda konačnih elemenata. Ovom metodom moguće je odrediti sve elemente naponsko deformacionog stanja kako po zapremini tela tako i na graničnim površinama. Metoda konačnih elemenata našla je punu afirmaciju i široku primenu pri rešavanju elastičnih (linearnih) problema, dok su mišljenja o primeni ove metode na probleme plastične deformacije podeljena i često kontradiktorna. To je delimično i razumljivo s obzirom na kratak vremenski period u kome se ova metoda koristi i s obzirom da još ne postoji jedinstven pristup korišćenja KE u analizi procesa deformisanja.

Teorijsko-eksperimentalna metoda visioplastičnosti je jedna od retkih metoda kojom se može analizirati naponsko-deformaciono stanje po zapremini i na kontaktu alat-materijal u realnom materijalu. Kontaktni naponi se pomoću ove metode dobijaju rešavanjem jednačine ravnoteže, koristeći komponente brzine deformacije. Ove komponente određuju se eksperimentalno, analizom deformisane mreže koja je naneta na meridijalnu ravan radnog komada. Na tačnost rešenja veliki uticaj ima eksperimentalna procedura određivanja kinematskog polja, pa joj zbog toga treba posvetiti izuzetnu pažnju.

Najnoviji razvoj u domenu teoretskog određivanja kontaktnih napona predstavlja tzv. UBET-PE tehnika /1/, /6/, /8/ koja se bazira na modifikovanoj UBET (Upper bound elemental technique) metodi /2/, /3/. U ovoj tehnici koriste se osnovne postavke gornje granice, s tim što se u obratku, na mestu gde se želi odrediti kontaktni napon uvodi tzv. imaginarni element koji se zatim posebno analizira. Vrš se varijacija brzinskog polja imaginarnog elementa u odnosu na alat koja kao krajnji rezultat daje vrednost kontaktnog napona između alata i materijala /1/, /6/, /4/, /8/.

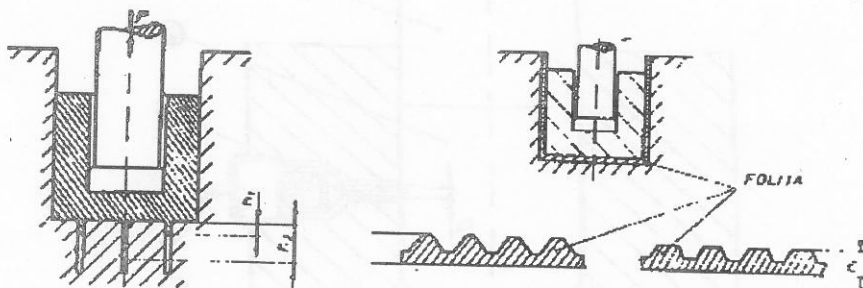
Nemogućnost dobijanja egzaktnih rezultata teoretskim putem kao i potreba za verifikacijom teoretskih rezultata uslovlili su razvoj jednog broja eksperimentalnih metoda za određivanje kontaktnih napona. Jedna od najstarijih eksperimentalnih metoda jeste kvalitativno određivanje rasporeda normalnih napona na kontaktnoj površini pomoću alata sa određenim otvorima na svojoj površini. Ti otvori mogu biti kružnog ili oblika proreza. Prilikom procesa deformisanja

materijal ispunjava određene otvore u alatu. Visina do koje je materijal prodro u predviđene otvore predstavlja kvalitativnu meru veličine normalnog napona na mestu otvora.

Na slici 1 prikazana je mogućnost merenja kontaktnih napona na dnu matrice kod suprotno-smernog istiskivanja pomoću alata sa kružnim otvorima.

I pored toga što u novije vreme postoje pokušaji kvantificiranja ove metode, njen značaj je veoma ograničen. Osnovni razlog za to je ometanje toka materijala od strane otora u alatu.

Na drugačijem principu zasnovana je metoda folija (slika 1). Na tankoj mesinganoj foliji izrade se određeni profili. Sa takvom isprofilisanom folijom oblože se sve površine na alatu koje će u toku procesa istiskivanja biti u kontaktu sa materijalom. Za vreme procesa profili na folijama bivaju više ili manje deformisani, već u zavisnosti od veličine kontaktnog napona. Razlika visina profila folije pre i posle deformisanja ($h-h'$) predstavlja kvalitativnu meru veličine normalnog napona. Postupkom prethodnog baždarenja, na ovaj način omogućava se i kvantitativno određivanje kontaktnih napona.



Slika 1 - Alat sa otvorima i metoda folija

Metodom deformisanih folija moguće je identifikovati samo maksimalne napone na određenom mestu, a ne i promenu napona u toku vremena. Ovaj nedostatak objektivno ograničava primenu metode folije za detaljnija istraživanja kontaktnih napona.

Jedan od najefikasnijih načina eksperimentalnog određivanja kontaktnih napona je metoda mernog pipka. Osnovi princip ove metode sastoji se u tome da se na određenom delu površine alata, na kome se želi odrediti kontaktni napon, identifikuje sila pomoću mernog pipka. Vrednost kontaktnog napona dobija se tada kao

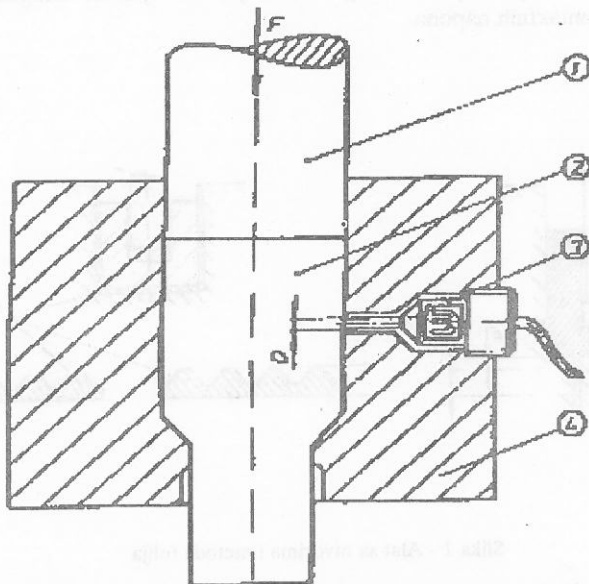
$$\sigma_r = \frac{F}{A} \quad (1)$$

F - sila identifikovana pomoću mernog pipka

A - veličina čeonu površine pipka

Jasno je da se preko gornjeg izraza u stvari dobija napon na čeonj površini pipka "A". No, kako je ta površina veoma mala u odnosu na celokupnu kontaktnu površinu, to se može govoriti o naponu u tački.

Na slici 2 je šematski prikazan alat za merenje radijalnog napona u procesu istosmernog istiskivanja pomoću mernog pipka. Žig (1) deluje na obradak (2) koji se istiskuje kroz profil matrice (4). U zidu matrice nalazi se otvor u kome je smešten merni pipak prečnika "D" (3). U toku procesa radijalna sila koja se pojavljuje na zidu matrice deluje na čeonu površinu pipka i izaziva njegovo elastično deformisanje. Preko veličine ove deformacije dobija se sila "F" koja deluje na čeonu površinu pipka. Poznavajući veličinu sile, kao i presek čeone površine pipka, preko izraza (1) dolazi se do radijalnog napona na zidu matrice na mestu mernog pipka.



Slika 2 - Alat sa mernim pipkom

Postoje razne konstruktivne izvedbe mernog pipka u zavisnosti od vrste procesa u kojem se želi meriti kontaktni napon, od željene tačnosti itd.

Ovom metodom dobijeni su veoma zadovoljavajući rezultati u nekim tehnološkim procesima (sabijanje, valjanje).

Postavljanjem ose pipka prema kontaktnoj površini pod određenim uglom omogućuje se merenje ne samo normalnih napona nego i tangencijalnih. Istina, ovakav način merenja skopčan je sa dodatnim teškoćama kako sa aspekta konstrukcije alata, tako i sa aspekta samog izvođenja eksperimenta.

U tabeli T1 data je komparacija jednog broja metoda za određivanje kontaktnih napona pri čemu su kao kriterijumi komparacije usvojene sledeće karakteristike:

- nivo napona koji se može meriti

- temperatura na kojoj se metoda može primenjivati
- kalibriranje i izvođenje eksperimenta
- tačnost
- pogodnost za primenu

Iz date tabele uočava se da je metoda mernog pipka superiorna skoro po svim kriterijumima u odnosu na druge metode.

3. MERENJE KONTAKTNOG NAPONA U PROCESU SABIJANJA

Metodom mernog pipka meren je kontaktni napon u procesu slobodnog sabijanja cilindra. Merenje je vršeno na različitim radijusima kako bi se dobio raspored normalnog napona po celom kontaktu.

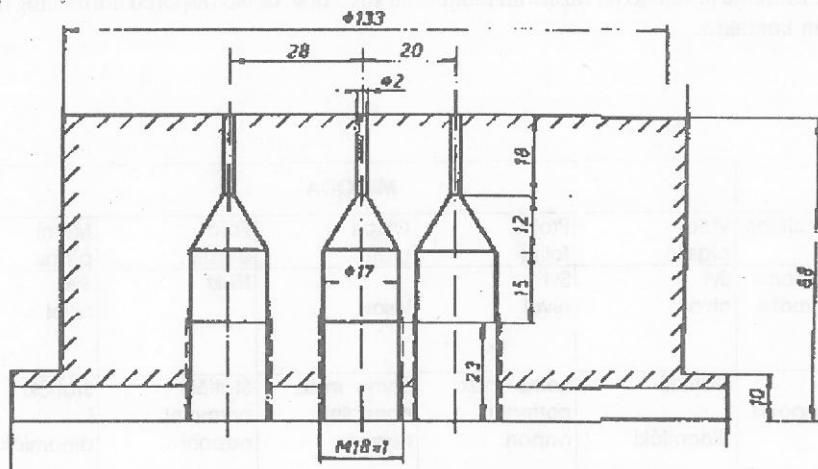
| Karakteristične metode | METODA | | | | |
|---------------------------------|----------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|
| | Vizio plastič. | Profil. folija | Otvori u alatu | Foto elastič. | Merni pipak |
| Nivo napona koji se može meriti | Svi nivoi | Svi nivoi | Visoki | Niski | Svi nivoi |
| Vrsta napona | Statički i dinamički | Samo max. normalni napon | Samo max. normalni napon | Statički normalni naponi | Statički i dinamički |
| Temperatura primene | Hladno i toplo | Hladno i toplo | Hladno i toplo | Sobna temperatura | U nekim slučaj. može i toplo |
| Kalibrisanje | - | 5* | 7* | 4 | 1 |
| Eksperiment | 8* | 4 | 6 | 7 | 2 |
| Tačnost | Zadovoljavajuća | Zadovoljavajuća | Niska | Dobra za koncentraciju napona | Najtačniji od svih analizir. metoda |
| Pogodnost za primenu | Svi procesi | Gde trenje nije veliko | Za visoke pritiske | Ravna naponsko deformac. stanja | Svi procesi |

Tabela T1 - Karakteristike pojedinih metoda za određivanje kontaktnih napona /7/

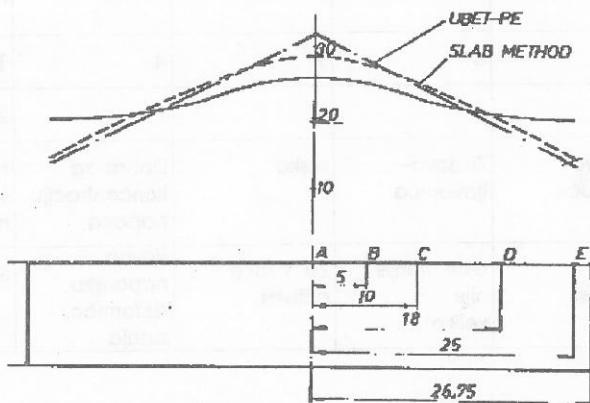
* - veći brojevi indiciraju veću složenost kalibrisanja i eksperimenta

Za merenje kontaktnog napona korišćen je pripremak od aluminijuma, dimenzije $\varnothing 38 \times 19 \text{ mm}$. Prethodnim eksperimentom je određena zavisnost efektivnog napona i deformacije u obliku $\sigma = 8.7 + 6.8\varphi \text{ (daN/mm}^2\text{)}$.

Alat se sastojao iz gornje i donje ravne ploče. U donjoj ploči smeštena su tri merna pipka kojima je simultano meren kontaktni napon na tri različita radijusa: $r = 0$, $r = 20 \text{ mm}$, $r = 28 \text{ mm}$. Merenje napona u ostalim tačkama kontakta ostvareno je relativnim pomeranjem pripremkama pre početka deformisanja u odnosu na merne pipke. Na slici 3 prikazan je donji deo alata (ravna ploča) sa otvorima u koje se smeštaju merne pipke, a na slici 4 dat je raspored normalnog napona po površini kontakta dobijen na 3 različita načina: preko UBET-PE tehnike, eksperimentalno, pomoću mernih pipki i metodom preseka.



Slika 3 - Alat za merenje kontaktnih napona kod sabijanja



Slika 4 - Raspored kontaktnog napona kod slobodnog sabijanja

4. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Nemogućnost egzaktnog rešavanja problema kontaktnih napona klasičnom teorijom plastičnosti, uslovia je razvoj jednog broja numeričkih i eksperimentalnih tehnika. Najnoviji numerički pristup je UBET-PE tehnika koja bazira na metodi gornje granice i kojom je moguće odrediti kontaktne napone na horizontalnim, kosim i vertikalnim kontaktnim površinama.

Od eksperimentalnih metoda merni pipak pruža najveće mogućnosti. Osnovna prednost metode mernog pipka u odnosu na ostale eksperimentalne metode (T1) je dinamički izlaz u realnom vremenu, uz mogućnost simultane identifikacije pada napona na pojedinim mestima kontakta.

U radu je određen raspored kontaktnih napona u procesu slobodnog sabijanja a) eksperimentalno (merni pipak), b) metodom preseka i c) UBET-PE tehnikom. Uočava se sa slike 4 da postoji relativno dobra saglasnost između navedene tri metode, a da je raspored dobijen eksperimentalno ravnomerniji od rasporeda dobijenog metodom preseka i UBET-PE tehnikom.

Dalji rad na polju identifikacije kontaktnih napona u Laboratoriji za tehnologiju plastičnosti u Novom Sadu uglavnom je usmeren na usavršavanje metode mernog pipka kao i osavremenjavanje same tehnike merenja (akvizicija i obrada dobijenih podataka)

LITERATURA

/1/ M. KIUCHI and Y. MURATA: Simulation of contact pressure distribution on tool surface by UBET, Proc. 21 Int. MTDR Conf. Swansea, pp 13-20, 1980.

/2/ A.N.BRAMLEY: Computer Aided Forging Design, Annals of the CIRP, Vol. 36/1/1987.

/3/ F.H.OSMAN: Computerized Simulation of Forging Processes, Ph.D.Thesis, University of Leeds, 1981.

/4/ A.N.BRAMLEY, F.H.OSMAN, M.PLANČAK: Contact pressure in cold extrusion and forging, to be published

/5/ H.IKE: Structure and properties of pressure sensing foil and its application to measurements of distribution of contact pressures over tool surfaces, Proc. 3rd ICTP, Kyoto, 1989.

/6/ P.CHRISTENSEN, N.BAY, A.N.BRAMLEY, F.H.OSMAN: Calculation of local surface stresses in drop forging using UBET, NAMRC Conf., 1986.

/7/ C. TUNCER, T.A.DEAN: Surface stress measurement techniques in metal forming, Int.J.Mach. Tool Manufac., Vol 28, No 4, pp 417-428, 1988.

/8/ P.CHRISTENSEN: Computer aided design of forging dies using the upper bound elemental technique, Ph.D. Thesis, Technical University of Denmark, Lyngby, 1987.

/9/ M.PLANČAK: Determination of pressure distribution in forging processes - Internal report - University Bath, UK, 1988.

MOGUĆNOST ODREĐIVANJA KONTAKTNIH NAPONA KOD ZAPREMINSKOG DEFORMISANJA

REZIME

Poznavanje kontaktnih napona u procesima zapremskog deformisanja je značajno kako sa čisto teoretskog stanovišta tako i sa stanovišta konkretne primene. Veličinu i raspored kontaktnih napona moguće je odrediti teoretskim i eksperimentalnim putem. U radu je dat prikaz određenog broja metoda pomoću kojih je moguće odrediti kontaktne napone, a u eksperimentalnom delu rada prezentirano je merenje tih napona u procesu slobodnog sabijanja cilindra pomoću mernog pipka. Komparirani su rezultati tri različite metode na primeru slobodnog sabijanja.

POSSIBILITIES OF CONTACT STRESS MEASUREMENT IN BULK METAL FORMING

SUMMARY

The knowledge of intensity and distribution of contact pressure over the die surface in bulk metal forming processes is of great importance both from the standpoint of theoretical analysis of the process and the die design. There exist a number of analytical and experimental methods to predict the state of stressing at the die surface. This paper describes some analytical methods. It also includes experimental investigation of upsetting process in which contact stresses were measured by pin load cell technique. Experimental and analytical results were compared.

KONCEPT EKSPERTNOG SISTEMA ZA PROJEKTOVANJE TEHNOLOGIJE KOVANJA PRIZMATIČNIH OTKOVAKA

Dr Vojislav Stoilković, red. prof., Mašinski fakultet Univerziteta u Nišu

Mr Milan Krstić, dipl. inž., IMK "14. Oktobar", Kruševac

Mr Antonija Mirović, asist., Elektronski fakultet Univerziteta u Nišu

1. UVOD

Ekspertni sistemi su namenjeni rešavanju kompleksnih zadataka u veoma uskim, specijalizovanim domenima koji od ljudi zahtevaju veliko znanje, iskustvo ili intuiciju. Radi se, prema tome, o zadacima izmedju čijih se faktora ne mogu uspostaviti egzaktnе matematičke relacije.

Projektovanje tehnologije kovanja prizmatičnih otkovaka predstavlja veoma složeni zadatak. Složenost proističe iz same geometrije otkovka ili gotovog dela dobijenog naknadnom obradom otkovka, koja je najčešće veoma komplikovana za modeliranje, pa zahteva 3D geometrijske modele proizvoda. Tome treba da se doda i veliki broj faktora, koji utiču na sam proces oblikovanja, od kojih se uticaj nekih od faktora ne mogu unapred tačno da procene i definiše. Najzad, pri kovanju prizmatičnih otkovaka ne postoje jednoznačna rešenja koja definišu tehnološki postupak, i to kako sa teorijskog, tako i sa iskustvenog aspekta.

Kod masovne i krupnoserijske proizvodnje prizmatičnih otkovaka teži se usavršavanju postojećih tehnoloških procesa u cilju smanjenja utroška materijala i energije, uz istovremeno povećanje produktivnosti. Da bi se ostvarila ušteda u materijalu potrebno je da dodaci za eventualnu naknadnu obradu budu što manji, odnosno potrebno je obezbediti izradu otkovaka u što užim tolerancijama. Time se smanjuje potreba za naknadnom mašinskom obradom. Međutim, uže tolerancije otkovaka, dovode do potrebe optimalnijeg definisanja tehnologije kovanja, kao i oblika gravura alata, kako bi se povećala postojanost alata. To se do sada najčešće ostvarivalo provođenjem probnih kovanja, nakon čega su sledile korekcije alata, oblika i dimenzija izlivnog kanala, mase i oblika pretkovaka itd. Sve to je predstavljalo dodatne troškove, povećavalo je vreme potrebno za osvajanje proizvoda, a nije davalo nikakvu garanciju da je i tako generisano rešenje optimalno. Stoga dosada dostignuta rešenja ostavljaju mnogo prostora za primenu pristupa na bazi ekspernih sistema, odnosno na bazi korišćenja baza znanja.

Prednosti takvog pristupa su višestruke, počev od definisanja složenosti otkovaka, pa preko izbora optimalnog oblika pretkovaka, definisanja tehnologije kovanja i najzad, definisanja potrebnih operacija termičke obrade. Vreme koje se pri tome upotrebi je daleko manje od klasičnog pristupa, ponudjena rešenja zasnovana na postojećim podacima i bazama znanja daleko pouzdanija, a cena koštanja postaje realna i značajna u konkurenciji na tržištu.

2. KOVANJE PRIZMATIČNIH OTKOVAKA

Kovanje prizmatičnih otkovaka nije do sada u dovoljnoj meri teorijski obradjeno u literaturi, koja se bavi primenjenom teorijom plastičnosti. Razlog za to je zapreminsko naponsko i deformaciono stanje, koja se javlja pri kovanju prizmatičnih otkovaka, a za koja za sada ne postoje egzaktna teorijska rešenja. Stoga se u velikoj meri, za rešavanje problematike kovanja prizmatičnih otkovaka, koriste iskustveni rezultati eksperimentalnih istraživanja, često obradjenih preko metode regresione analize, ili pak empirijske formule i iskustvena znanja.

Na pravilno modeliranje procesa kovanja prizmatičnih otkovaka utiče veliki broj faktora, od kojih su najznačajniji:

a) Složenost forme otkovka, koja ne omogućava definisanje rasporeda deformacija i napona po zapremini koja se deformiše, kao što je to slučaj pri sabijanju pravilne prizme i cilindra, ili pak otkovaka oblika prstena.

b) Nestacionarnost procesa zapreminskog kovanja, koja se karakteriše nestacionarnošću i neravnomernošću deformacija. Pored toga, pri kovanju prizmatičnih otkovaka radi se o nelinearnim deformacija, čije su vrednosti znatne, pa to takodje čini modeliranje procesa otežanim.

c) Oblik i dimenzije polaznog priprema, koji nije jednoznačno definisan pri kovanju prizmatičnih otkovaka, za razliku od osnosimetričnih gde je taj oblik može da bude pripremak ili kvadratnog kružnog poprečnog preseka.

d) Oblik i dimenzije pretkovka, kao i oblici i dimenzije dela po fazama kovanja, ukoliko se kovanje vrši kroz veći broj operacija.

e) Model materijala, koji se razlikuje zavisno od materijala koji se kuje i za koji ne postoji tačno definisan model očvršćavanja pri deformisanju na toplo.

f) Tolerancijski model, koji treba da bude sa što užim tolerancijama, kako bi se izbegle dodatne obrade.

g) Model toka i strukture vlakana, koji se zahteva zavisno od namene otkovka.

h) Model pogonskog sredstva koje se koristi za oblikovanje / kovanje početnog / medju oblika do konačnog oblika (čekići, mehaničke kovačke mašine, hidrulične kovačke mašine, specijalni kovački uređaji itd.). Pri tome je posebno važan parametar brzinae deformisanja, koji direktno utiče na veličine brzina deformacija pri kovanju, a samim tim i na proces tečenja metala.

i) Model alata za kovanje, koji može da bude otvorenog tipa, koji dozvoljava isticanje viška materijala u magacin alata, ili pak zatvorenog tipa, gde je ograničeno isticanje metala u magacin alata. Pri otvorenom tipu alata, koji je najčešće u upotrebi, oblik prelaznog mosta može da bude različit, a time i njegov uticaj na pravilno popunjavanje gravure alata znatan.

j) Model mehaničkih karakteristika koji se zahtevaju od gotovog otkovka, a koji definiše kupac. Zavisno od tako definisanog modela uvode se novi faktori kao što je temperatura kovanja, temperatura alata za kovanje, režimi termičke obrade itd.

k) Veličina serije koja se kuje takodje bitno utiče na modeliranje procesa kovanja. Ako se radi o ograničenom broju komada moguće je da se primeni slobodoručno kovanje, koje ne obezbeđuje dobru dimenzionu tačnost, ali zahteva i male troškove. Za slučaj većeg broja komada, zavisno od serije, modeliranje procesa može da bude u otvorenim, ili zatvorenim alatima.

Jasno je da postoje i drugi faktori koji utiču na proces kovanja prizmatičnih otkovaka, a koji nisu ovde navedeni. Smatramo da je njihov značaj manji od navedenih. Međutim, i uticaj navedenih faktora na modeliranje procesa kovanja nije podjednak. Jedan od najuticajnijih je svakako geometrijski model proizvoda, kao i model mehaničkih karakteristika, jer od njih zavisi izbor modela obrade, modela pogonskog sredstva, oblika polaznog materijala, oblika pretkovaka i oblika po fazama kovanja itd (3,4,5).

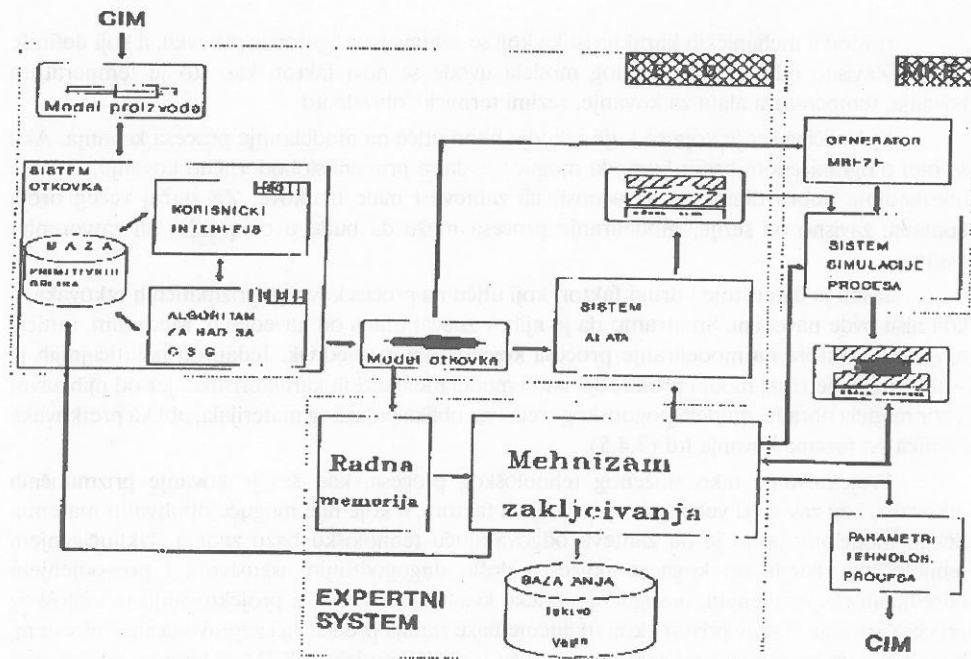
Projektovanje tako složenog tehnološkog procesa, kao što je kovanje prizmatičnih otkovaka, koji zavisi od velikog broja uticajnih faktora, a koje nije moguće obuhvatiti matematičkim modelom, jasno je da zahteva odgovarajuću tehnološku bazu znanja. Uključivanjem tehnološkog znanja, do koga se najčešće došlo dugogodišnjim iskustvom i provođenjem određenih eksperimenata, omogućuje daleko kvalitetniji pristup u projektovanju tehnološkog procesa kovanja. Takav pristup, koji uključuje baze znanja predstavlja zapravo ekspertni sistem, koji se razvija na Mašinskom fakultetu u Nišu u okviru projekta: "CIM sistemi sa razdeljenim bazama podataka".

3. OKRUŽENJE EKSPERTNOG SISTEMA

Dosadašnja iskustva na planu tehnologije kovanja prizmatičnih otkovaka, na planu CAD tehnologija, kao i izgradnje ekspertnih sistema predstavljaju osnove za identifikaciju principa mogućeg rešenja postavljenog zadatka.

Okruženje u kome će raditi ekspertni sistem za projektovanje tehnologije kovanja prizmatičnih otkovaka prikazano je na slici 1. Mogu se uočiti tri celine: CAD modul za generisanje modela proizvoda i geometrijskog modela alata za kovanje, EKSPERTNI SISTEM za generisanje tehnologije kovanja i termičke obrade, kao i MODUL ZA KONAČNE ELEMENTE (MKE). Navedni moduli su povezani međusobno, i istovremeno i sa ostalim modulima CIM sistema preduzeća. Te veze se ostvaruju preko odgovarajućih standardnih interfejsa (IGES, STEP, PDES, SET, CAD*I, CLDATA, IRDATA itd.) (1).

Modul za CAD se sastoji iz dva podmodula i to: sistem otkovka i sistem alata. Za generisanje geometrijskog modela prizmatičnih otkovaka odabran je pristup sa Constructive solid geometry (CSG) (2). Ovaj pristup zapravo označava familiju modela podataka koji se koriste za predstavljanje tela, kao konstrukcije dobijenih kombinacija čvrstih komponenti uz upotrebu Bulovih operacija nad skupovima tačaka u prostoru. Reprezentacija tela opisanog na taj način predstavlja uređeno binarno stablo, kome se u listovima stabla nalaze primitivna tela (vidi sliku 1), a u unutrašnjim čvorovima stabla se nalaze operacije, koje se obavljaju nad primitivama i kreiranim delovima objekta (2).



Slika 1. Okruženje ekspertnog sistema

Izlaz iz CAD podmodula za generisanje otkovka je model proizvoda tog otkovka sa svim podacima. Deo tih podataka predstavlja ulazne podatke u EKSPERTNI SISTEM, u CAD podmodul za generisanje alata za kovanje, kao i u predprocesor za generisanje mreže konačnih elemenata u modulu MKE. Podaci koji se odnose na ekspertni sistem ulaze u radnu memoriju tog sistema, kao ulazni podaci. Na osnovu tih podataka, ugrađeni mehanizam zaključivanja, pretražujući bazu znanja koja se odnosi na tehnologiju kovanja, uključujući i znanja potrebna za definisanje postupka termičke obrade, generiše moguće rešenje tehnološkog postupka za dobijanje zadatog modela proizvoda.

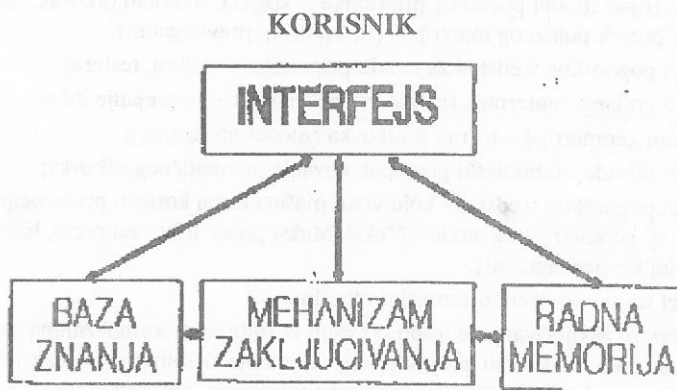
Sa podacima o modelu proizvoda i predloženim rešenjem tehnološkog postupka kovanja, u podmodulu CAD za generisanje alata za kovanje, definiše se model alata, ili modeli alata ukoliko je potrebno da se deo kuje u nekoliko operacija. Tako definisani modeli alata predstavljaju zapravo ograničenja pri simuliranju tečenja metala preko metode konačnih elemenata (6). Deo koji se odnosi na simuliranje procesa tečenja metala pri kovanju, razvija se na Mašinskom fakultetu u Kragujevcu, gde postoji već razijen paket za konačne elemente PAK, koji može da se primeni pri nelinearnim deformacijama, kakav je slučaj i pri kovanju.

Ukoliko se pri simuliranju procesa tečenja metala uoče neki nedostaci, moguće je povratak u deo koji raspolaže mehanizmima za zaključivanje, što će omogućiti ponovno pretraživanje baze znanja i donošenje novih predloga rešenja. Sa tim rešenjima se ponavlja postupak simulacije procesa tečenja, sve dok se ne dobije optimalno rešenje, koje zadovoljava

sve, ili bar najveći broj postavljanih uslova. Tako generisano rešenje sadrži sve podatke, koji su potrebni ostalim modulima CIM sistema preduzeća.

4. ARHITEKTURA EKSPERTNOG SISTEMA ZA PRIZMATIČNE OTKOVKE

Tipična struktura ekspertnog sistema prikazana je na slici 2 (7). Baza znanja predstavlja skup činjenica, koncepata, modela i relacija u domenu razmatranja. Znanje je prikazano na formalni način, pri čemu se konkretna reprezentacija znanja (najčešće u obliku produkcionih pravila, okvira ili semantičkih mreža) bira u zavisnosti od karakteristika domena. Procedure korišćenja znanja (ili mehanizmi zaključivanja) su usko vezani za izabranu reprezentaciju znanja i predstavljaju postupke izvođenja zaključaka na osnovu polaznih pretpostavki.



Slika 2. Struktura ekspertnog sistema

Svi podaci o problemu koji se rešava nalaze se u radnoj memoriji (slika 1). Ovi podaci se koriste pri izvođenju zaključaka, a stanje radne memorije se menja dodavanjem novih, izvedenih zaključaka sve dok se ne dodje do rešenja problema. Konačno, interfejs je jedini deo sistema koji korisnik vidi. Ova komponenta ekspertnog sistema treba da obezbedi jednostavnu, razumljivu i robustnu komunikaciju sa sistemom čak i onim korisnicima koji nemaju iskustva u radu sa računarima. Zbog ovakvih zahteva najčešće se sreću grafički interfejsi ili interfejsi na ograničenom prirodnom jeziku.

Najvažnija faza u izgradnji ekspertnog sistema jeste formiranje baze znanja, jer je to komponenta koja obezbedjuje visoke performanse ovih sistema. Ova faza sastoji se od vise koraka. U prvom se identifikuju bitne karakteristike problema, uočava se struktura domena, funkcije koje sistem treba da obavlja i vrši se procena njegove ostvarljivosti. Takodje se snima

protokol rešavanja barem jednog problema od strane eksperata i upoznavanje sa literaturom (ako je dostupna). U narednom koraku oblast se detaljno izučava, izdvajaju se objekti koji se u njoj javljaju, kao i njihove međusobne zavisnosti i relacije, uz saradnju eksperata ili uz pomoć literature. Na osnovu rezultata prethodna dva koraka, bira se način predstavljanja znanja koji odgovara uočenim karakteristikama znanja o domenu, a zatim se baza znanja implementira i testira.

Baza znanja razmatranog ekspertnog sistema treba da obuhvati znanje koje bi mu omogućilo da na osnovu ulaznih podataka o projektovanom otkovku (modela proizvoda otkovka) odredi odgovarajući tehnološki postupak i njegove parametre. Kako je znanje o projektovanju tehnologije proceduralne prirode, to je za njegovo predstavljanje najpogodnije da se koristi formalizam produkcionih pravila. Ovakvo znanje određuje:

- model materijala - (kvalitet materijala);
- složenost prizmatičnog otkovaka;
- geometrijski model početnog priprema iz koga će se dobiti otkovak - (kakav treba da bude poprečni presek polaznog materijala (fi, kvadrat, pravougaoni),
- model pogonskog sredstva za izradu priprema (lomilica, testera);
- model grejanja materijala (električna peć, indukciono grejanje itd.);
- polaznu geometrijsku formu pretkovka (model pretkovka);
- model obrade - tehnološki postupak kovanja prizmatičnog otkovka;
- model pogonskog sredstva - koju vrstu mašina treba koristiti pri kovanju prizmatičnog otkovka zadatog geometrijskog modela (čekić, Maksi presa, frikciona presa, hidraulična presa, HKM, specijalni kovački agregat),
- model stanja - potrebnu termičku obradu;

Mehanizam zaključivanja je tesno povezan sa izabranim formalizmima za predstavljanje znanja. Kako se radi o zadatku projektovanja, a znanje o samom procesu projektovanja je prikazano preko pravila, to je najpovoljnije koristiti lančanje unapred.

Ekspertni sistem za projektovanje tehnologije kovanja prizmatičnih otkovaka namenjen je korisnicima koji nemaju prethodno iskustvo u radu sa računarima, te je stoga je poželjno da interfejs bude izgradjen na bazi menija.

Najčešće se kod razvoja ekspertnih sistema koristi metoda prototipa. U prvom koraku se razvija demonstracioni prototip, koji predstavlja veoma suženu varijantu sistema (baza znanja sadrži 50 do 100 pravila), a koji služi za ispitivanje ostvarljivosti i funkcionalnosti sistema i upoznavanje sa domenom. Zatim se prelazi na izgradnju istraživačkog prototipa, koji može da ima do 500 pravila. Naredna etapa je eksperimentalni prototip, sistem koji ima od 500 do 1000 pravila, a koristi se za testiranje od strane raznih korisnika. Poslednji korak sastojao bi se u izgradnji industrijskog sistema, koji se od prototipa razlikuje po brzini rada i potrebnim hardverskim resursima, što se postiže korišćenjem konvencionalnih programskih jezika. U slučaju da razvijeni ekspertni sistem ispoljava izuzetno dobre osobine, moguć je i razvoj školjke / ljuske ekspertnog sistema, odnosno komercijalni sistem baziran na razvijenom ekspertnom sistemu.

Kao sredstvo za razvoj prototipa razmatranog ekspertnog sistema izabrana je školjka ekspertnog sistema (za demonstracioni prototip se koristi Personal Consultant i Clips, a za razvoj istraživačkog prototipa se planira korišćenje školjke NEXPERT) (8). Ovakav alat obezbeđuje

predstavljanje znanja na jedan ili više načina, kao i mehanizme korišćenja tog znanja i interfejs prema korisniku. Ovim se od projektanta zahteva da unese znanje i time dobija funkcionalan sistem u najkraćem mogućem roku. Naravno, ovakav izbor nužno nosi i neke otežavajuće okolnosti, jer je svaka školjka prilagođena razvoju ekspertnih sistema sa određenim osobinama.

Izlaz ekspertnog sistema za projektovanje tehnologije kovanja prizmatičnih otkovaka bi trebalo da sadrži:

- vrstu i redosled operacija koje treba izvesti;
- vrste mašine za sečenje i kovanje;
- broj udaraca;
- vreme izrade po operacijama,
- dimenzije i konačnu formu modela kroz operacije;
- napomene o mogućim greškama kod datog procesa i
- cenu koštanja otkovka.

Dobijeni tehnološki postupak treba shvatiti samo kao sugestiju, pri čemu korisnik može da na osnovu rezultata simulacije prihvati ili izmeni predstavljeno 1 rešenje. Dobijeni tehnološki postupak i njegovi parametri mogu se vratiti CIM sistem, odnosno njegovoj komponenti za planiranje proizvodnje.

5. ZAKLJUČAK

U radu je opisan koncept ekspertnog sistema za prizmatične otkovke, kao i njegovo mesto u efektnom proizvodnom inženjerskom okruženju, gde kroz seriju praktičnih ispitivanja inženjer može "iterirati" dobijeni tehnološki proces u cilju postizanja optimalnih rezultata. Osnovu ekspertnog sistema čini baza znanja o tehnologiji kovanja prizmatičnih otkovaka. Ovo znanje određuje koje korake treba izvesti na kojim mašinama i pod kojim uslovima da bi se dobio otkovak čiji je geometrijski model zadao korisnik. Kako je opisani znanje proceduralne prirode, to je za njegovo predstavljanje izabran formalizam produkcionih pravila. Prototip sistema bi se razvijao na osnovu školjke ekspertnog sistema.

Ovaj rad je nastao kao rezultat rada na projektu CIM sistemi sa razdeljenim bazama podataka finansiranom od strane Fonda za tehnološki razvoj republike Srbije.

DONDEPT OF EXPERT SYSTEM FOR REDTANGULAR FORGINGS

Abstract

The classic design of rectangular forgings technology and tools is a difficult task and requires a great deal of theoretical and practical knowledge and experience in this field. By applying commercial CAD systems drawing can be automated and simple analyses can be provided for which most often prove insufficient for the choice of optimal solution for manufacturing complex forgings.

Expert systems comprising knowledge bases enable support in several phases of the design process. These are: the requirements analysis, the synthesis and the solution estimation. Therefore the question of using expert systems for solving complex problems in narrow fields such as forging is not raised any longer.

This paper presents a concept of expert system for rectangular forgings. This system possesses a specialized CAD system for generating product model, the CAP system for generating forging technology, the CAD modulus for generating forging tools, as well as structured knowledge about materials, processes and tools. Knowledge is presented in a formal way so that concrete realization of knowledge in the form of production rules and frames is chosen depending on the domain characteristics. Entrance into the discussed expert system is a defined finished part with the requirements concerning its quality, dimensions, costs and other parameters.

The system exit gives the generated possible technological solutions, accompanying documentation, product price and other required parameters.

LITERATURA

- (1) CIM Normung Entwicklung, Genormte Schnittstellen fuer CIM, DIN, 1989.
- (2) Mitrović, D., Stojiljković, V., Krstić, M.: CAD Sistem za prizmatične otkovke, JUPITER SYSTEM, 5. jugoslovenski simpozijum CAD/CAM, Kopaonik, 1992., str. 127-132.
- (3) Maddux, K.: An Integrated CAE System for the Manufacturing Engineer, ASME International Computers in Engineering Conference, August 9-13, 1987, New York.
- (4) Bramley, A.N., Lugora, C.F., Osman, F.H.: Forging Process Modeller - A Feasibility Study, Annals of the CIRP Vol.39, 1990.
- (5) Pencev, T.N.: Principi sozdanja sistema dlja goracei obemnei stampovki, Kuznecno-stampovocnoe proizvodstvo 1990, No 1.
- ŽLITERATURA = (6) Kojić, M., Vukićević, M., Slavković, R.: Implicitna prededura integracije napona za elastično - plastične deformacije modifikovanog CAM - CLAY materijala, International Journal for Numerical Methods in Eng., rad predat za objavljivanje 1992. god.
- (7) Jackson, P.: Introduction to Expert Systems, Addison-Wesley, Wokingham, 1986.
- (8) Mitrović, A., Stojiljković, V., Kitanović, R., Veljković, B., Stoimenov, L.: Ekspertni sistem za projektovanje cigareta, JUPITER SYSTEM, 5. jugoslovenski simpozijum CAD/CAM, Kopaonik, 1992., str. 127-132.

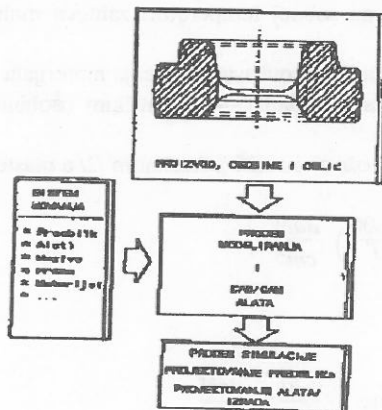
FIZIČKO MODELIRANJE TOPLE OBRADE

-neka rešenja za 2D probleme

Dr Milentije Stefanović, vanr. prof.
Vesna Vasiljević, dipl. ing, asistent,
Mašinski fakultet u Kragujevcu

1. UVOD

Proces modeliranja predstavlja modifikovanje uslova izvođenja obrade dok se ne postigne željene karakteristike proizvoda, bilo da se ono izvodi primenom fizičke ili numeričke simulacije. Ako se posmatra sistem obrade prikazan na slici 1/1, može se zaključiti da ulazne informacije za modeliranje i CAD/CAM predstavljaju zahtevane osobine proizvoda, geometrija i komponente sistema kovanja (preoblik, alati, mazivo, prese, materijal itd.). Izlaz iz faze modeliranja i CAD/CAM-asadržan je u procesu simulacije (oblik dela u različitim vremenskim intervalima, distribucija deformacija i napona itd.).



Slika 1. Mesto i uloga modeliranja u procesu obrade

Simulacija i optimizacija procesa obrade može se izvoditi, kao što je rečeno, tehnikom numeričkog ili fizičkog modeliranja. U radu je izložena metodologija fizičkog modeliranja procesa tople obrade metala primenom modelnih materijala. Kao modelni materijal korišćen je plastelin. Distribucija deformacija i napona dobijena je primenom metode vizioplastičnosti i metode slojeva.

2. SLIČNOST PONAŠANJA PLASTELINA I ČELIKA

Da bi se u fizičkom modeliranju dobio siguran i pouzdan model koji će dati najbolju simulaciju realnog procesa mora biti temeljno urađen izbor modelnog materijala i graničnih uslova. U mnogim radovima se izlaže o subjektu sličnosti koji je osnov za konstituisanje dobrog modela [2, 3]. Ne uzimajući u obzir termički gradijent sledeći uslovi moraju biti zadovoljeni:

- * Vrednosti Poisson-ovog odnosa, ν , za modelni i realni materijal moraju biti jednake;
- * Odnosi zatezne čvrstoće i modula elastičnosti σ/X_x ili smicajne čvrstoće i modula smicanja G , moraju biti jednaki i za modelni i za realni materijal;
- * Modelni i realni materijal moraju imati iste vrednosti eksponenta deformacionog ojačanja, n , i eksponenta brzine deformacije, m ;
- * Koeficijent trenja μ između modelnog materijala i alata treba biti jednak koeficijentu trenja između realnog materijala i alata;
- * Geometrija modela mora odgovarati geometriji radnog komada, tj. model treba biti srazmerno uvećan ili umanjen;
- * Uticaj elastičnih deformacija alata na deformisanje modela mora biti slično kao u realnoj situaciji.

Materijali koji se koriste za simulaciju ponašanja inženjerskih materijala su: vosak, natrijum, olovo, aluminijum, čelik, plastelin... Plastelin, kao poseban oblik modelne gline, je najšire primenjivani modelni materijal u svetu.

Prednosti korišćenja plastelina kao modelnog materijala su sledeće:

- 1) Plastelini se lako nabavljaju, jeftini su i neotrovni;
- 2) Deformisanje plastelina na sobnoj temperaturi zahteva malu silu i samim tim jednostavnije alate i opremu;
- 3) Višebojni modeli omogućavaju proučavanje tečenja materijala u unutrašnjosti;
- 4) Plastelin pokazuje sličnost u dinamičkim i statičkim osobinama sa čelikom na povišenim temperaturama.

Deformacioni otpor čelika može se izraziti jednačinom [2] a plastelina

$$\sigma = 86 \cdot 10^5 \epsilon^{0.21} \dot{\epsilon}^{0.13} \exp\left(\frac{3400}{T}\right), \frac{\text{daN}}{\text{cm}^2} \quad (1)$$

a plastelina

$$\sigma_p = 1.15 \cdot 10^5 \epsilon_p^{0.085} \dot{\epsilon}_p^{0.12} \exp\left(\frac{3530}{T_p}\right), \frac{\text{daN}}{\text{cm}^2} \quad (2)$$

Tabela 1. Sličnost između plastelina i čelika

| | Fizički kvantiteti | Plastelin | Zavisnost | Čelik na pov. temp. |
|-----------------------------------|--|---|---|--|
| Osnovni fizički kvantiteti | Dužina Vreme Sila Temperatura | $l,$ $t_p,$ $F_p,$ $T_p,$ | $l=l',$ $t=t' t_p,$ $F=F' F_p,$ $T=T' T_p,$ | l t F T |
| Izvedeni fizički kvantiteti | Napon Deformacija Brzina def. | $\sigma_p,$ $\epsilon_p,$ $\dot{\epsilon}_p,$ | $\sigma=(F'/l'^2)\sigma_p,$ $\epsilon=\epsilon_p,$ $\dot{\epsilon}=\dot{\epsilon}_p,$ | σ ϵ $\dot{\epsilon}$ |

Dužina, vreme, sila i temperatura su osnovni fizički kvantiteti, a napon, deformacija i brzina deformacije su izvedeni iz prethodnih. Zavisnost svaka dva fizička kvantiteta data je u tabeli 1.

Ako je deformacioni otpor plastelina na sobnoj temperaturi sličan sa deformacionim otporom čelika na povišenim temperaturama i njihovi fizički kvantiteti su u gore navedenim odnosima onda se dobija sledeća jednačina:

$$1.15 \times 10^{-5} \times \frac{F^*}{l'^2} t'^{0.12} \exp\left(\frac{3530}{T_p}\right) = 86.1 \times \exp\left(\frac{3400}{T}\right) \quad (3)$$

Prethodna jednačina mora biti tačna da bi se zadovoljili uslovi sličnosti i model od plastelina mogao da koristi za simulaciju tople obrade. Posmatrajući jednačinu (1) očigledno je da postoji razlika u faktoru n za plastelin i čelik. Međutim, ako su iznosi deformacija veći (što je slučaj kod kovanja) razlika članova $\epsilon^{0.085}$ i $\epsilon^{0.21}$ i nije tako velika. Na primer, pri deformaciji $\epsilon=0.1$ razlika je 25%, a pri deformaciji $\epsilon=0.5$ razlika je svega 8% /2/. Sredjivanjem jednačine (3) dobija se faktor razmere za napon (v.tab. 2):

$$\frac{F^*}{l'^2} = \frac{86.1}{1.15 \times 10^{-5}} \exp\left(\frac{3400}{T} - \frac{3530}{T_p}\right) \frac{1}{t'^{0.12}} \quad (4)$$

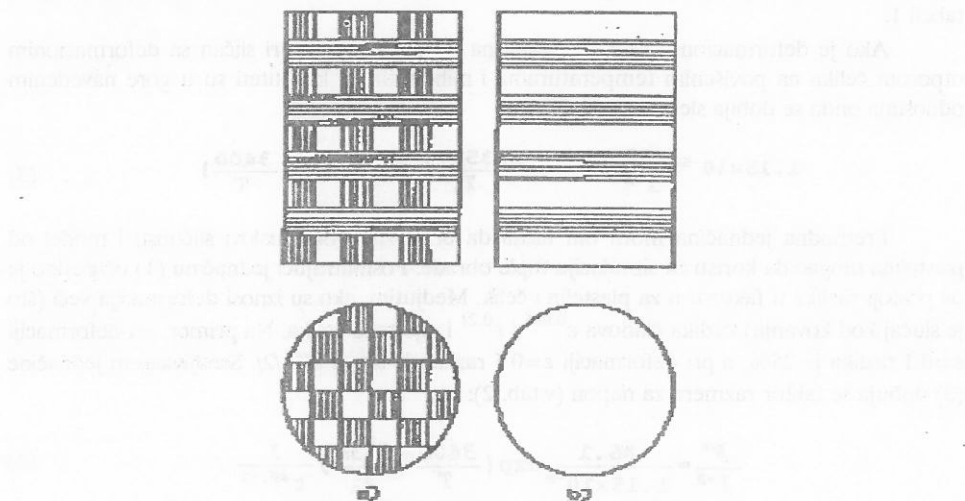
3. ELEMENTI METODE VIZIOPLASTIČNOSTI I METODE SLOJEVA. PRIPREMA EKSPERIMENTA

Termin vizioplastičnost uveo je 1952. godine Thomsen. Označava postupak praćenja sukcesivnih položaja, u deformisanju, pogodno izabrane mreže nanete na određenu površinu modela. Korišćenjem višebojnih plastelinskih modela moguće je pratiti deformisanje i po celoj zapremini kada su u pitanju 3D problemi tople obrade. Merenjem deformisane mreže u više faza procesa deformisanja dobija se eksperimentalno polje deformacija i brzina deformacija a na osnovu njih i naponska polja u modelu. U novije vreme, primenom tzv. vizioplastične

energetske metode moguće je odrediti deformacione sile na osnovu polja brzina deformacije /5/.

Metodu slojeva, koja se koristi za određivanje deformaciono-naponskih polja za višeslojne modele, razvio je Drapkin /6/. Primenjuje se za modeliranje osnosimetričnih problema tople obrade pri čemu se koriste modeli od plastelina izradjeni iz višebojnih slojeva. Merenjem debljine slojeva na mestima koja su na istom radijusu od ose simetrije, moguće je proračunom dobiti koordinate zamišljene kvadratne mreže u ravni simetrije. Nakon toga, na osnovu pomeranja određuju se distribucije deformacija i napona.

Osnova plastelinskog modela je ploča debljine 6.8mm od plastelina u tri različite boje. Iz ploče se seku prizmatični komadi širine 6.8mm u dve boje. Blagim zagrevanjem kontaktnih površina vrši se spajanje komada i to naizmenično varirajući boje. Tako se dobija prugasta ploča debljine 6.8mm. Iz nje se ponovo isecaju komadi širine 6.8mm, pod uglom 90 u odnosu na pravac prethodnog sečenja čime se dobijaju šahirani komadi. Njihovim spajanjem dobija se šahirana kvadratna ploča iz koje se tankom cevi unutrašnjeg prečnika $d=41\text{mm}$ isecaju kružne ploče. Istom cevi isecaju se jednoboje kružne ploče. Naizmeničnim spajanjem jednoboje i šahiranih ploča dobija se model kao na slici 2.a.



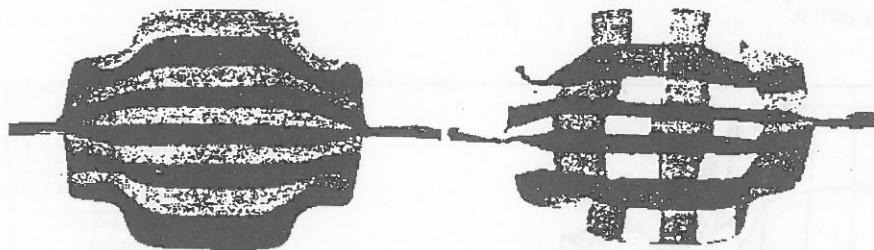
Slika 2. Plastelinski pripremak u ravni simetrije i pogledom odozgo:

a) za metodu vizioplastičnosti i b) za metoda slojeva

Za višeslojni model, namenjen metodi slojeva, naizmenično se spajaju jednoboje kružne ploče u dve ili više boja (slika 2.b.). Kada se oformi model, da bi se poboljšali spojevi, drži se na temperaturi 50C oko 120min /7/.

Sa ovako pripremljenim modelima izvršena je simulacija procesa kovanja na čekiću, deformisanjem plastelinskih pripremak u kalupu koji je montiran na hidrauličnu presu tipa ERICSHEN. Deformisanje je izvodjeno na temperaturi $t=20\text{C}$ pri brzini deformisanja $v=5\text{mm/min}$. Alat je podmazivan talkom čime je ostvaren koeficijent trenja $\mu=0.4$, što upravo

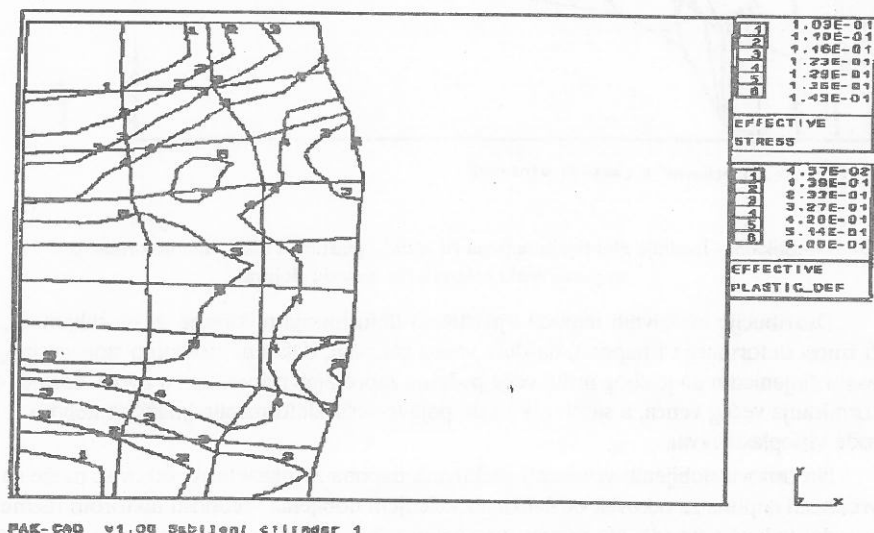
odgovara toploj obradi. Pripremak početnih dimenzija 41X61.2mm, prvo je sabijan do visine $h_1=44.2\text{mm}$ a nakon toga u kalupu za završno kovanje deformisan do konačnog oblika, kao na slici 3. Pri sabijanju ostvarena je sila $F_1=55\text{daN}$, a pri završnom kovanju $F_2=320\text{daN}$.



Slika 3. - Izgled plastelinskog otkovka (za metodu slojeva i za metodu vizioplastičnosti)

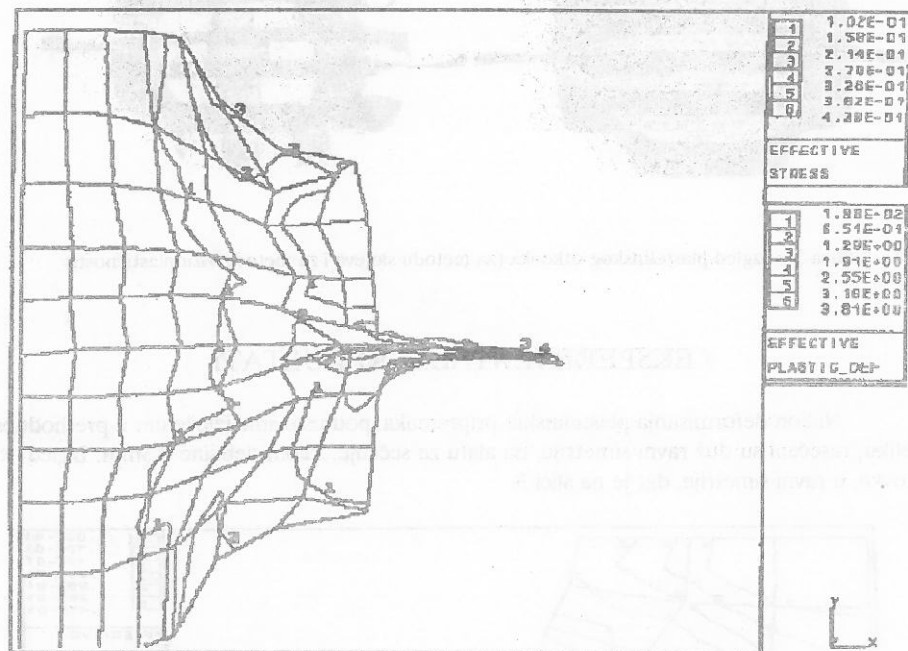
4.EKSPERIMENTALNI REZULTATI

Nakon deformisanja plastelinskih pripremak, pod uslovima izloženim u prethodnom odeljku, rasečeni su duž ravni simetrije, na alatu za sečenje, žicom debljine 0.3mm. Izgled oba otkovka, u ravni simetrije, dat je na slici 3.



Slika 4. - Izolinije efektivnih napona (u MPa) i plastičnih efektivnih deformacija za sabijeni cilindar od plastelina

Merenje koordinata čvornih tačaka, za metodu vizioplastičnosti, i debljine slojeva, za metodu slojeva, izvedeno je na alatnom mikroskopu. Na osnovu izmerenih debljina slojeva, propisanim postupkom /6/, dobijene su koordinate čvorova pretpostavljene pravougaone mreže početnih dimenzija 3X6mm. Obrada rezultata merenja izvedena je korišćenjem komercijalnog softverskog paketa PAK, koji je razvijen u Birou za inženjerski softver na Mašinskom fakultetu u Kragujevcu.



PAE-CAD v1.00 Otkovak 2 (metoda slojeva)

Slika 5. - IZOLINJE efektivnih napona (u MPa) i plastičnih efektivnih deformacija za plastelinski otkovak (za metodu slojeva)

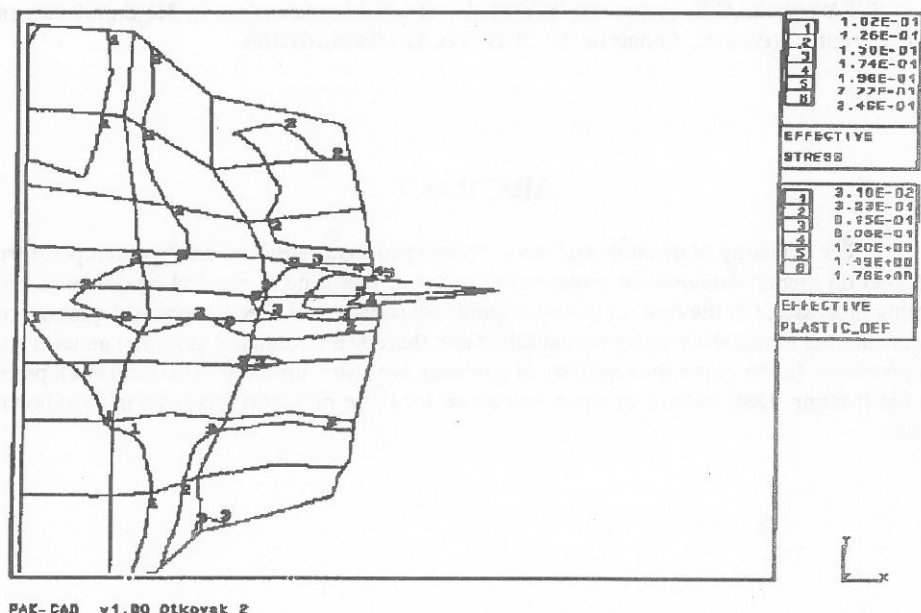
Distribucije efektivnih napona i plastičnih deformacija prikazane su na slikama 4, 5 i 6. Veći iznosi deformacija i napona, na delu venca otkovka, dobijeni metodom slojeva, mogu se objasniti činjenicom da je zbog nešto veće početne zapremine priprema, u ovom slučaju, došlo do formiranja većeg venca, a samim tim i do pojave većih deformacija i napona nego u slučaju metode vizioplastičnosti.

Na osnovu dobijenih vrednosti efektivnih napona za plastelinski otkovak može se doći do vrednosti napona za otkovak od čelika, množenjem dobijenih vrednosti faktorom razmere za napon, dat jednačinom (4). Na primer, ako želimo da simuliramo kovanje na čekiću, pri čemu je brzina deformisanja 4m/s i temperatura kovanja 1373°K, pri temperaturi izvodjenja eksperimenta 293°K i brzini deformisanja 5mm/min, zamenom vrednosti u jednačinu (4) dobija se

faktor razmere za napon 1911,42. Prema tome, naponu u plastelinskom otkovku od 0,15MPa odgovara napon u stvarnom otkovku od 286,7MPa.

5. ZAKLJUČAK

U radu je prikazana metodologija fizičkog modeliranja primenom plastelina kao modelnog materijala. Iz izloženog se može zaključiti o prednostima razvoja novih tehnologija, modeliranjem u laboratorijama, gde se s obzirom na deformacione sile eksperiment može izvoditi na jednostavnijoj opremi, bez ometanja proizvodnog procesa. Osim toga, moguće je primenom višebojnih plastelinskih modela pratiti tečenje metala u unutrašnjosti modela, i to u više faza. Na kraju, na osnovu registrovanih pomeranja, dolazi se do distribucija deformacija i napona, kao i do iznosa deformacione sile.



Slika 6. - Izolinije efektivnih napona (u MPa) i plastičnih efektivnih deformacija za plastelinski otkovak (za metodu vizioplastičnosti)

LITERATURA

- 1.C.R.Boer, F.Jovane, Computer Aided Design in Metal Forming Systems, Annals of the CIRP Vol. 33/2/1984.
- 2.K.Chijiwa, Y.Hatamura, N.Hasegawa, Characteristics of Plasticine Used in the Simulation of Slab in Rolling and Continuous Casting, Trans.ISIJ, 21(3).1981, 178- 186.
- 3.R.L.Bodnar, D.C.Ronemus, B.L.Bramfitt, Physical Modeling of Hot-Deformation Processes-Using Plasticine, Trans.ISS, aug.1986.
- 4.S.Finer, S.Kivivuori, H.Kleemola, Stress-Strain Relationships of Wax-based Model Materials, J.Mech. Work.Techn, 12. 1985, 269-277.
- 5.F.Yoshida, T.Wanheim, The Method for 3D Strain and Strain Rate Analyses in Visioplasticity, Annals of the CIRP Vol.37/1/1988, 221-224.
- 6.G.A.Smirnov-Alaev, V.P.Cikadovskij, Eksperimentalnie isledovania b obrabotke metalov davleniem, Masinostroenie 1972.
- 7.T.Wanheim, C.Fischlein and Y.Yoshida, Strain Measurements in 3D Simulation of Metal Forming Processes, Annals of the CIRP Vol.35/1/1986, 165-168.

ABSTRACT

The similarity of dynamic and static characteristics of plasticine on room temperature and steel on higher temperature provides the usage of plasticine in physical modeling of hot forming processes. On the basis of theory of similarity connections between physical quantity of model and real material are being reestablished and thereby the results of modeling are used for real processes. In this paper the examples of modeling are given: upsetting cylindrical work piece and die forming. Distributions of strain and stress for these problems are given in meridional section.

ANALIZA NAPONSKOG STANJA KOD SLOBODNOG SABIJANJA VALJKA KONUSNIM PLOČAMA

*D. Vilotić,
I. Trbojević
P. Francuski*

INSTITUT ZA PROIZVODNO MAŠINSTVO Novi Sad

1. UVOD

Odredjivanje komponenata naponskog stanja kod pojedinih modela deformacije od velikog je značaja jer se na taj način stvaraju uslovi za izračunavanje osnovnih parametara procesa, kao što su deformaciona sila, deformacioni rad i srednji specifični pritisak. Detaljnije poznavanje naponskog stanja u obratku omogućuje i analizu deformabilnosti materijala u iposmatranim uslovima obrade.

Naponsko stanje u obratku zavisi od više faktora od kojih najznačajniji uticaj ima obradni sistem, odnosno geometrija izvršnih elemenata alata, izatim geometrija pripremk, kontaktni uslovi (trenje), brzina deformacije, temperatura obrade itd. Geometrija alata sa geometrijom pripremk presudno utiče na definisanje odnosa među komponentama napona, tj. definiše osnovnu naponsku šemu, te zbog toga u najvećoj meri utiče ina uslove deformisanja i izražavanje potencijala plastičnih svojstava materijala.

Slobodno sabijanje valjka konusnim pločama je model deformacije ikoji zauzima centralno mesto među šemama sabijanja pomoću kombinovanih alata (tabela 1).

Eksperimenti sabijanja valjka pomoću pritiskivača različitog oblika, iprikazani u radu (1) pokazuju značajnu razliku u parametrima procesa. Ovi rezultati su upravo podsticaj za detaljnije upoznavanje naponskog stanja kod slobodnog sabijanja valjka konusnim pločama.

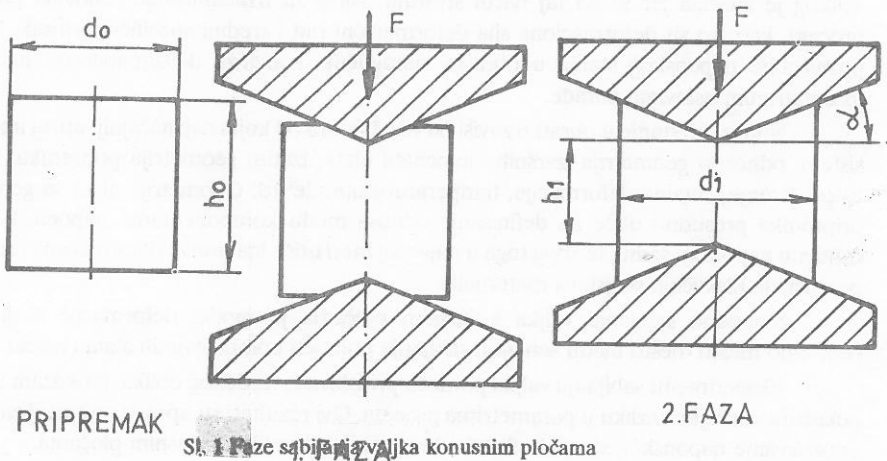
Tabela 1

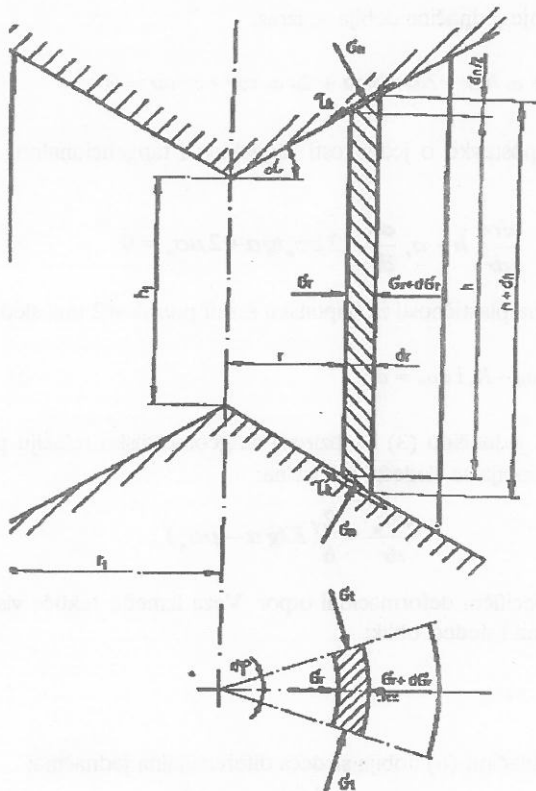
| GORNJI PRITISK. | | | |
|----------------------|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 |
| DOLJI PRITISKIVAČ | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

2. NAPONSKA ŠEMA I DIFERENCIJALNA JEDNAČINA RAVNOTEŽE

Slobodno sabijanje valjka konusnim pločama odvija se u dve faze (sl.1):

1. Faza - utiskivanje konusa bez značajnije promene visine i prečnika obratka;
2. Faza - sabijanje sa smanjenjem visine i povećanjem prečnika obratka.





Sl. 2 Komponente napona

Analiza naponskog stanja prikazana u ovom radu odnosi se na drugu fazu sabijanja valjka a izvršena je primenom metode rešavanja približne diferencijalne jednačine ravnoteže uz korišćenje približnog uslova plastičnosti i uz pretpostavku da se tangencijalni kontaktni napon itk menja proporcionalno normalnom naponu (σ_n) i koeficijentu trenja (μ), tj. $\tau_k = \mu \sigma_n$. Radi dobijanja rešenja za koponente napona u konačnom analitičkom obliku smatra se da se specifični deformacioni otpor ne menja u pravcu radijusa obratka i da izvodnice cilindra ostaju prave li nakon deformisanja obratka.

Na osnovu sl.2, na kojoj su prikazane glavne komponente napona, može se napisati osnovna jednačina ravnoteže svih sila koje deluju u radijalnom pravcu izdvojenog elementa:

$$\sigma_r r d\varphi h - (\sigma_r + d\sigma_r)(h + dh)(r + dr)d\varphi + 2\sigma_n r d\varphi \frac{dr}{\cos\alpha} \sin\alpha - 2\mu\sigma_n r d\varphi \frac{dr}{\cos\alpha} \cos\alpha + 2\sigma_1 \left(\frac{h + h + dh}{2} \right) \frac{d\varphi}{2} dr = 0 \quad (1)$$

Sređivanjem gornje jednačine dobija se izraz:

$$\sigma_r r dh + d\sigma_r h r + \sigma_r h dr - 2\sigma_n r dr \alpha + 2\mu \sigma_n r dr - \sigma_t h dr = 0 \quad (2)$$

Uvođenjem pretpostavke o jednakosti radijalnog i tangencionalnog napona ($\sigma_r = \sigma_t$) dobija se jednačina:

$$\frac{d\sigma_r}{dr} h + \sigma_r \frac{dh}{dr} - 2\mu \sigma_n \alpha + 2\mu \sigma_n = 0 \quad (3)$$

Približna jednačina plastičnosti za naponsku šemu prema sl.2 ima sledeći oblik:

$$\sigma_r + \sigma_n = K, \sigma_r = \sigma_n - K, i d\sigma_n = d\sigma_r \quad (4)$$

čijim se uključivanjem u jednačinu (3) i sobzirom na geometrijsku relaciju prema sl.2 iz koje sledi da je $dh/dr = 2\alpha \tan \alpha$, dobija se sledeća jednačina:

$$\frac{d\sigma_n}{dr} = \frac{2}{h} (K \tan \alpha - \mu \sigma_n) \quad (5)$$

u kojoj je K - srednji specifični deformacioni otpor. Veza između tekuće visine (h) i tekućeg radijusa (r) prema sl.2 ima sledeći oblik:

$$h = h_1 + 2r \tan \alpha \quad (6)$$

čijim se unošenjem u jednačinu (6) dobija sledeća diferencijalna jednačina:

$$\frac{d\sigma_n}{dr} = 2 \frac{(K \tan \alpha - \mu \sigma_n)}{h_1 + 2r \tan \alpha} \quad (7)$$

Razdvajanjem promenljivih dobija se:

$$\frac{d\sigma_n}{K \tan \alpha - \mu \sigma_n} = 2 \frac{dr}{h_1 + 2r \tan \alpha} \quad (8)$$

Integriranjem gornje jednačine i posle određenih matematičkih transformacija i dobija se sledeće rešenje:

$$\sigma_n = \frac{1}{\mu} \left[K \tan \alpha - \frac{C}{(h_1 + 2r \tan \alpha)^{\frac{1}{\mu \tan \alpha}}} \right] \quad (9)$$

Integraciona konstanta (C) u gornjem izrazu određuje se iz sledećeg graničnog uslova: za $r=r_1$ $\sigma_n=K$ na osnovu čega je

$$C = K(\tan \alpha - \mu)^{\frac{1}{\mu}} (h_1 + 2r_1 \tan \alpha)^{\frac{1}{\mu \tan \alpha}} \quad (10)$$

Unošenjem konstante C u jednačinu (10) dobija se konačno rešenje za i normalni napon:

$$\sigma_n = \frac{K}{\mu} \left[\operatorname{tg} \alpha - (\operatorname{tg} \alpha - \mu) \left(\frac{h_1 + 2r_1 \operatorname{tg} \alpha}{h_1 + 2r_1 \operatorname{tg} \alpha} \right)^{\operatorname{tg} \alpha} \right] \quad (11)$$

Komponente radijalnog, odnosno tangencijalnog napona određuju se i na osnovu uslova plastičnosti:

$$\sigma_r = \sigma_t = \sigma_n - K \quad (12)$$

Na osnovu rešenja za komponente kontaktnih napona određuje se ukupna ideformaci-
ona sila:

$$F = \int_A (\sigma_n \cos \alpha + \tau_t \sin \alpha) dA = 2\pi \frac{\cos \alpha + \mu \sin \alpha}{\cos \alpha} \int_0^1 \sigma_n r dr \quad (13)$$

3 ANALIZA UTICAJA POJEDINIH FAKTORA NA NAPONSKO STANJE

Faktori koji utiču na naponsko stanje kod sabijanja valjka konusnim pločama sadržani su u izrazima za komponente napona σ_n i σ_r (11 i 12). Ti faktori su sledeći:

- Geometrija alata definisana uglom i konusa α ;
- Geometrija obratka sa parametrima r_1 i h_1 ;
- Vrsta materijala čiji se uticaj izražava preko napona tečenja K ;
- Kontaktno trenje, odnosno koeficijent trenja μ .

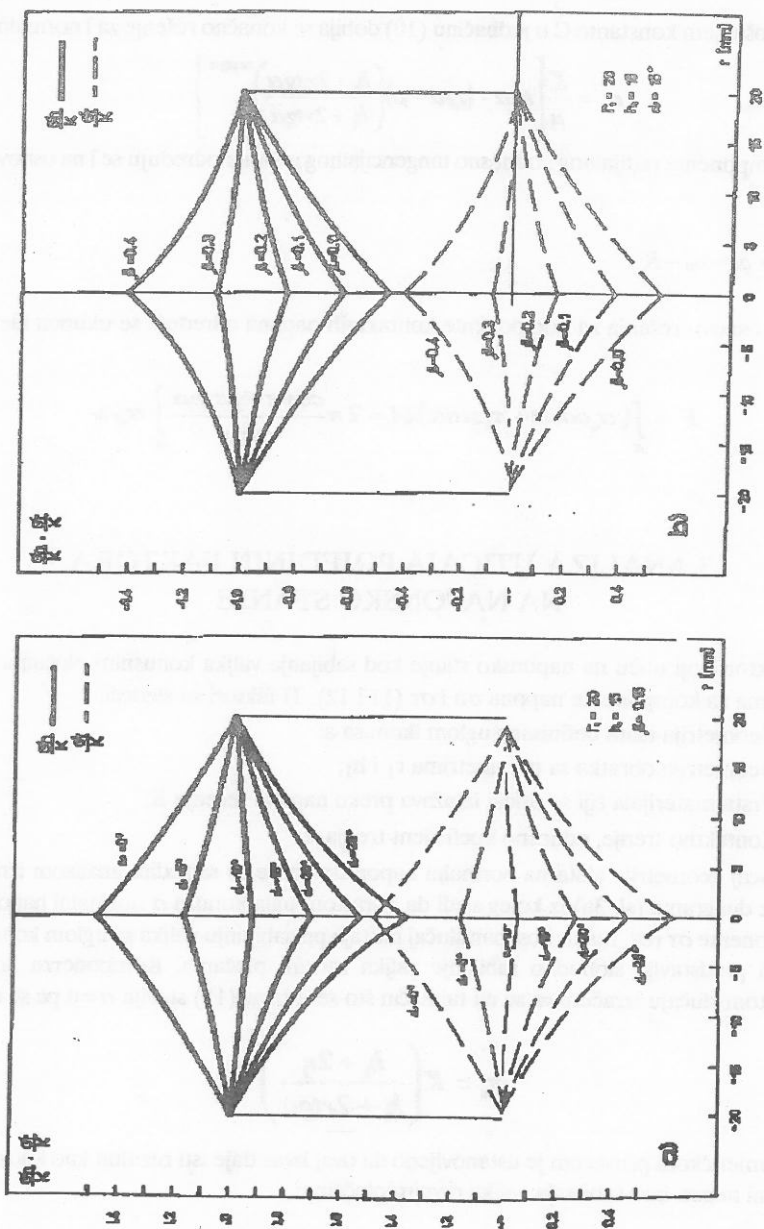
Uticaj geometrije alata na normalni napon σ_n može se sagledati analizom izraza (11), odnosno iz dijagrama (sl. 3a) iz kojeg sledi da porastom ugla konusa α normalni napon opada, dok komponente σ_r i σ_t rastu. Poseban slučaj nastaje pri sabijanju valjka sa uglom konusa $\alpha=0$, što ustvari predstavlja slobodno sabijanje valjka ravnim pločama. Komponenta normalnog napona u tom slučaju izračunava se na taj način što se u izraz (11) stavlja $\alpha=0$ pa se dobija:

$$\sigma_n = K \left(\frac{h_1 + 2r_1}{h_1 + 2r_1 \operatorname{tg} \alpha} \right)^{\operatorname{tg} \alpha} \quad (14)$$

Numeričkom proverom je ustanovljeno da ovaj izraz daje isti rezultat kao i poznati izraz za normalni napon kod sabijanja valjka ravnim pločama:

$$\sigma_n = K e^{\frac{2\mu}{h_1}(1-r)} \quad (15)$$

u kojem je h_1 - trenutna visina valjka, a r_1 - spoljašnji poluprečnik i valjka.



Sl. 3. Distribucija napona pri slobodnom sabijanju valjka konusnim pločama
a) u zavisnosti od ugla konusa b) u zavisnosti od koeficijenta trenja

Poseban slučaj sabijanja valjka nastaje pri uglu konusa $\alpha = \arctg \mu$ kada je prema jednačinama (11 i 12) $\sigma_n = K$ i $\sigma_r = \sigma_l = 0$ što predstavlja slučaj jednoosnog naponskog stanja.

Uticaj kontaktnog trenja na naponsko stanje iskazan je dijagramom (sl. 3b) iz kojeg proizlazi da sa porastom koeficijenta trenja μ rastu i komponente napona.

Apsolutni iznos komponenata napona zavisi i od napona tečenja K , koji u izvedenim izrazima predstavlja srednju vrednost ($K = K_{sr}$), a određuje se na osnovu podataka u centru ($r=0$) i na periferiji obratka ($r=r_1$).

Sa aspekta deformabilnosti materijala najnepovoljnije naponsko stanje kod analiziranog modela deformacije deluje u centru obratka gde zatezni naponi imaju maksimum.

LITERATURA

/1/ D. Vilotić, M. Plančak, Trbojević I.: Uticaj geometrije pritiskivača na parametre procesa pri sabijanju cilindričnih priprema. Časopis Tehnologija plastičnosti u mašinstvu, br. 1-2, str. 81-89, FTN, Novi Sad, 1991.

/2/ Musafija B.: Primjenjena teorija plastičnosti I i II deo. MF Sarajevo, 1973.

/3/ Johnson W., Mellor P. B.: Plasticity for Mechanical Engineers. Van Nostrand Reinhold Company, London, 1962.

D. Vilotić, I. Trbojević, P. Francuski

ANALIZA NAPONSKOG STANJA KOD SLOBODNOG SABIJANJA VALJKA KONUSNIM PLOČAMA

Re z i m e

Određivanje naponskog stanja kod pojedinih modela deformacije u tehnologiji plastičnosti značajno je zbog određivanja osnovnih parametara procesa i analize deformabilnosti materijala.

U ovom radu prikazano je određivanje naponskog stanja kod slobodnog sabijanja valjka konusnim pločama primenom metode ravnih preseka.

ANALYSIS OF THE STRESS STATE I THE COMPRESSION OF CYLINDRICAL SPECIMEN BY CONICAL DIES

S u m m a r y

Identification of stress state in the different models of technology of plasticity is very important for determination of basics process parametars and material formability.

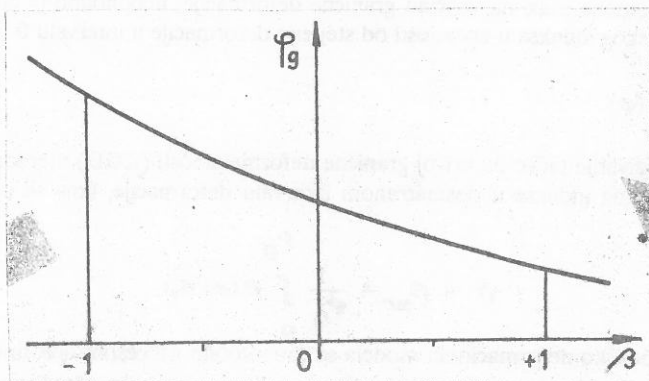
In this paper analysis of stress components in the compression of cylindrical specimen by conical dies is presented. Determination of stress components was made by slab method.

ODREĐIVANJE NAPONSKOG INDEKSA I GRANICE DEFORMABILNOSTI PRI OBRADI VUČENJEM

Ilija Trbojević, Vlado Vujović, Plavka Francuski
Institut za proizvodno mašinstvo,
Laboratorija za tehnologiju plastičnosti, Novi Sad

1. UVOD

Uticaj naponskog stanja na graničnu deformabilnost materijala predstavlja se pomoću krive granične deformabilnosti (slika 1), koja ima univerzalan karakter jer obuhvata brojne naponsko-deformacione modele, što je omogućeno uopštenošću njenih činilaca (φ_g, β).



Slika 1

Pokazatelj granične deformacije φ_g izražava se uopšteno pomoću glavnih logaritamskih deformacija ($\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$) na kraju procesa deformisanja (u tački razaranja) i to u vidu ekvivalentne (efektivne) deformacije (φ_e):

$$\varphi_g = \varphi_e = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\varphi_1 - \varphi_2)^2 + (\varphi_2 - \varphi_3)^2 + (\varphi_3 - \varphi_1)^2} \quad (1)$$

Kod vučenja okruglog profila je $\varphi_2 = \varphi_3 = -\varphi_1/2$, pa je $\varphi_e = \varphi_1$. Pokazatelj naponskog stanja ili (prema [3]) naponski indeks deformabilnosti (β) uopšteno je definisan kao funkcija glavnih normalnih napona u kritičnoj tački i to pomoću odgovarajućih invarijantnih veličina tenzora napona i devijatora napona u obliku:

$$\beta = 3 \frac{\sigma}{\sigma_e} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{\sigma_e} \quad (2)$$

gde su: $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ - komponente glavnih normalnih napona

$$\sigma = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3} \quad - \text{hidrostatski napon}$$

$$\sigma_e = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} \quad - \text{ekvivalentni}$$

U uslovima plastičnog tečenja ekvivalentni napon jednak je naponu tečenja pri posmatranom stepenu deformacije: $\sigma_e(\varphi) = k(\varphi) = k$, pa je:

$$\beta = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{k} \quad (3)$$

S obzirom da se naponsko stanje u toku procesa deformisanja neprekidno menja i da karakter ove promene utiče na veličinu granične deformacije, neophodno je odrediti funkciju promene naponskog indeksa u zavisnosti od stepena deformacije u intervalu 0 :

$$\beta = \beta(\varphi) \quad (4)$$

Za određivanje tačke na krivoj granične deformabilnosti (KGD) merodavna je srednja vrednost naponskog indeksa u posmatranom intervalu deformacije, koja se određuje prema izrazu:

$$\beta = \beta_{sr} = \frac{\varphi_g}{\varphi_g} \int_0^{\varphi_g} \beta(\varphi) d\varphi \quad (5)$$

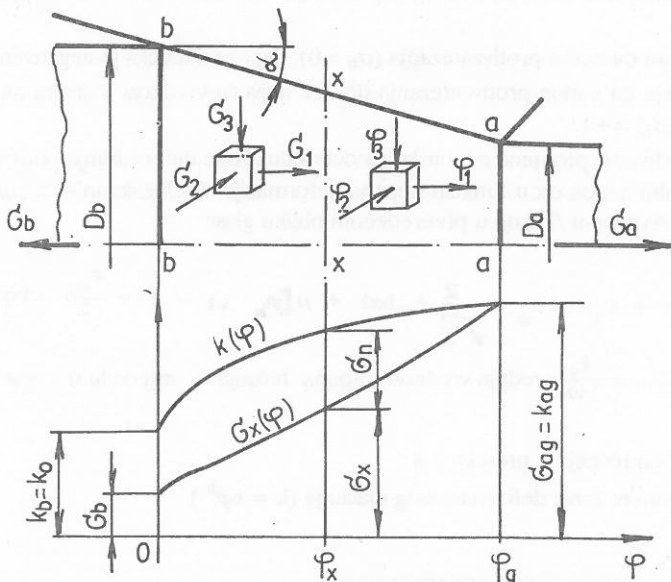
Kod naponsko-deformacionih modela sa monotonim procesom deformisanja naponski indeks se ne menja tokom trajanja procesa ($\beta = \text{const}$) pa se problem određivanja tačaka KGD svodi na iznalaženje graničnog stepena deformacije φ . Takvi su procesi: jednoosno zatezanje ($\beta \neq 1$), torzija ($\beta = 0$), jednoosno sabijanje ($\beta = -1$).

Kod većine naponsko deformacionih modela naponski indeks je promenljiv i može imati veoma različite vrednosti. U tom slučaju pored granične deformacije neophodna je identifikacija naponskih komponentata tokom trajanja procesa, što je često teško rešiv zadatak. U ovom radu

razmatra se analitička mogućnost definisanja položaja obrade vučenjem na krivoj granične deformabilnosti, na primeru vučenja okruglog profila.

2. ODREĐIVANJE FUNKCIJE NAPONSKOG INDEKSA

Model obrade vučenjem (slika 2) karakteriše ista deformaciona šema kao u slučaju jednoosnog zatezanja, dok se naponska šema bitno razlikuje zbog prisustva pritisnih komponenta koje omogućuju značajno povećanje deformabilnosti. Radi uprošćenja analize usvaja se pretpostavka o konstantnosti napona u svim tačkama pojedinih preseka duž zone deformisanja.



Slika 2

Ako se izraz za naponski indeks (3) primeni na presek $x-x$ stavljajući da je $\sigma_1 = \sigma_\xi$, $\sigma_2 = \sigma_3 = \sigma_n$, a na osnovu uslova plastičnog tečenja $\sigma_n = \sigma_x - k_x$, dobija se:

$$\beta = \frac{\sigma_x + 2\sigma_n - 2k_x}{k_x} = 3 \frac{\sigma_x}{k_x} - 2 \quad (6)$$

gde je: $k_x = k(\varphi_x)$ – napon tečenja u preseku $x-x$ – napon tečenja u preseku $x-x$

$$\varphi_x = 1n \left(\frac{D_b}{D_x} \right)^2$$

- logaritamska deformacija
(adekvatna ekvivalentnoj deformaciji)

Na osnovu ovog izraza lako se može odrediti naponski indeks u graničnim preseccima zone deformisanja. U kritičnom preseku (a-a) na izlazu iz matrice aksijalni napon (napon vučenja) σ_a u trenutku razaranja (pri $\varphi_x = \varphi_g$) dostiže graničnu vrednost jednaku naponu tečenja, $\sigma_{ag} = k_{ag} = k(\varphi_g)$, dok je normalni napon $\sigma_n = 0$, što znači da je naponski indeks u ovom preseku uvek $\beta_a = +1$.

Na suprotnoj strani, u preseku b-b, naponski indeks može imati različite vrednosti u zavisnosti od intenziteta protivzatežućeg napona σ_b . Ako se razmotre dva ekstremna slučaja dobija se:

- u slučaju da nema protivzatezanja ($\sigma_b = 0$), naponski indeks je negativan, $\beta_b = -2$,
- u slučaju da napon protivzatezanja dostiže najveću vrednost jednaku naponu tečenja ($\sigma_b = k_b$) biće $\beta_b = +1$.

Za određivanje promene naponskog indeksa duž zone deformisanja potrebno je u izraz (6) uvesti aksijalni napon σ_x u funkciji stepena deformacije. Poslužićemo se izrazom za napon vučenja prema Avitzur-u [2] koji u preuređenom obliku glasi:

$$\sigma_a = k_{sra} \left\{ \xi + f_1(\alpha) \varphi_a + \frac{2}{\sqrt{3}} f_2(\alpha) + \mu \left[\varphi_a \left(1 - \xi - \frac{\varphi_a}{2} \right) \operatorname{ctg} \alpha \right] \right\} \quad (7)$$

gde su: $k_{sra} = \frac{k_a}{1+n}$ srednja vrednost napona tečenja u intervalu $0 \leq \varphi \leq \varphi_a$

k_a - napon tečenja u preseku a-a

n - eksponent krive deformacionog ojačanja ($k = c\varphi^n$)

$\xi = \frac{\sigma_b}{k_{sra}}$ - relativni napon protivzatezanja

$\varphi_a = 1n \left(\frac{D_b}{D_a} \right)^2$ - logaritamska deformacija u preseku a-a

α - poluugao konusa alata

μ - koeficijent trenja

$f_1(\alpha)$, $f_2(\alpha)$ - geometrijske konstante (v. [1]).

Na osnovu izraza (7) može se napisati izraz za aksijalni napon u preseku x-x:

$$\sigma_x = \frac{k_x}{1+n} \left\{ \zeta \left(\frac{\varphi_g}{\varphi_x} \right)^n + f_1(\alpha) \varphi_x + \frac{2}{\sqrt{3}} f_2(\alpha) + \mu \left[\varphi_x \left(1 - \zeta \left(\frac{\varphi_g}{\varphi_x} \right) - \frac{\varphi_x}{2} \right) \operatorname{ctg} \alpha \right] \right\} \quad (8)$$

gde je φ_v - granični stepen deformacije

Uvođenjem funkcije aksijalnog napona σ_x u izraz (6) dobija se funkcija naponskog indeksa u obliku:

$$\beta = \frac{3}{1+n} \left\{ \zeta \left(\frac{\varphi_g}{\varphi_x} \right)^n + f_1(\alpha) \varphi_x + \frac{2}{\sqrt{3}} f_2(\alpha) + \mu \left[\varphi_x \left(1 - \zeta \left(\frac{\varphi_g}{\varphi_x} \right) - \frac{\varphi_x}{2} \right) \operatorname{ctg} \alpha \right] \right\} - 2 \quad (9)$$

Za rešenje ove funkcije potrebno je prethodno odrediti karakteristiku ispitivanog materijala (krivu tečenja) u analitičkom obliku $k = c\varphi^n$, zatim definisati parametre procesa (α , μ , ξ) i odrediti granični stepen deformacije φ_g .

3. ODREĐIVANJE GRANICE DEFORMABILNOSTI

Granica deformabilnosti najčešće se određuje eksperimentalnim postupkom koji u opštem slučaju podrazumeva kontinualno povećavanje opterećenja sa istovremenim porastom deformacije do njene granične vrednosti.

Kod modela obrade vučenjem nije moguće kontinualno povećavanje deformacije pa se mora primeniti postupak postepene promene naponskog stanja do pojave pukotine (odnosno prekida na izlasku iz matrice), pri određenom konstantnom stepenu deformacije koji za date uslove predstavlja granicu deformabilnosti φ_g . Kontinualna promena naponskog stanja u zoni deformisanja pri obradi vučenjem prekično se može ostvariti preko promene napona protivzatezanja σ_b .

U nedostatku specijalnog eksperimentalnog uređaja variranje naponskih komponenti može se ostvariti analitičkim putem, pomoću funkcije pokazatelja granice deformabilnosti:

$$\varphi_g = \varphi_g(n, \xi, \alpha, \mu) \quad (10)$$

Funkcija granice deformabilnosti u eksplicitnom obliku može se izvesti na osnovu izraza za napon vučenja (7), ako se stavi da je $\varphi_a = \varphi_g$ i da je granična vrednost napona σ_a jednaka naponu tečenja, $\sigma_a = k_{ag} = k(\varphi)$. Posle sređivanja jednačine dobija se kvadratna funkcija u obliku:

$$\alpha \varphi_g^2 + b \varphi_g + c = 0 \quad (11)$$

gde su:

$$a = \mu \operatorname{ctg} \alpha$$

$$b = 2 \left[\mu \operatorname{ctg} \alpha (\xi - 1) - f_1(\alpha) \right]$$

$$c = 2 \left[(1+n) - \xi - \frac{2}{\sqrt{3}} f_2(\alpha) \right]$$

Funkcija (10) ima jedno pozitivno rešenje

$$\varphi_g = -\frac{b}{2a} + \sqrt{\left(\frac{b}{2a} \right)^2 - \frac{c}{a}} \quad (12)$$

Ako usvojimo da su parametri n , α i μ konstantni jasno je da će se variranjem protivzatežućeg napona (parametar ζ) ostvarivati različite vrednosti graničnog stepena deformacije.

4. PRIMER PRORAČUNA

Proračun naponskog indeksa b i granice deformabilnosti v izveden je sa konstantnim parametrima koji mogu odgovarati procesu vučenja niskouglenične čelične žice:

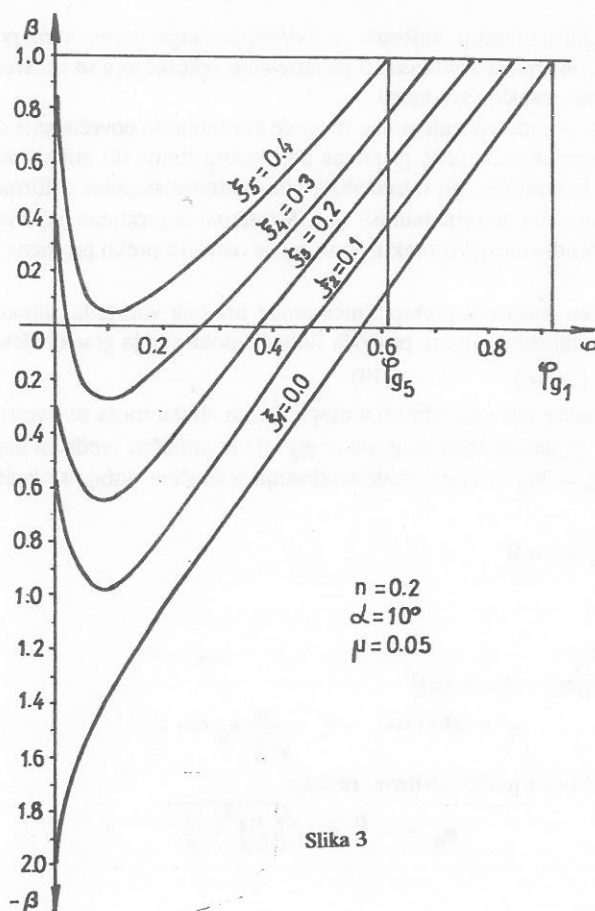
$$n = 0.2, \mu = 0.05, \alpha = 10^\circ (f_1(\alpha) = 1.00064, f_2(\alpha) = 0.11683)$$

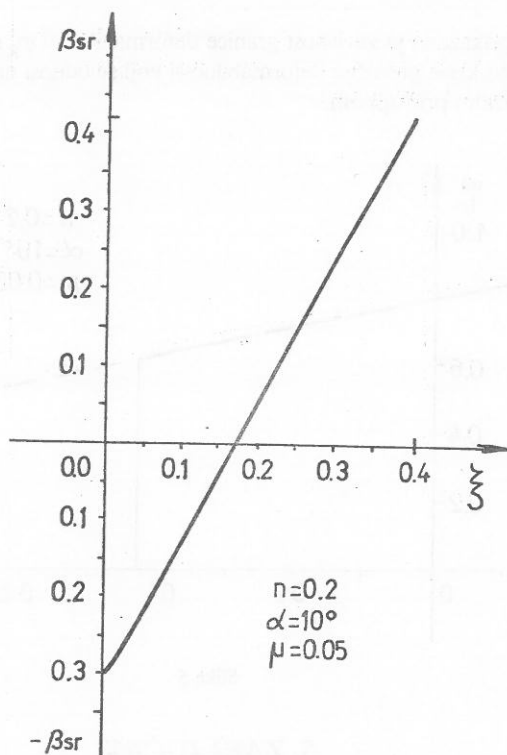
Promenljivi parametar, relativni napon protivzatezanja variran je u pet nivoa:

$$\zeta = 0.0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4$$

Vrednost $\zeta = 0.0$ odgovara vučenju bez protivzatezanja, dok vrednost $\zeta = 0.4$ predstavlja približno gornju granicu praktično ostvarivog protivzatezanja.

Proračun je rađen uz pomoć računara, rezultati su prikazani grafički i tabelarno.





Slika 4

Na slici 3 dat je grafički prikaz promene naponskog indeksa β duž zone deformisanja, u intervalu $0 \leq \varphi \leq \varphi_g$, pri različitim vrednostima parametra ξ .

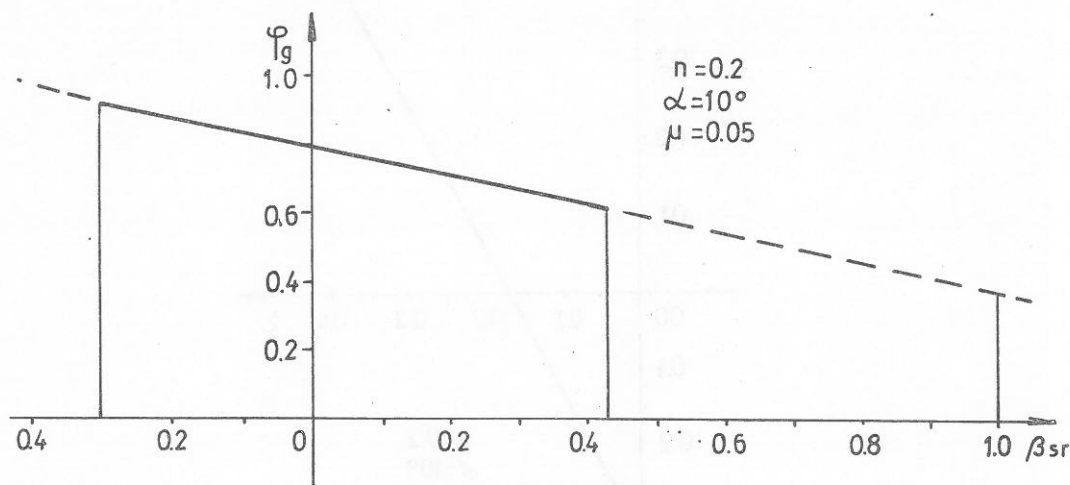
U tabeli 1 dati su rezultati proračuna graničnog stepena deformacije φ_g i srednje vrednosti naponskog indeksa β_{sr} u zavisnosti od parametra ξ .

Na slici 4 dat je grafički prikaz promene naponskog indeksa β_{sr} u zavisnosti od relativnog napona protivzatezanja ξ .

Tabela 1

| ξ | 0.0 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 |
|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| φ_g | 0.9235 | 0.8500 | 0.7740 | 0.6952 | 0.6137 |
| β_{sr} | -0.305 | -0.133 | +0.055 | +0.245 | +0.429 |

Na slici 5 prikazana je zavisnost granice deformabilnosti φ_g od naponskog indeksa β_{sr} , koja predstavlja deo krive granične deformabilnosti koji se odnosi na proces obrade vučenjem, a dobijen je analitičkim postupkom.



Slika 5

5. ZAKLJUČAK

Na osnovu dobijenih tačaka krive granične deformabilnosti (slika 5), koje se sasvim uklapaju u očekivani trend, može se izvesti zaključak o korektnosti primenjenog analitičkog postupka.

Vrednosti graničnog stepena deformacije φ_g nešto su veće od očekivanih, u poređenju sa onima koje se primenjuju u praksi, što bi moglo da bude predmet posebne analize.

Vrednost naponskog indeksa β potpuno se razlikuju u pojedinim presecima duž zone deformisanja i u velikoj meri zavise od protivzatežućeg napona (slika 3). U slučaju vučenja bez protivzatezanja ostvaruje se skoro pravolinijska zavisnost $\beta(\varphi)$, od najniže vrednosti na ulazu, $\beta(\varphi=0) = -2$, do najveće na izlazu iz zone deformisanja, $\beta(\varphi_g) = +1$, sa maksimalnom veličinom granice deformabilnosti φ_g . Daljim povećanjem parametra ξ smanjuje se φ_g , a vrednosti $\beta(\varphi)$ se povećavaju, sa tendencijom približavanja maksimalnoj vrednosti $\beta = +1$, pri kojoj bi prestao proces vučenja, a nastalo čisto jednoosno zatezanje.

Zbog promenljivosti naponskog indeksa duž zone deformisanja obavezno se mora određivati njegova srednja vrednost β_{sr} .

Zavisnost srednje vrednosti naponskog indeksa od napona protivzatezanja, $\beta_{sr}(\xi)$, skoro je pravolinijska (slika 4). Pri promeni parametra ξ u intervalu ostvarivih vrednosti $0 \leq \xi \leq 1$, naponski indeks se menja u nešto širem intervalu, $-0.305 \leq \beta_{sr} \leq +0.429$, koji definiše položaj obrade vučenjem na krivoj granične deformabilnosti.

6. LITERATURA

/1/ Trbojević I.: Određivanje funkcije stepena deformacije u procesu obrade vučenjem. XVI savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Mostar 1982.

/2/ Avitzur B.: Metal Forming-Processes and Analysis, New York, 1968.

/3/ Vujović V.: Naponski indeks deformabilnosti. Zbornik radova 6. jugoslovenskog savetovanja o plastičnosti, Opatija, 1989.

/4/ Vujović V. i dr.: Uticaj istorije deformisanja na korišćenje potencijala deformabilnosti. Zbornik radova 7. jugoslovenskog simpozijuma o plastičnosti, Pula, 1991.

Trbojević I., Vujović V., Francuski P.

ODREĐIVANJE NAPONSKOG INDEKSA I GRANICE DEFORMABILNOSTI PRI OBRADI VUČENJEM

REZIME

U radu je dat potupak analitičkog određivanja naponskog indeksa i granice deformabilnosti pri obradi vučenjem, na primeru vučenja okruglog profila, sa analizom uticaja protivzatežućeg napona kao glavnog uticajnog faktora

DIE BESTIMMUNG DES SPANNUNGS-INDEXES UND DEFORMATIONSGRENZE BEI ZIEHEN

ZUSAMMENFASSUNG

In dieser Arbeit ist ein Verfahren zur analytischen Bestimmung des Spannungs-Indexes und Deformationgrenze bei Ziehen dargestellt. Als Beispiel wurde Rund-Profil Ziehen präsentiert, mit der Analyse des Gegenzugeinflusses auf das Prozess.

PROBLEM PROSTIRANJA PLASTIČNE ZONE I NJENE GRANICE

Francuski P., Vujović V., Plančak M.

Institut za proizvodno mašinstvo,

Laboratorija za tehnologiju plastičnosti, Univerzitet u Novom Sadu

1. UVOD

Analiza procesa u tehnologiji plastičnosti se odnosi na izučavanje naponsko-deformacionih odnosa u plastičnoj zoni. Oblik i granice plastične zone predstavljaju jednu kompleksnu problematiku. Često se uslovi na granicama postavljaju u obliku različitih hipoteza, koje manje ili više odstupaju od stvarnosti. U različitim područjima tehnologije plastičnosti na različite načine se postavljaju i rešavaju problemi graničnih uslova. U osnovi problematika granica plastične zone javlja se na tri različita načina:

1. Kao kontaktna površina u dodiru sa alatom. U ovom slučaju se otvara jedna veoma široka problematika trenja i podmazivanja i njihov uticaj na naponsko deformaciono stanje.

2. Kao granična površina između dela materijala u kome se odvija plastična deformacija i dela materijala koji se nalazi u krutom stanju. Od tačnosti pretpostavke o obliku i položaju ovih površina zavisi uspešnost rešavanja problema plastičnog deformisanja.

3. Kao slobodna površina obratka na kojoj su normalni naponi jednaki nuli po pretpostavci.

U vezi sa izloženim javljaju se posebni problemi u području oblikovanja konusno-konvergentnim alatom, zatim u oblasti valjanja površina, odnosno površinskog plastičnog deformisanja (PPD) i u ostalim oblastima. Ovoj problematici se u Laboratoriji za tehnologiju plastičnosti Univerziteta u Novom Sadu posvećuje značajna pažnja. Planirana su sistematska istraživanja u području problematike granica plastične zone i ovaj rad predstavlja uvod u ta istraživanja. Razmatra se vrlo aktuelna problematika dubine plastične zone pri površinskom plastičnom deformisanju. Predstavljen je analitički pristup određivanja te dubine $1/2$, a zatim će uslediti eksperimentalna istraživanja. U ovoj oblasti dubina plastične zone je posebno značajna za određivanje područja u kome se bitno menjaju mehanička svojstva materijala zbog plastičnog deformisanja.

Kod površinskog plastičnog deformisanja granicu plastične zone predstavlja granica između deformisanog i nedeformisanog materijala, odnosno ona površina u obratku na kojoj se izjednačavaju specifični deformacioni otpori, odnosno tvrdoće deformisanog i nedeformisanog materijala. Kod ostalih metoda tehnologije plastičnosti kod kojih celokupna ili veći deo zapremine učestvuje u procesu deformisanja, pod plastičnom zonom će se podrazumevati onaj deo zapremine obratka u kome se odvija proces plastičnog deformisanja, odnosno ona zona u kojoj je u toku obrade vrednost efektivnog napona iznad granice tečenja za dati materijal, tako da će se tu javljati sve vrste graničnih površina o kojima je napred govoreno.

U radu (1) prikazan je jedan način određivanja dubine plastične zone, odnosno položaja granice plastične zone kod površinskog plastičnog deformisanja. Dubina plastične zone predstavlja jedan od osnovnih parametara procesa površinskog plastičnog deformisanja. U ovom slučaju analizirana je dubina plastične zone kod metode valjanja površina i to u dva slučaja. Prvi slučaj odnosi se na dubinu plastične zone ispod eliptičnog otiska alata, a drugi na dubinu ispod pravougaonog otiska.

2. KONTAKTNA POVRŠINA I SPECIFIČNI PRITISAK ALATA NA OBRADAK KOD VALJANJA POVRŠINA

Početni kontakt alata sa obratkom može biti tačkasti ili linijski u zavisnosti od njihove konfiguracije. Alat se utiskuje u obradak obrazujući na njegovoj površini otisak. Otisak eliptičnog oblika se formira pri valjanju obratka alatom kružnog profila (buričasti ili sferni) pri čemu poluprečnik krivine alata nije jednak poluprečniku krivine obratka uzetim sa obrnutim znakom. Tu je početni kontakt alata i obratka tačkast. Pravougaoni otisak nastaje pri linearnom početnom kontaktu alata i obratka. Uslov za formiranje pravougaonog oblika otiska je jednakost apsolutnih veličina krivina profila alata i obratka.

Prema teoriji Herca za elastično naponsko stanje, pri tačkastom polaznom kontaktu koji prelazi u eliptični pretpostavlja se raspored kontaktnog pritiska po zakonu elipsoida sa maksimalnim pritiskom u centru

$$P_{\max} = \frac{3F}{2\pi ab} \quad (1)$$

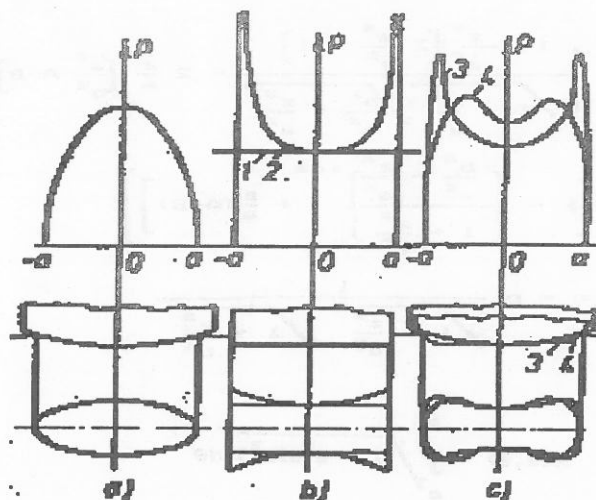
gde je F sila utiskivanja, a i b poluose eliptičnog kontakta u osnom poprečnom preseku. Ugao utiskivanja alata pri valjanju obično ne prelazi 10° , a za takav kontakt se može primeniti teorija Herca.

U slučaju linearnog kontakata cilindričnih površina prostorni dijagram rasporeda pritiska predstavlja cilindar eliptičnog preseka sa maksimumom u osnom preseku konstantnim duž kontakta

$$P_{\max} = \frac{F}{\pi ab} \quad (2)$$

Ovaj izraz daje vrednost p_{\max} za slučaj kontakta beskraje dužine. Kod konačne dužine valjčastog alata, koji ima nulti radijus krivine, kontaktni pritisak na njegovim krajevima će težiti

beskonačnosti (slika 1, b). Ova koncentracija se smanjuje čeonim zaobljenjima alata. Ukoliko veću dužinu kontakta čine zaobljeni delovi utoliko se više smanjuje koncentracija pritiska (slika 1, c). Izgled rasporeda pritiska u tim slučajevima dat je na slici 1.



Slika 1 - Dijagrami pritiska na površini kontakta obratka sa alatima različitog oblika a) pri tačkastom kontaktu valjčića alata kružnog profila b) pri linijskom početnom kontaktu cilindričnog valjčića neograničene dužine - 1 i cilindričnog valjčića s pravougaonim otiskom koji se formira na čeonim površinama - 2 c) sa zaobljenim sprezanjem pri odnosu cilindričnog dela prema zaobljenom 0.9 (3) i 0.4 (4)

3. DUBINA PLASTIČNE ZONE ISPOD ELIPTIČNOG OTISKA

U radu [1] je dubina plastične zone određena pomoću analize naponskog stanja u toj zoni. Analizom naponskog stanja na površini obratka određene su komponente napona pomoću kojih je određen efektivni napon. Izjednačavanjem efektivnog napona sa naponom tečenja nedeformisanog materijala određuje se koordinata koja definiše dubinu plastične zone.

U opštem slučaju kontakta tela proizvoljne zakrivljenosti površina glavni naponi σ_x , σ_y i σ_z na površinama koje su normalne na koordinatne ose, pri čemu je osa z normalna na površinu kontakta, a osa x se poklapa sa većom osom eliptične kontaktne površine, određuje se prema izrazima

$$\sigma_x = -p \frac{\frac{b^2}{a^2}}{1 - \frac{b^2}{a^2}} \left\{ - \left(\frac{\frac{b^2}{a^2} + \frac{z^2}{a^2}}{1 + \frac{z^2}{a^2}} \right)^{1/2} + 2 \frac{z}{a} (A-B) - \right.$$

$$- 2\mu \left[1 - \frac{\frac{b^2}{a^2} + \frac{z^2}{a^2}}{1 + \frac{z^2}{a^2}} \right]^{1/2} + \frac{z}{a} \left(\frac{a^2}{b^2} A - B \right) \right] \} \quad (3)$$

$$\sigma_y = -p \frac{\frac{b}{a}}{1 - \frac{b^2}{a^2}} \left\{ \frac{1 + \frac{z^2}{a^2} \left(2 \frac{a^2}{b^2} - 1 \right)}{\sqrt{1 + \frac{z^2}{a^2}} \sqrt{\frac{b^2}{a^2} + \frac{z^2}{a^2}}} - 2 \frac{z}{a} \left(\frac{a^2}{b^2} A - B \right) - 1 + \right. \\ \left. + 2\mu \left[1 - \left(\frac{\frac{b^2}{a^2} - \frac{z^2}{a^2}}{1 + \frac{z^2}{a^2}} \right)^{1/2} + \frac{z}{a} (A - B) \right] \right\} \quad (4)$$

$$\sigma_z = -p \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{z^2}{a^2}} \sqrt{1 + \frac{z^2}{b^2}}} \quad (5)$$

pri čemu su

$$A(e, \theta) = \int_0^\theta \sqrt{1 - e^2 \sin^2 \theta} \, d\theta$$

$$B(e, \theta) = \int_0^\theta \frac{d\theta}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \theta}}$$

eliptični integrali drugog, odnosno prvog reda, a μ Poasonov koeficijent. Eliptični integrali zavise od parametara:

$$\sigma = \arccos \frac{z}{a} \quad \text{i}$$

$$e = \sqrt{1 - \left(\frac{b}{a} \right)^2}$$

- ekscentricitet elipse

Iz izraza (3), (4) i (5) se vidi da su glavni naponi predstavljeni kao funkcije odnosa poluosu a i b eliptičnog otiska, odnosa koordinate z posmatrane tačke prema poluosama elipse i najvećeg pritiska p u centru površine kontakta.

Efektivni napon se izračunava prema

$$\sigma_e = \sqrt{\frac{1}{2} [(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2]} \quad (6)$$

Dubinu plastične zone nalazimo izjednačavanjem efektivnog napona prema relaciji (6)

sa granicom tečenja materijala obratka u polaznom stanju stavljajući da je $z = t$, pri čemu se ima u vidu relacija (1).

$$\sigma_{eo} = \frac{3}{2} \frac{F}{\pi ab} \sqrt{\frac{1}{2p^2} [(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2]}$$

Dubina plastično deformisanog sloja određuje se prema zadatim vrednostima F , σ_{eo} i odnosa b/a koji zavisi od polazne krivine obratka i alata i dimenzija plastičnog otiska neposredno izmerenog ili proračunatog prema empirijskim formulama datim u radu (1).

Osim računskim putem dubina plastičnog sloja se može odrediti i merenjem tvrdoće po poprečnom preseku. Merenjem tvrdoće nalazi se tačka u kojoj se tvrdoća deformisanog sloja izjednačava sa tvrdoćom nedeformisanog sloja i ta dubina predstavlja dubinu plastično deformisanog sloja.

4. DUBINA PLASTIČNE ZONE ISPOD PRAVOUGAONOG OTISKA

Ako je radijus profila alata jednak po apsolutnoj vrednosti i suprotnog znaka radijusu krivine aksijalnog preseka obratka, kontakt alata i obratka je u početnom trenutku linijski, a sa utiskivanjem postaje pravougaoni. U posebnim slučajevima to je kontakt cilindričnog valjka alata sa obratkom pravolinijskog profila sa paralelnim izvodnicama.

Za ovaj slučaj se mora vrši ponovo posebna analiza, jer se u ovom slučaju radi o različitoj promeni pritiska duž ose kontakta (izraz (2)).

Glavni naponi u materijalu obratka u slučaju pravougaonog otiska u ravnima normalnim na koordinatne ose određuje se izrazima /1/

$$\sigma_x = -p2\mu \left[\sqrt{1 + \left(\frac{z}{b}\right)^2} - \frac{z}{b} \right]$$

$$\sigma_y = -p \left[\frac{1 + 2\left(\frac{z}{b}\right)^2}{\sqrt{1 + \left(\frac{z}{b}\right)^2}} - 2\frac{z}{b} \right]$$

$$\sigma_z = -p \left[\frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{z}{b}\right)^2}} \right]$$

Izjednačavanjem efektivnog napona dobijenog na osnovu glavnih napona i efektivnog napona polaznog materijala dobija se izraz

$$\sigma_{e0} = \frac{F}{\pi ab} \sqrt{\frac{1}{2p} [(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2]}$$

na osnovu koga se određuje dubina plastične zone.

5. ZAKLJUČAK

Geometrija otiska alata bitno utiče na oblik i dubinu plastične zone. Geometrija otiska veoma zavisi od geometrije alata pomoću koga se izvodi površinsko plastično deformisanje. Određivanje dubine plastične zone zasniva se na određivanju naponskih komponenti, zatim efektivnog napona i njegovog izjednačavanja sa efektivnim naponom na granici plastičnog tečenja se $(\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z) = \sigma_{e0}$. Nastavak istraživanja će se odnositi na eksperimentalni deo.

Namera je da se u Laboratoriji za Tehnologiju plastičnosti Instituta za proizvodno mašinstvo u Novom Sadu izvede niz eksperimenata u kojima bi se dubina plastične zone mogla odrediti na oba načina koja su ovde prikazana (merenjem tvrdoće po poprečnom preseku i računsko-eksperimentalnom metodom određivanjem glavnih napona). Laboratorija raspolaže hidrauličnom presom čija je nominalna sila 6.3MN na kojoj bi se izveo eksperiment utiskivanja odgovarajućih alata (valjčića i kuglica) kako bi se dobio eliptični odnosno pravougaoni otisak alata. S obzirom da je sila veličina koja se može registrovati, σ_{e0} je poznato sa materijalom, a i b su takođe poznate veličine nakon eksperimenta, raspolaže se sa svim veličinama koje su potrebne da bi se na ovaj način odredila dubina plastične zone.

Po završetku eksperimenta deformisanja bi se izvršila priprema uzoraka i merenje tvrdoće po poprečnom preseku kako bi se proverile računski dobijene vrednosti.

Ovaj rad predstavlja inicijalni segment širih planiranih istraživanja koja će u kasnijoj fazi obuhvatiti i odgovarajuće eksperimentalne verifikacije.

LITERATURA

/1/ V.M. Braslavskij: Tehnologija obkatki krupnih detaljev rolikami. "Mašinstrojenje", Moskva, 1975.

/2/ V. Vujović: Prilog analizi tehnologije površinskog plastičnog deformisanja. FOSIP, Bihać, Maj 1988.

REZIME

U radu je predstavljen način određivanja granice plastične zone kod površinskog plastičnog deformisanja. Granica plastične zone se određuje analizom naponskog stanja u posmatranoj zoni i merenjem tvrdoće na poprečnom preseku obratka. Rad predstavlja početni deo širih istraživanja koja će se obaviti u Laboratoriji za tehnologiju plastičnosti u Novom Sadu.

SUMMARY

PROBLEM OF DEFORMATION ZONE SPREADING AND ITS BOUNDARIES

In this paper the way of deformation zone determination is presented. Boundaries of deformation zone can be determined by stress state analysis and by hardness test on the cross section of the specimen. This paper presents initial investigation in scope of which the experimental verification is planned in Laboratory for technology of plasticity.

PRILOG RAZVOJU TEHNOLOGIJE OBLIKOVANJA PRAŠKASTIH MATERIJALA SA ASPEKTA PERSPEKTIVNOSTI U ODNOSU NA KLASIČAN OBLIK OBRADJE DEFORMISANJEM MONOLITNIH MATERIJALA

Dr Ljubomir Bogdanov, dipl.maš.ing.
MIN INSTITUT DD, Niš, Višegradska 33

SAŽETAK

U ovom radu daje se osvrt na konkurentnost proizvodnog procesa oblikovanja iz metalnih prahova u poređenju sa klasičnim procesom izrade iz monolitnih materijala. Pored ostalih faktora posebno je upoređivana potrošnja energije po pojedinim fazama prerade.

ZUZAMMENFAASSUNG

In dieser Arbeit wird der Ruekblick auf die Konkurrenzfähigkeit des Herstellverfahrens für die Fertigung der Werkstücke durch die Formgebung aus den Metallpulvern, im Vergleich mit dem klassischen Herstellverfahren der Monolitmaterialverformung gegeben. Nebst der sonstigen Faktoren wurde besonders der Energieverbrauch in den einzelnen Fertigungsphasen verglichen.

1. UVOD

U zadnje vreme primena metalnih prahova intenzivno se širi. U svetu izrada delova iz praskastih komponenata premašuje 500.000 t/god.

Izradci iz praskastih komponenata dobijaju se kao gotovi delovi, ili se zahteva mala naknadna mehanička obrada, što u mnogome smanjuje troškove skupe obrade, zbog malih dodataka za obradu ili njihovog isključenja. Tehnologija praškaste metalurgije postiže visoke tehničke parametre. Mnogi delovi zbog svoje komplikovanosti ne mogu se dobijati drugim postupcima iz rade.

Univerzalnost metode praškaste metalurgije omogućava dobijanje izradaka raznih oblika koje je nemoguće dobiti livenjem ili drugim postupcima.

Praškasta metalurgija je rešila problem dobijanja proizvoda teško topljivih metala i dobijanja tvrdih legura i vatrootpornih materijala na osnovunjih. U zadnje vreme praškasta metalurgija stalno konkuriše drugim metodama dobijanja izradaka iz čelika i obojenih metala. Oblici izradaka iz praškastih komponenti su: prstenasti delovi, stepenasti, zupčasti, poluge i dr. Još veća primena je u elektro i radio industriji zbog mogućnosti dobijanja formi malih gabarita i masa. U automobilskoj industriji sve više izradaka dobija se metodom oblikovanja iz praškastih komponenti. Ima osvojenih više od 70 pozicija po vozilu.

Frikcioni praškasti materijali izrađeni od bakarnih, bronzanih i gvo zdenih komponenti odlikuju se visokim koeficijentom trenja ($m=0,3$), prime njuju se kod elemenata za prenos obrtnih momenata.

2. PRAŠKASTI MATERIJALI I OSNOVNE ŠEME PRESOVANJA

U zavisnosti od uslova rada konstruktivni praškasti izradci dele se na: neopterećene, malo i srednje opterećene i visokooterećene. A prema uloženom materijalu, na osnovi gvožđa i obojenih metala. Tehnologija proi zvodnje izradka metodom praškaste metalurgije, sastoji se od dobijanja me talnih praškova, pripreme i oblikovanja, pečenja već oblikovanog izradka i završna obrada (mehanička obrada, termička obrada, kalibriranje, dopresovanje i dr.).

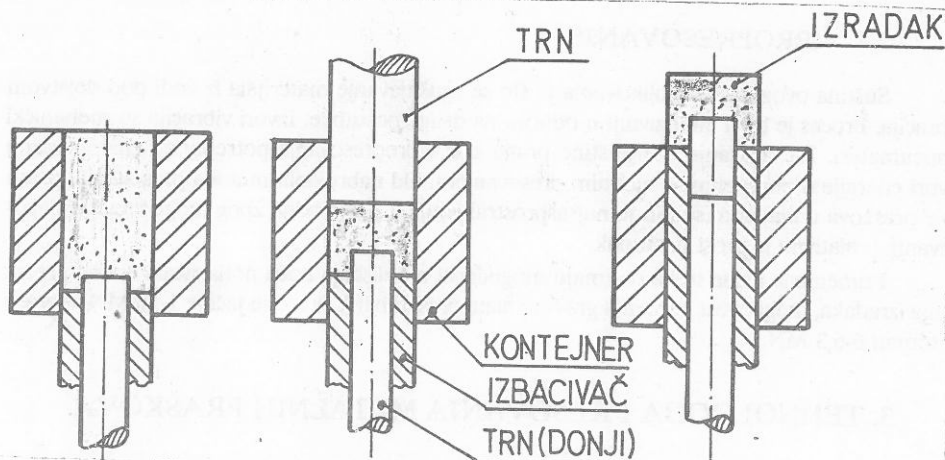
U nekim slučajevima red operacija je drugačiji, npr. pečenje je posle slobodnog utakanja praška ili presovanja praška sa jednovremenim zagreva njem itd.

Metode dobijanja metalnih praškova su: drobljenje, mlevenje kompaktnih materijala sitnjenje rastopljenog metala u struji sabijenog vazduha, obrada rezanjem. Ovo su mehanički postupci a postoje i fizičko-mehanički postupci: elektroliza u rastopljenoj sredini itd. Priprema praškova sastoji se u žarenju, sortiranju i mešanju. Žarenje se sprovodi u internom gasu ili vakuumu. Sortiranje se ostvaruje prosejavanjem sitima raznih klasificiranih dimenzija. Za mešanje prahova koriste se centrifugalne mešalice na bazi pr skalica i drugi postupci.

2.1. PRESOVANJE U HLADNOM STANJU

Presovanje u hladnom stanju je postupak sabijanja metalnog praha nasi panog u gravuri preserskog alata. Tehnološke mogućnosti su sa jednostranim i dvostranim presovanjem. Dvos-trano presovanje omogućuje dobijanje ravnomernije gustine po visini izradka. Ovaj postupak se sve više koristi jer omogućava primenu mehanizacije i automatizacije.

Nedostatak postupka je neravnomerni raspored gustine izradka pri izra di visokih komada.



Sl.1. Presovanje praškastih materijala u hladnom stanju

2.2. IZOSTATIČKO PRESOVANJE

Ovaj postupak karakterističan je po tome što se praškasti materijali šaržiraju u elastičnoj oblogi i u hermetičnoj komori podvrgava hidrostatičnom sabijanju. Obično se koriste fluidi: voda ili alkohol.

Pritisci su od 100-300 MPa a izuzetno i do 1000 MPa. Prednost ovog postupka je mogućnost dobijanja krupnijih izradaka iz praškastih komponenti i ravnomjerniji je raspored gustine po celoj zapremini. Osnovni nedostatak je što se ručno opslužuje i nemogućnost mehanizacije, te je produktivnost niska. Ovim postupkom ostvarena je izrada cilindara i cevi mase do 350 kg. I pored nabrojanih nedostataka, sve više je u primeni izostatičko presovanje u vrućem stanju.

2.3. PRESOVANJE U VRUĆEM STANJU

U praškastoj metalurgiji postoje dva načina oblikovanja: sopstveno presovanje u vrućem stanju i pečenje pod pritiskom.

Presovanje u vrućem stanju omogućava veću brzinu povećanja gustine pri relativno visokim opterećenjima, a pečenje pod pritiskom zahteva niže sile prethodnog presovanja. Ovim postupkom dobijaju se složeni oblici, a primenom izostatičkog postupka presovanja i pečenje izradak se dobija skoro sa idealnom gustinom što je izuzetna prednost.

Nedostaci ovog postupka su: manje je produktivan u poređenju sa presovanjem u hladnom stanju, znatno je habanje alata (gravure), nema velikog izbora materijala za alate deo gravure, zahteva zaštitu formirajućeg praha. Postupak se izvodi uglavnom u hidrauličnim

presama u alatima iz vatrootpornih legura, iz grafita i grafiticiranog uglja, a zagrevanje je indukciono.

2.4. VIBROPRESOVANJE

Sušтина ovog načina oblikovanja je što se zgušnjavanje materijala iz vodi pod dejstvom vibracija. Proces je brz i intenzivniji u odnosu na druge postupke. Izvori vibracija su mehanički i pneumatski. Za dobijanje iste gustine praha kod vibropresovanja potrebni su znatno manji izvori energije u poređenju sa hladnim presovanjem. Od nabrojanih metoda presovanja, presovanje praškova u hladnom stanju je najrasprostranjenije u proizvodnji zbog mogućnosti prilagođavanja i relativno je prost postupak.

Primenjene prese treba da imaju mogućnost regulisanja hoda potiskivača brzine presovanja izradaka, mogućnost punjenja gravure alata praškom itd. Prese su jačine 1-50 MN, a prese automati 6-6,3 MN.

3. TEHNOLOGIJA PRESOVANJA METALNIH PRAŠKOVA

Osnovni parametar u definisanju tehnološkog procesa je određivanje uložne količine (mase, odnosno zapremine) praškastih komponenata. Uložna masa se određuje iz uslova jednakih zapremina:

$$Q = V \cdot \gamma_M \cdot \gamma_r \cdot K_1 \cdot K_2 \quad (1)$$

gde su:

V - zapremina izradka

γ_M - gustina neporoznog materijala

γ_r - relativna gustina izradka

$K_1 = 1,005 \dots 1,01$ koeficijent gubitka praška pri presovanju

$K_2 = 1,01 \dots 1,03$ koeficijent gubitka mase izradka pri pečenju.

3.1. OPREMA ZA PRESOVANJE PRAŠKASTIH IZRADAKA

Osnovni uređaj za oblikovanje je alat za presovanje. Obično ima gornji i donji trn i kontejner. Svaki alat ima dopunskih i pomoćnih elemenata za razne namene (opruge, izbacivači, šaržeri). Izradak pri konstruisanju nju ne sme imati negativnih uglova, oštih ivica itd. Radijusi zaobljenja su $R=0,5$ mm. Za alat (deo gravure) koriste se elin;ni alati vatrootporni i otporni na habanje. Prese su tipizirane a mogu se koristiti klasične prese.

3.2. OBLIKOVANJE IZRADAKA IZ PRAŠKOVA U VRUĆEM STANJU

Kvalitet izradaka iz praškastih komponenti poboljšava se sa usavršavanjem tehnologije. Izradci ne pokazuju visoke pokazatelje fiksmeha ničkih i eksploatacionih svojstava, najviše zbog

poroznosti. Poroznost povećava koroziju, umanjuje stabilnost, a povećava vatrootpornost.

U cilju dobijanja kompaktnih izradaka iz poroznih praškastih pripre maka primenjuju se razne mogućnosti: povećanje gustine izborom tehnološkog procesa, konstrukcije alata (sa viškom materijala, bez viška materijala sa zagrevanjem ili hlađenjem) stepenom automatizacije i mehanizacije, načinom zagrevanja (u zoni alata i u samom alatu), sa zaštitnom atmosferom ili bez nje, u hladnom ili vrućem stanju, sa primenom aktivirajućih procesa povećanja gustine, primenom vibracija, ultrazvučnih talasa, plastifikacije i dr.) Određeni temperaturno - brzinski uslovi su neophodni i potrebni za dobijanje željene gustine i strukture materijala. Proces mora biti stabilan u odnosu na održavanje postojanosti temperature, dimanzija izradaka i alata.

Pri pečenju praškastih komponenti isključuje se proces rasta zrna i segregacije faza, te se dobija visoka jednorodnost strukture i čvrstoća. Čvrstoća i plastičnost uvećavaju se sa porastom gustine.

3.3. DINAMIČKO (UDARNO) VRUĆE PRESOVANJE

Dinamičko presovanje u vrućem stanju izvodi se iz praškastih komponenti sledećim redosledom operacija: priprema praškova željenog sastava, šaržiranje praška i hladno presovanje. Ispravan primerak se kratkovremeno zagreva u zaštitnoj atmosferi i kuje ili presuje na brzohodnim čekićima ili presama u zatvorenom ili otvorenom kalupu.

U zavisnosti od svojstava materijala, presovanje se izvodi na nekoliko načina:

Prvi:

- jednovremeno zagrevanje priprema pre dinamičkog presovanja sa pečenjem,
- pečenje,
- hlađenje
- kratkovremeno zagrevanje.

Drugi:

- kratkovremeno zagrevanje,
- dinamičko vruće presovanje,
- pečenje u procesu dufuznog žarenja.

Osnovna odlika dinamičkog vrućeg presovanja od običnog presovanja i kovanja je u tome, što jednovremeno sa oblikovanjem izradka nastaje dobijanje kompaktnog materijala iz porozne strukture priprema. Vreme trajanja dinamičkog presovanja čini stoti deo sekunde, što onemogućava povećanje temperature alata i smanjenje temperature oblikovanja do okončanja procesa. Pritisak u konačnoj fazi oblikovanja dostiže do 1.000 MPa. Tehnologija dinamičkog vrućeg presovanja praškastih materijala ima dosta zajedničkog sa presovanjem i kovanjem monolitnog materijala.

3.4. TEHNOLOGIJA DINAMIČKOG OBLIKOVANJA U VRUĆEM STANJU

Dinamičko oblikovanje u vrućem stanju u poređenju sa zapreminskim oblikovanjem u zatvorenim kalupima iz monolitnih materijala, karakteriše ravnomerno dejstvo sile na pripremak, te je alat izdržljiviji. U procesu oblikovanja izradka iz praškastih komponenti mora se posebno voditi računa o osetljivosti pojavom napona istezanja i rastezanja.

Za sada nema pouzdanih teorijskih metoda određivanja sile, već se koriste tabele i empirijske zavisnosti na osnovu eksperimenata. Sila umnogome zavisi od stepena pouzdanosti priprema.

4. OSVAJANJE PROIZVODA

4.1. PROJEKTOVANJE CRTEŽA OTPRESAKA

Crtež otpreska treba da predvidi sve specifične zahteve procesa oblikovanja praškova u vrućem ili hladnom stanju. Crtež gotovog dela je osnova a ostalo se definiše prema mogućnostima ove tehnologije. Položaj otpreska u gravuri alata treba biti takav da je minimalni radni hod potiskivača.

4.2. PRIPREMA PRAŠKASTE MASE

Kao uložni materijal koristi se metalni prah gvožđa, čelična (livena) strugotina, legirajući elementi i plastifikatori.

Kvalitet izrade u mnogome zavisi od kvaliteta gvozdenog praha. Sadržaj kiseonika je takođe od veoma bitnog uticaja. Sadržaj kiseonika preko 0,5% negativno utiče na kvalitet i stabilnost procesa. Umesto ugljenika koristi se kao dodatak čađ, radi regulacije sadržaja ugljenika u sastavu izradka. Sa gvožđem čađ reaguje pri nižim temperaturama, a grafit u vremeni kratkotrajnog zagrevanja od 1 min stupa u reakciju sa gvožđem zajedno sa procesom presovanja. Uvodjenje strugotine čelika ili čeličnog liva nije obavezno.

4.3. PRESOVANJE METALNIH PRAHOVA U HLADNOM STANJU

Ostvaruje se na hidrauličnim ili kolenastim presama koje poseduju izbacivače. Sila prese se računa empirijski:

$$P = q \cdot F \quad (2)$$

gde su:

- q - jedinični pritisak, za hladno presovanje iznosi $q=500 \text{ MPa}$
- F - projekciona površina priprema mm^2

4.4. ZAGREVANJE PRIPREMKA

Zagrevanje priprema je operacija od koje zavise pokazatelji kvaliteta gustina, struktura metala, debljina razugljeničenog sloja, kvalitet površine i dr. Vreme zagrevanja treba da bude ispod 30 sekundi a temperatura zagrevanja $1100...1200 \text{ }^\circ\text{C}$. Zagrevanje je u uređajima indukcijom, frekventnim ili kombinovano.

4.5. PRESOVANJE U VRUĆEM STANJU

Zaštita priprema od oksidacije i razugljeničenja postiže se potapanjem u grafitni rastvor. Ako je presovanje na kolenastim presama, brzina potiskivača ne sme biti manja od 0,3 m/s, a jedinični pritisak je $q = 1000 - 1500 \text{ Mpa}$. Posle presovanja izvadak se hladi do sobne temperature i podvrgava se čišćenju od obgorelog sloja i skidanja viška sa sastava kalupa i trna u bubnju sa vibracijama.

5. UPOREĐENJE PARAMETARA UTROŠKA ENERGIJE OBLIKOVANJA KOVANJEM IZ MONOLITNIH MATERIJALA I PRESOVANJA IZRADAKA IZ PRAHA

Utrošak energije za oblikovanje jedne tone izradka iz metalnog praha i jedne tone kovanih izvadaka iz monolitnih materijala, može se uporediti prema tehnološkom procesu izrade.

a) Kovanje otkovaka iz monolitnih materijala

| Red. br. | OPERACIJA | Utrošak energije na 1 t gotovih izradaka kWh |
|--------------|--|--|
| 1. | Sečenje (hladno lomljenje) | 5 |
| 2. | Zagrevanje do temperature kovanja | 845 |
| 3. | Kovanje na presi 10 MN (40% opterećenja) | 79 |
| 4. | Krzanje sskidanje viška materijala | 41 |
| 5. | Čišćenje (peskarenje) | 5 |
| 6. | Termička obrada | 340 |
| 7. | Mehanička obrada rezanjem | 74 |
| U k u p n o: | | 1.389 |

b) Oblikovanje presovanjem iz metalnog praha

| | | |
|--------------|------------------------------|-------|
| 1. | Mešanje i presovanje prahova | 2 |
| 2. | Presovanje u hladnom stanju | 55 |
| 3. | Pečenje | 994 |
| 4. | Zagrevanje | 340 |
| 5. | Oblikovanje na presi | 21 |
| 6. | Termička obrada | 306 |
| 7. | Operacija čišćenja | 4 |
| U k u p n o: | | 1.722 |

Iz prethodnog pregleda se može zaključiti da u slučaju odsustva operacije pečenja, tehnologija oblikovanja iz metalnog praha je veoma konkurentna.

5. ZAKLJUČAK

Može se zaključiti da su izradci prostih oblika skuplji ako se proizvode tehnologijom iz metalnog praha. Ušteda je jedino ako se isključuje mašinska obrada. Kod kovanja zupčanika sa zubima, tehnologija izrade iz metalnih prahova ima prednost.

LITERATURA

/1/ V.V. Bevitov: Malootodnai tehnologii obrabotki materialov davleniem, Mašinostroenie, Moskva, 1986

/2/ Kolašnikov A.I., i dr.: Gorjačeje hidropresovanje metaličeskih materialov, Mašinostrojenje, Moskva, 1977

/3/ Raes H.D.B.: Hot izostatic press tehnology powder maetalurgy, vol. 26, No.4, 1983

/4/ Grudev A.P. i dr.: Trenie i smaski pri obrabotke metalov davleniem, Spravočnik, Metalurgija, Moskva, 1983

/5/ Anciferov V.N. i dr.: Zaimnaja difuzija i homogenizacija v poroškovih materijalah, Metalurgija, Moskva, 1988

/6/ Radni materijal sa učešća autora u svojstvu specijaliste za gazostate i hidrostate u Harkovu, 1988

SINTER-KOVANJE OSNOVI TEHNOLOŠKOG POSTUPKA I PRIMENA

Mr. STJEPAN M.PANIC, dipl.mas.ing "SINTER" M.d.d.UZICE

REZIME

Siroke mogućnosti primene sinterovanih metalnih delova imaju za posledicu stalna istraživanja na poboljšanju, tačne geometrije, tolerancije mera dela ili poboljšanju njihovih mehanickih ili fizickih svojstava.

Sinter-kovanje je operacija sa kojom se postize izuzetno poboljšanje mehanickih i fizickih svojstava sinterovanog dela bez dodatnog utroska osnovnog materijala. U osnovi ovaj postupak bazira na tehnologijama proizvodnje sinterovanih metalnih delova (postupkom presovanja praha sabijanjem) i preciznog kovanja klasicnih celika.

U radu su opisane osnove tehnoloskog postupka sinter-kovanja i ilustrativno data primena i prednosti u primeni delova dobijenih ovom tehnologijom.

SINTER-FORGING BASIC PRINCIPLES OF TECHNOLOGIC PROCEDURE AND APPLICATION SUMMARY

The large application possibilities for sintered metal parts are consequently causing permanent improvements, precise geometries, dimension, tolerancies of parts or improvements of their mechanical or physical properties.

The sinter-forging is an operation by which an exeptional improvement of physical and mechanical properties of a sintered part is achieved without addition of basic material. In principle, this procedure is based on production technologies of sintered metal parts (the procedure of powder compacting) and the precise forging of traditional steels.

In this paper, the basic principles of a sinter-forging technologic procedure are described and some illustrations are given regarding the application and advantages in utilization of the parts manufactured by this technology.

1. UVOD

U razvoju primene proizvoda iz oblasti metalurgije praha (P/M) vrlo znacajno mesto zauzima primena sinterovanih metalnih delova.

Danas, ovi delovi imaju primenu u skoro svim indistrijskim granama ali najviše u: automobilske industriji, preciznoj mehanici, elektroindustriji, proizvodnji brava i okova, sivacih masina, alatjickama, tekstilnim masinama, kompjuterskoj tehnici, industriji naoruzanja i vojne opreme i dr.

Sa aspekta pripadnosti grupi masinskih delova, sinterovani metalni delovi se mogu podeliti na: sinterovane metalne filtere, klizne samopodmazujuce lezajeve i masinske delove (koji mogu biti standardnog i specijalnog oblika).

Proizvodnja i primena sinterovanih masinskih delova ima siroke mogucnosti i njihov stalni razvoj se ogleda u osvajanju novih slozenih oblika, delova visokih mehanickih svojstava, kao i primenom veceg broja naknadnih operacija, koje imaju za cilj dobijanje tacne geometrije i tolerancije mera dela ili poboljsanje njegovih mehanickih ili fizickih svojstava.

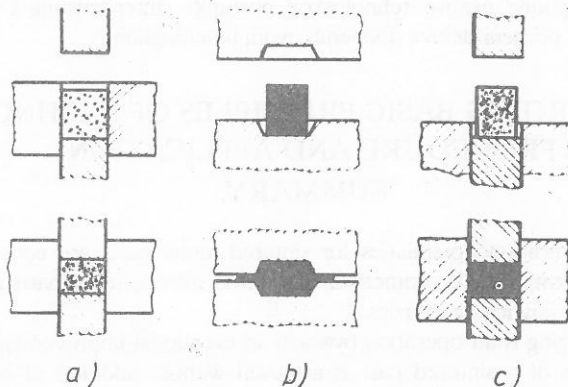
Operacije za poboljsanje mehanickih i fizickih svojstava su: drugo presovanje i sinterovanje, kovanje, termicka obrada, povrinska zastita, popunjavanje pora i dr.

U literaturi se o postupku kovanja sinterovanih delova, sreću nazivi kovanje metalnog praha ili cesce skraceno, sinter-kovanje /1/.

U daljem radu cemo ovaj naziv i mi koristiti.

Prvi pisani radovi o postupku sinter kovanja pojavljuju se sredinom sezdesetih godina. Pocetna israzivanja su dosta stara pocev od geoistrazivanja pa do kovanja rude, da bi zadnjih dvadeset godina primena ove tehnologije dozvela znacajan zamah u: SAD, Japanu i nekoliko zemalja Zapadne Evrope.

Postupak sinter-kovanja bazira na tehnologijama proizvodnje sinterovanih metalnih delova i peciznog kovanja. Sl. 1./10/.



Slika 1. a) - presovanje praha, b) - pecizno kovanje c) - sinter-kovanje

Kod izrade sinterovanih delova na bazi gvozdja moze se postupkom jednosrukog presovanja dobiti dimenzionalna tacnost, nakon kalibrovanja, IT8-IT7, ali delovi imaju poroznost 10-15% .Uvodjenjem drugog presovanja u hladnom stanju postize se visoka gustina, odnosno

manja poroznost 10-12% , cime se u odredjenoj meri povecavaju i mehanicka svojstva dela. Drugim sinterovanjem i presovanjem poroznost se jos vise smanjuje, 5-6%, a cvrstoca povecava.

Na drugoj strani preciznim kovanjem neporoznih klasicnih celika, dobijaju se delovi velike dimenzionalne tacnosti do IT7.

Medjutim, u odnosu na sinterovani deo kod dela dobijenog preciznim kovanjem se javlja veci ili manji gubitak u materijalu, a osim toga u vecini slucajeva potrebna je znatna naknadna obrada rezanjem.

Iz ovog veoma pojednostavljenog opisa karakteristika tehnologije proizvodnje sinterovanih delova i tehnologije preciznog kovanja, moze se predpostaviti logicna potreba da se njihovom kombinacijom razvije tehnologija sinter-kovanja. Ide se ka cilju da se preciznim kovanjem proizvodi jeftiniji deo, i to smanjenjem potrebne sile i promena alata pri kovanju, kao i smanjenjem cene proizvoda priprema. To je u najvećem broju slucajeva povoljnije ako se za pripremak koristi otpresak od metalnog praha ili sinterovani metalni deo.

2. TEHNOLOGIJA SINTER KOVANJA

2.1. Osnovni principi

U tehnoloskim postupcima dobijanja sinter-kovanog dela postoje kao i kod klasicnih postupaka kovanja dva osnovna principa:

- hladno kovanje i
- toplo kovanje.

Pod pojmom materijala za dobijanje sinter-kovanog dela, podrazumevaju se samo materijali na bazi zeljeza i celika.

Hladno kovanje se izvodi tako sto se sinterovani delovi odredjene gustine (koliko je izvodljivo jednim presovanjem praha, uobicajeno od $6,6 \text{ gr/cm}^3$) postavljaju u alate - kalupe kao pripremc i pod dejstvom sile dalje deformisu, menjajuci pri tome zapreminu, a i do odredjene granice geometriju.

Toplo (vruće) kovanje se izvodi tako, sto se sinterovani delovi zagrevaju na odredjenu temperaturu (obicno do $1100 \text{ }^\circ\text{C}$) ili jos neohladjeni posle sinterovanja, postavljaju u alate, kalupe kao pripremc i pod dejstvom manje ili vise izrazenog procesa istiskivanja deformisu, menjajuci takodje pri tome zapreminu i gustinu.

Tako se dobiju delovi visokih mehanickih svojstava i velike dimenzione tacnosti.

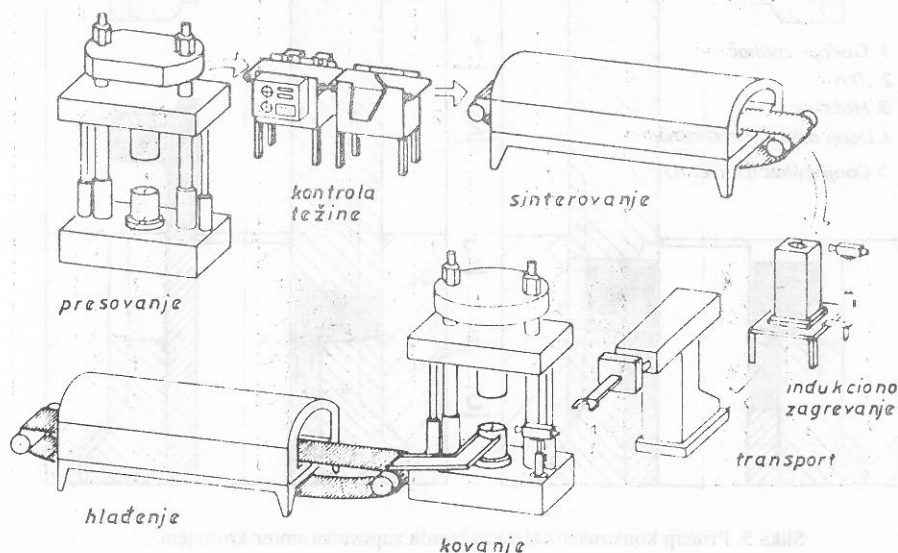
Kod postupka toplog kovanja zbog manjih sila trenja, manje otpornosti na deformaciju, potrebne su manje sile, a postize se veci stepen deformisanja delova, odnosno dobija se skoro potpuna gustina (sa poroznoscu do 3%).

Postupkom hladnog kovanja sinterovanih delova teze je postici komplikovanu geometriju, jer dosta je izrazeniji geometrijski faktor koncentracije napona. Zbog pomenutih nedostataka danas se hladno sinter-kovanje malo razvija i jedino ga je opravdano uvoditi kod kovanja nerdjajucih sinter celika zasto su i vrsena odredjena ispitivanja [7].

S obzirom na pomenuto, danas je dosta vise razvijeno i primenjeno toplo sinter-kovanje i ono ce dalje biti predmet naseg razmatranja.

Svedska firma Hoganas AB, koja je najveći svetski proizvođač metalnih prahova na bazi gvozdja (cca 200.000 tona godišnje), i ve sterala je jos 1973.godine, u razvoj i instalisanje opitne linije (koja je po velicini ustvari i proizvodna), namenjene za sinter-kovanje.

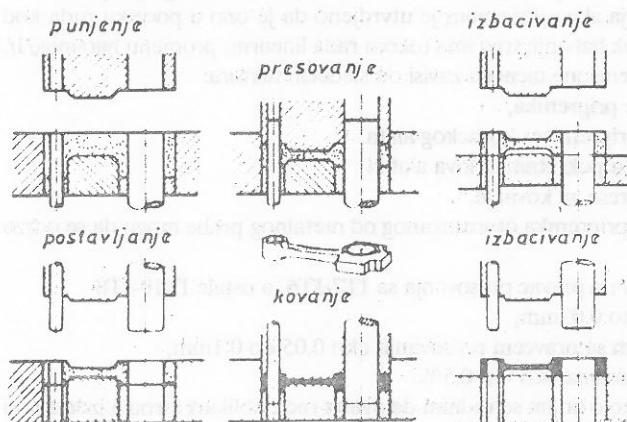
Par godina kasnije pocelo je sa radom postrojenje za toplo sinter-kovanje Nemačke firme Krebsoge, slika 3/10. Ovo postrojenje pripada takozvanom konceptu C (sl.2.).



Slika 3. Sematski prikaz postrojenja za sinterovanje Krebsoge.

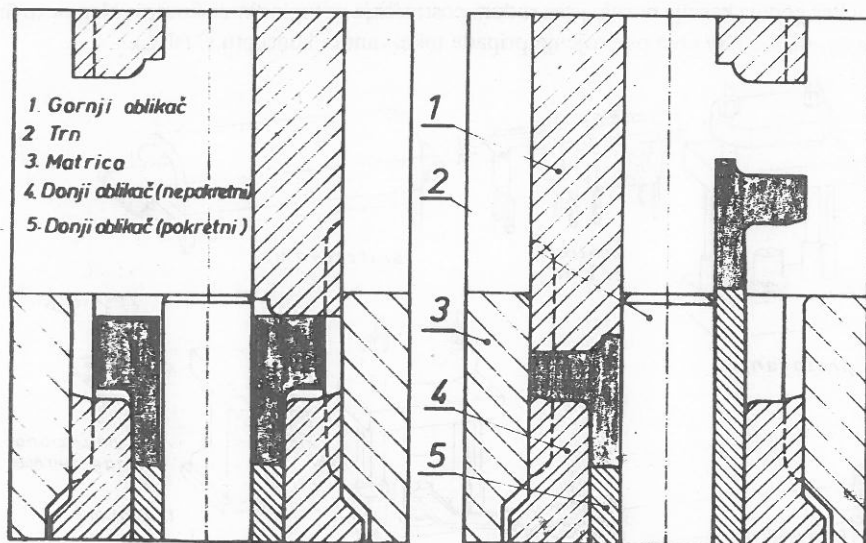
2.2.3. Kovanje i dimenzionalna tacnost

Sinter-otkivak svoj polaz ima u obliku sinterovanog dela, kao pripreмку, a konacnu formu mu daje alat, slika 4, 7/.



Slika 4. Princip presovanja praha i sinter-kovanja klipnjace

Konstrukcija alata za sinter-kovanje je uglavnom slicna konstrukciji alata za presovanje praha, kao i alata za precizno kovanje. Na slici 5 prikazan je tipican princip konstrukcije alata, za izradu cilindricnih zupcanika sinter-kovanjem.



Slika 5. Princip konstrukcije alata za izradu zupcanika sinter-kovanjem

Sila kovanja i sila izbacivanja rastu eksponencijalno sa približavanjem stoprocentnoj gustini dela i relativno su veće za delove kod kojih se sabijanje odvija bez bočnog tecenja materijala, nego za delove sa bočnim tecenjem.

Dimenzionalna tačnost sinter-otkivka zavisi, kao i kod preciznog kovanja, veoma mnogo od trošenja alata. Postojeće pri postupku kovanja praha radi sa manjim silama, zbog povoljnijeg oblika priprema, to je i habanje alata znatno manje nego pri preciznom kovanju. Na osnovu ovoga se može tvrditi, da je tačnost koja se postiže sinter-kovanjem veća nego pri preciznom kovanju celika. Što se tiče habanja alata iskustvom je utvrđeno da je ono u početku rada kod matrice brže, a kasnije sporije, dok habanje trna ima tokom rada linearnu promenu habanja, 1/.

Osim pomenutog, postizanje dimenzionalne tačnosti zavisi od sledećih faktora:

- tolerancije mera i težine priprema,
- oscilacije temperature priprema i kovačkog alata,
- potrebnih zazora između pokretnih delova alata i
- tačnosti vođenja bata prese za kovanje.

Tolerancija mera i težina priprema otpresovanog od metalnog praha mogu da se održe u vrlo uskim granicama:

- mere u smeru upravnim na pravac presovanja sa IT7-IT6, a ostale IT10-IT8
- ovalnost u granicama oko 0,03mm,
- mere u smeru paralelnim sa pravcem presovanja oko 0,05 do 0,1mm,
- tolerancije težine u granicama oko $\pm 0,5\%$.

Vek alata je različit zavisno o kojim se radnim delovima radi, oblikaci i trnovi izdržavaju

obradu delova, izmedju 10.000 i 30.000 komada, a matrice izmedju 30.000 i 150.000 komada, sto takodje zavisi od oblika delova primenjenog postupka i materijala alata. Najcesce se primenjuju za alate kao i za klasicno kovanje, alatni celici, npr. C.4751 i C.4753.

2.2.4. Materijali pogodni za sinter-kovanje

U tehnoloskom i ekonomskom smislu, za sinter-kovanje, najpogodniji su atomizirani legirani celicni prahovi. Potrebno je da prahovi imaju znatno nizi sadrzaj ugljenika da bi sila presovanja bila niza.

Vezani ugljenik se moze podesiti na zeljenu vrednost pri mesa sanju grafita sa osnovnim prahom.

U tablici 1, prema /4/ i /10/ dati su materijali koje koristi firma Krebsoge.

Tabela 1. Hemiski sastav metalnog praha za sinterovanje

| Materijal | Ugljenik % | Mangan % | Hrom % | Ni kl % | Molibden % | Sumpor % |
|-----------|---------------|-------------|--------------|--------------|---------------|-------------|
| Sint F 30 | 0,2 do 0,6 | 0,2 do 0,3 | < 0,1 | 1,8 do 2,0 | 0,5 do 0,6 | < 0,02 |
| Sint F 31 | 0,2 do 0,6 | 0,3 do 0,4 | 0,15 do 0,25 | 0,25 do 0,40 | 0,3 do 0,4 | < 0,025 |

Uprkos navedenim ogranicenjima dosadasnja iskustva su potvrdila da se odgovarajucim izborom vrste praha mogu na ekonomican nacin obradivati celici postupkom sinter-kovanja koji su po osobinama veoma slicni postojećim klasicnim celicima za kovanje, a posebno celicima za cementaciju.

U tablici 2. date su vrednosti mehanickih karakteristika za materijale iz tablice 1, a nakon sinter-kovanja istih.

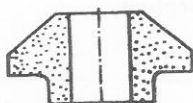
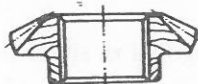
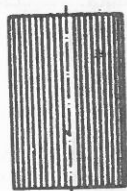
Tabela 2. Fizičko mehaničke karakteristike

| | Materijal | | |
|-------------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| | Sint F 30 | Sint F 31 | Sint F 31 |
| Sumpor % | < 0,02 | < 0,025 | 0,2 |
| Ugljenik % | 0,2 | 0,6 | 0,6 |
| Zatezna čvrstoća N/mm ² | 760 | 1014 | 914 |
| Granica izduženja N/mm ² | 530 | 675 | 619 |
| Izduženje % | 18 | 11 | 9 |
| Dinam. čvrstoća N/mm ² | 290 | 340 | 335 |

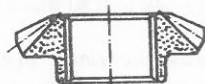
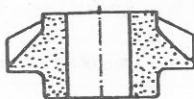
Razlicita usmerenost vlakana kod klasicnih otkivaka uslovljava vrlo velike razlike u cvrstoci u uzduznom i poprecnom smeru. Kod delova izradjenih sinter-kovanjem ova pojava je daleko slabije izrazena ili cak uopste ne postoji, sl.6a.

Na slici 6b data je uporedna zavisnost udarne zilavosti od smera vlakana i temperature.

Klasično kovanje

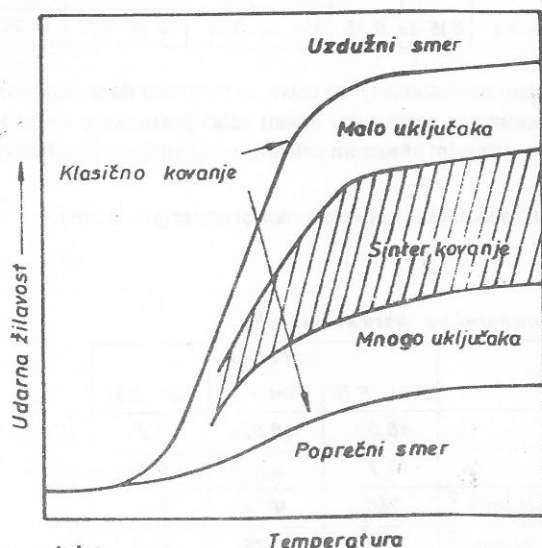


Kovanje praha



a)

Slika 6. a) položaj vlakna kod klasičnog ot-kivka i sinter-kovanja



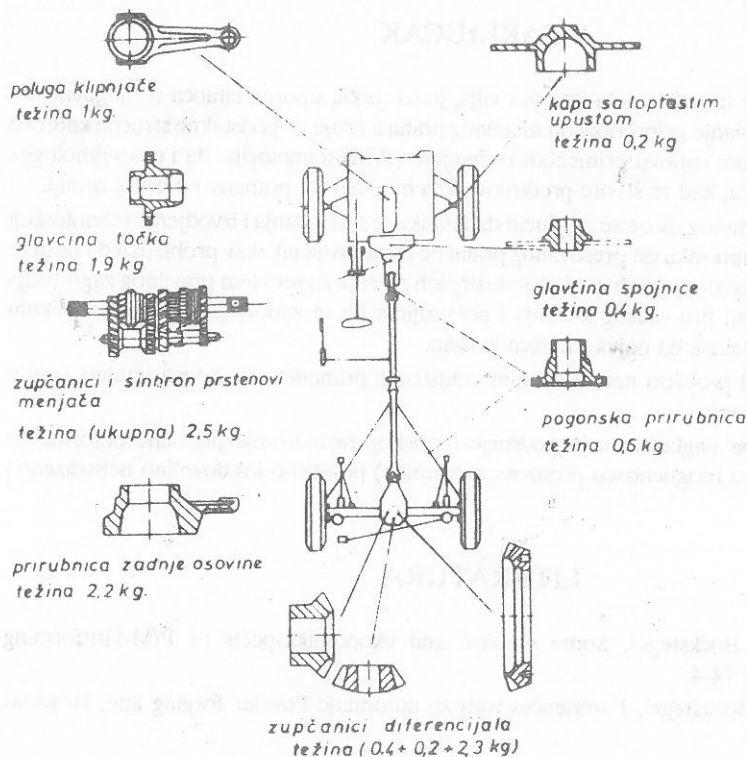
b)

b) udarna žilavost klasičnog celika i sinter-celika

3. PRIMENA SINTER-KOVANIH DELOVA

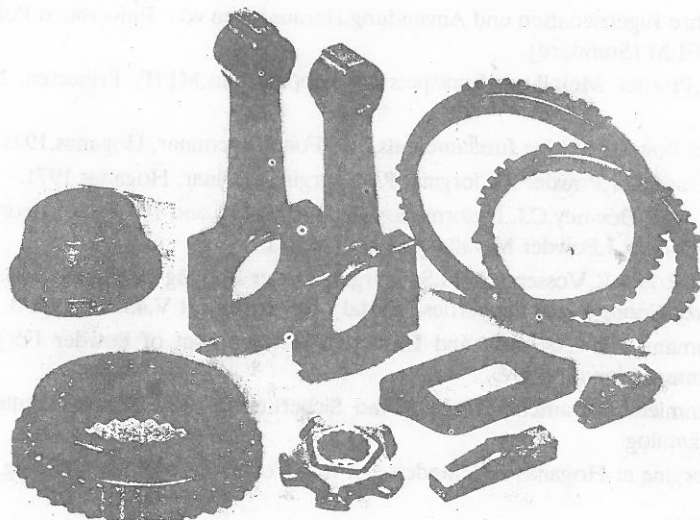
Glavni korisnici sinter-kovanih delova danas su: automobilska industrija (putnička i privredna vozila), industrija traktora i poljoprivrednih masina. Automobilska industrija je najinteresantnija zbog velikih serija u svojoj proizvodnji.

U prilog tome ilustrativno može poslužiti primer mehanizma jednog klasičnog evropskog



automobila slika 7, gde su prikazani delovi koji se izrađuju sinter-kovanjem ili su potencijalno mogući za tu izradu. Jasno su ilustrovani različiti geometrijski oblici i teline delova.

Slika 7. Primer mehanizma jednog klasičnog evropskog putničkog auta sa delovima za potencijalnu primenu sinter-otkivaka.



Na slici 8, takođe su dati primeri sinter-otkivaka koji se danas komercijalno izvedu. I to su takođe pretežno delovi za automobilsku industriju.

Slika 8. Delovi koji se proizvode sinter-kovanjem. 4.

4. ZAKLJUČAK

Za ovaj rad se može reći da ima dva cilja, jedan je da upozna čitaoca o mogućnosti i ostalim pojmovima kovanja priprema od metalnog praha a drugi da podstakne stručne kadrove koji se bave bilo po kom osnovu primenom i razvojem (P/M) tehnologija, da i ova tehnologija u određenom trenutku, kad se stvore preduslovi, ima mogućnosti primene i u našoj zemlji.

Na osnovu opisanog može se zaključiti da tehnika projektovanja i izvođenja tehnološkog postupka dobijanja priprema od presovanog praha ne predstavlja nikakav problem a da postoje određene teskoće u nalazenju prihvatljivih industrijskih rešenja za problem pravilnog zagrevanja i rukovanja odpresecima pre vrućeg kovanja i pokušajima da se zadovolje zahtevi za velikom čvrstoćom i zilavosti delova na najekonomičniji način.

Zato je i veliki problem naći veći obim industrijske primene ovih delova imajući u vidu sva pomenuta ograničenja.

Na kraju treba naglasiti da je područje teorijskog razmatranja plastične deformacije poroznih materijala (sa mogućnošću promene zapremine) praktično još dovoljno neistraženo i neopisano kod nas.

LITERATURA

1. Gerhard Bockstegel, Some technical and ekonomikaspects of P/M-Hotforming Hoganas AB, No PM 74-4
2. Gerhard Bockstegel, Experiences with an automatic Powder forging line, Hoganas AB, 1978.
3. Stjepan M. Panic, Analiza karakteristika sinterovanih metalnih delova i njihovo određivanje primenom metoda visefaktornog planiranja eksperimenata, Magistarski rad, Masinski fakultet, Beogra 1988.
4. Sinterteile ihre Eigenschaften und Anwendung, Herausgeben vom Pulverband Pulvermetallurgie. 583. SHWELM (Standard).
5. E. V. Leuel, Powder Metallurgy, Principles and Applications, MPIF, Princeten, New Jersey 1980.
6. Harry Antes, Powder forging fundamentals, P/M Forging seminar, Hoganas. 1971.
7. Cornelius Durdaller, Powder for forging, P/M Forging seminar, Hoganas. 1971.
8. Kuhn, H.A. and Downey, C.L. Deformation Characteristics and Plasticity Theory of sintered Powder materials, int. J. Powder Metallurgy 7, 1, p. 15 1971.
9. W. König, G. Rober, K. Vossen and M. Stromgen, Power Forging of Helical Gears for Car manual Gear Boxes-Concept and Properties. J. Metal Powder Report V. 45. No 4. 1990.
10. W. J. Huppmann, The Technical and Economic Development of Powder Forging, J. Powder metallurgy international 3, 1992.
11. Sintergeschmiedete Bauteile-Präzision und Sicherheit in Serie-Sinter metallwerk KREBSOGE GmbH-katalog.
12. Powder Forging at Hoganas AB, Sweden-PM Iron Powder information-katalog.

ANALIZA UTICAJA OJAČAVANJA MATERIJALA NA PROCES DUBOKOG IZVLAČENJA

dr Velibor Marinković, vanr.prof.
Mašinski fakultet u Nišu

1. UVOD

Jedan od najvažnijih i najsloženijih postupaka izrade elemenata od lima jeste duboko izvlačenje. Iz tih razloga je ovaj proces obrade plastičkim deformisanjem i danas predmet opsežnih teorijskih i eksperimentalnih istraživanja.

Od posebnog je interesa proučavanje uticaja ojačavanja materijala, anizotropije i triboloških uslova na odvijanje procesa obrade.

U ovom radu analizira se uticaj deformacionog ojačavanja materijala na proces dubokog izvlačenja. U dosadašnjim analizama uticaj ojačavanja materijala tretiran je uprošćeno, na različite načine. Najjednostavniji pristup je uvođenje u proračun srednje vrednosti napona tečenja, kao aritmetičke sredine početne i maksimalne vrednosti /1/ ili, pak, kao napona za srednju vrednost deformacije u vencu elemenata (u posmatranoj fazi dubokog izvlačenja). Drugi pristup je korišćenje krive ojačavanja u obliku linearne funkcije stepena deformacije /2/, što ne obezbeđuje visoku tačnost proračuna. Pri korišćenju krive ojačavanja u obliku stepene funkcije E. A. Popov /3/ je pošao od teze da se ekvivalentna deformacija može svesti na relativnu deformaciju u cirkularnom pravcu, a zatim je izvršio njenu aproksimaciju funkcijom pogodnom za dalju matematičku obradu.

U ovom radu je dat nov pristup analizi uticaja ojačavanja materijala na proces dubokog izvlačenja korišćenjem krive ojačavanja u obliku stepene funkcije.

2. NAPONSKO-DEFORMACIONI ODNOSI

Polazeći od opšte poznatih pretpostavki i uprošćenja relativne i logaritamske deformacije u vencu elemenata koji se izvlači određuju se po obrascima /2/, /3/, /4/:

$$\varepsilon_\theta = - \left[1 - \frac{\rho}{\sqrt{R_o^2 - R_s^2 + \rho^2}} \right] ; \varepsilon_s \quad (1)$$

$$= - \left[\frac{1 - 2 \ln(R_s/\rho)}{1 - 2 \ln(R_s/R_o)} \right] \cdot \varepsilon_\theta = F \left(\frac{R_s}{\rho} \right) \cdot \varepsilon_\theta ; \varepsilon_\rho = -(\varepsilon_\theta + \varepsilon_s)$$

$$\varphi_\theta = -\ln \frac{\sqrt{R_o^2 - R_s^2 + \rho^2}}{\rho} ; \varphi_s = -F \left(\frac{R_s}{\rho} \right) \cdot \varphi_\theta ; \varphi_\rho = -(\varphi_\theta + \varphi_s) \quad (2)$$

gde su:

ρ - teku } i radijus u vencu elemenata ($R_s \leq \rho \leq R$)

R_o, R_s - radijus priprema i radijus niza venca ($R_o \leq R_s \leq R$)

R - radijus cilindričnog dela izvučenog elementa.

Iz izraza (2) dobija se obrazac za proračun tekuće (trenutne) debljine lima u vencu elementa /4/:

$$\frac{s}{s_o} = \left[\left(\frac{R_o}{\rho} \right)^2 - \left(\frac{R_s}{\rho} \right)^2 + 1 \right]^{F(R_s/\rho)/2} \quad (3)$$

Za $\rho = R_s$ dobija se poznati obrazac za proračun debljine lima na nizu venca elementa /2/, /3/, /4/:

$$s/s_o = \sqrt{R_o/s_o} \quad (4)$$

Radijus na kojem deformacija ε_s menja znak, označava mesto u vencu elementa (u datoj fazi izvlačenja) u kojem nema promene debljine lima. Iz uslova $\varepsilon_s = 0$, prema izrazu (1), sledi relacija /3/:

$$\rho_n = 0,6065 \cdot R_s \approx 0,6 \cdot R_s \quad (5)$$

U zoni venca gde je $\rho > \rho_n$ dolazi do zadebljanja lima, a u zoni venca gde je $\rho < \rho_n$ do stanjenja. Teorijski posmatrano, pri odnosu izvlačenja $m > 0,6$ (stepen izvlačenja $\beta_o < 1,67$) ne dolazi do stanjenja lima. Značajno zadebljanje lima u vencu elementa mora se imati u vidu i pri izboru zazora alata i držača lima /1/, /2/, /3/.

Tretirajući naponsko stanje kao ravansko ($\sigma_s = 0$), na osnovu diferencijalnih jednačina ravnoteže i (približnog) uslova plastičnosti, lako se dolazi do obrazaca za određivanje glavnih normalnih napona /1/, /2/, /3/:

$$\sigma_\rho = \beta K_{sr} \ln \frac{R_s}{\rho} ; \sigma_\theta = -\beta K_{sr} \left(1 - \ln \frac{R_s}{\rho} \right) (\beta \approx 1,1) \quad (6)$$

gde je:

K_{sr} - srednja vrednost napona tečenja ($K_{sr} \approx 0,5 (K_o + K_1)$).

Relacija (5) direktno se dobija iz uslova: $\sigma_\rho = -\sigma_\theta$.

Kriva ojačavanja materijala najčešće se (po pravilu i najtačnije) izražava u obliku stepenih funkcija:

$$K = C \cdot \varphi^n \quad (7a)$$

$$K = K_o + C' \cdot \varphi^{n'} \quad (7b)$$

gde su:

$K_o \approx \sigma_y$ - početna vrednost napona tečenja,

$\varphi \approx \varphi_1$ - ekvivalentna logaritamska deformacija.

Za slučaj primene metoda istezanja epruveta za određivanje nepoznatih konstanti C, n, C' i n' razvijeni obrasci dati su u literaturi [3], [4]. Pri tome treba naglasiti da za isti materijal konstante C i C', kao i n i n' nisu numerički iste vrednosti.

S obzirom na relativno male deformacije u vencu može se, bez veće greške, ekvivalentna logaritamska deformacija svesti na relativnu deformaciju u obliku relacije:

$$\varphi \approx 2/\sqrt{3} \cdot \varepsilon \theta \quad (8)$$

Time se i napon tečenja po obrascima (7) svodi na funkciju tekućeg radijusa venca elementa R_s/ρ . Iz istih razloga se i normalni naponi (6) mogu svesti na funkciju iste koordinate zamenjujući K_{sr} naponom $K = K(R_s/\rho)$.

Distribucija normalnih napona i relativnih deformacija u vencu elementa, za tri faze izvlačenja, za jedan konkretan primer data je na slici 1.

2.1. ANALIZA UTICAJA OJAČAVANJA MATERIJALA

U prethodnoj analizi uticaj ojačavanja materijala uzet je na posredan način. Na osnovu Sl. 1b, međutim nameće se ideja da se napon tečenja u vencu elementa opiše funkcijom oblika:

$$K = K_{R_s} + D \left(\frac{R_s}{\rho} \right)^q \quad (9)$$

Na osnovu diferencijalnih jednačina ravnoteže i približnog uslova plastičnosti, korišćenjem izraza (9) i nakon nešto složenijih transformacija, dobijaju se sledeći obrasci:

$$\sigma_p = \beta \left\{ K_o + N(1-M) \cdot \ln \frac{R_s}{\rho} + N \cdot \frac{M}{q} \left[\left(\frac{R_s}{\rho} \right)^q - 1 \right] \right\} \quad (10a)$$

$$\sigma_\theta = -\beta \left\{ K_o + N(1-M) \cdot \left(1 - \ln \frac{R_s}{\rho} \right) - \frac{N \cdot M}{q} \left[(1-q) \left(\frac{R_s}{\rho} \right)^q - 1 \right] \right\} \quad (10b)$$

gde su:

$$M = \frac{(m/R_s)^q}{1 - (m/R_s)^q} \cdot \left\{ \left[\frac{\sqrt{1 - \bar{R}_s^2} + m^2 - m}{(1 - \bar{R}_s) \sqrt{1 - \bar{R}_s^2} + m^2} \right]^n - 1 \right\}$$

$$N = C \left[\frac{2}{\sqrt{3}} (1 - \bar{R}_s) \right]^n; \quad \bar{R}_s = \frac{R_s}{R_o}; \quad m = \frac{R}{R_o} = \frac{1}{\beta_o}$$

Daljom analizom je utvrđeno da važi sledeća relacija:

$$q = 1 + n \quad (11)$$

Na slici 1b data je distribucija napona σ_p i σ_θ po obrascima (10), za prvu fazu izvlačenja (dato isprekidanim linijama).

Na slici 2 data je distribucija napona σ_p i σ_θ za sledeće uslove $m = 0,5$; $n = 0,1$ i $0,5$; $\bar{R}_s = 0,9$; $0,8$; $0,7$ i $0,6$. Analogni dijagrami i u kvalitativnom i kvantitativnom smislu dobijeni su

i za uslove: $m = 0,6$; $n = 0,1$ i $0,5$; $R_s = 0,95$; $0,85$; $0,75$ i $0,65$. Presečne tačke na ovim dijagramima daju vrednosti radijusa "neutralne" površine venca ρ_n . Na osnovu sprovedene analize utvrđen je približan obrazac:

$$\rho_n \approx 0,6 \cdot (1 - 0,5 \cdot n^2) \cdot R_s \quad (12)$$

Uočava se da obrazac (12) daje niže vrednosti za ρ_n u odnosu na obrazac (5), za svaki materijal koji ojačava ($n > 0$). EkspONENT ojačavanja u obrascu (12) odnosi se na krivu ojačavanja oblika (7a); za krivu ojačavanja oblika (7b) treba izvršiti preračunavanje eksponenta n' na eksponent n (v.sl. 1b).

Sa slike 2 uočava se, takođe, značajan uticaj ojačavanja materijala na distribuciju napona σ_θ . S obzirom na to da je ovaj napon glavni uzročnik stvaranja nabora u vencu elementa, ovakav uticaj ojačavanja na raspodelu napona σ_θ treba imati u vidu pri projektovanju strategije držanja lima pri dubokom izvlačenju.

2.2. GRANIČNI STEPEN IZVLAČENJA

Teorijski granični stepen izvlačenja dobija se iz uslova da najveći radijalni napon σ_ρ (u zoni prenosa sile) ne može biti veći od napona tečenja $1/1$, $2/2$, $3/3$:

$$\beta_o = 2,72 \quad (m = 0,37)$$

Uzimajući u obzir ojačavanje materijala E. A. Popov $3/3$ je postavio sledeći obrazac:

$$\beta_o = (1 + 2\psi_m)^{1/2} \psi_m \quad (13)$$

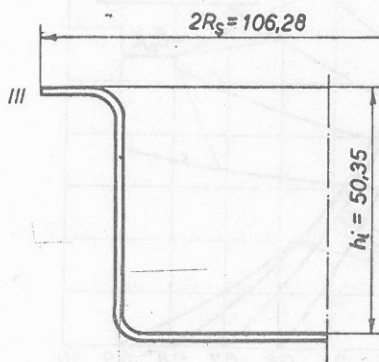
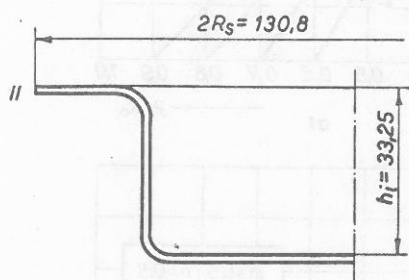
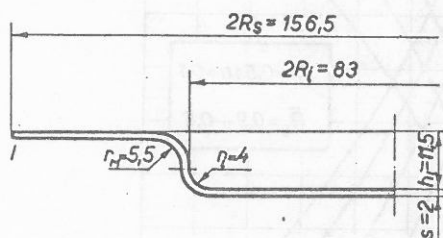
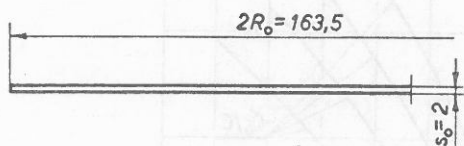
gde je:

ψ_m - kontrakcija epruvete na kraju ravnomernog deformisanja.

Iz obrasca (13) sledi da sa porastom ψ_m , (a to znači i eksponenta n $3/3$, $4/4$) opada β_o , što potvrđuju i analize sa primenom obrasca (7a).

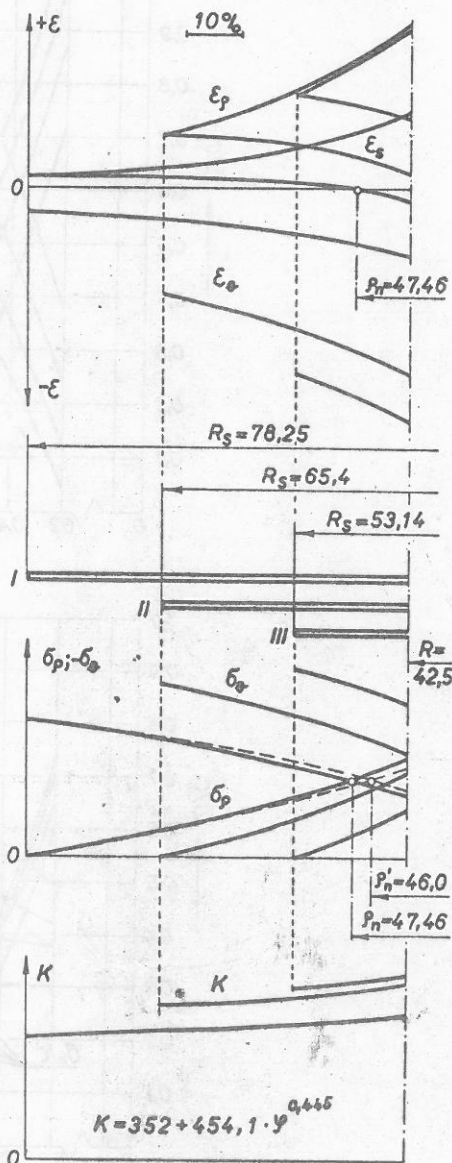
Međutim, kako je obrazac (13) izveden za idealne uslove deformisanja, vrednosti za stepen izvlačenja β_o morale bi biti znatno veće od realnih, što obrazac (13) ne daje. Tako se, na primer, za $\psi_m = 0,177$ ($n = 0,215$) po obrascu (13) dobija $\beta_o = 2,35$.

Eksperimenti Melora $6/6$ pokazuju da se uspešno izvlačenje može obaviti i sa stepenima izvlačenja $\beta_o = 2,22 - 2,5$. Inače, eksperimenti u mnogih drugih autora ukazuju da se duboko izvlačenje elemenata od čeličnog lima može uspešno obaviti i sa primenom držača lima, sa stepenima izvlačenja $\beta_o = 2,20 - 2,25$ $5/5$, $6/6$, $7/7$. Kod izvlačenja elemenata od limenih priprema veće debljine mogu se ostvariti stepeni izvlačenja $\beta_o = 2,22 - 2,32$ $8/8$. Sve to ukazuje na potrebu preciznog određivanja graničnog stepena izvlačenja.



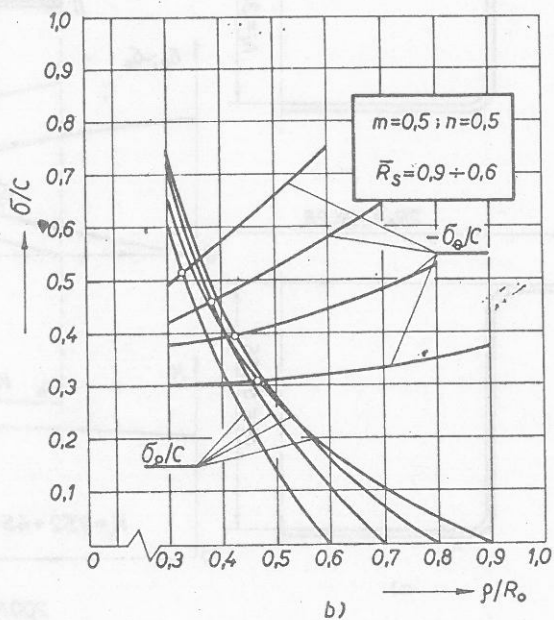
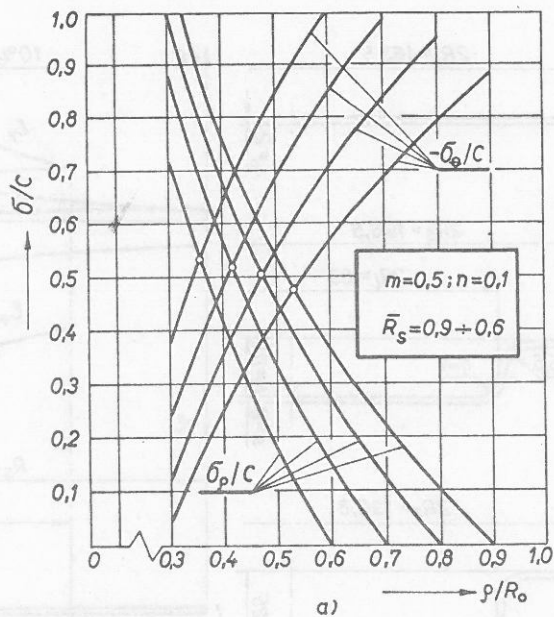
a)

Sl. 1



200 N/mm^2

b)



3. ZAKLJUČAK

Sprovedena istraživanja ukazuju na značajan uticaj ojačavanja materijala na distribuciju napona u vencu, na veličinu radnog napona izvlačenja i granični stepen izvlačenja.

Obrazac (7a) se može upotrebiti za proračun radnog napona (sile) izvlačenja, uzimajući pri tome u obzir priraštaj napona usled trenja i savijanja lima preko radijusa prstena i izvlakača, prema metodologiji E. A. Popova /3/ ili L. A. [ofmana /1/.

LITERATURA

/1/ [ofman L.A., Teorija i rasčeti processov holodnoj šampovki. "Mašinostroenie", Moskva, 1964.

/2/ Popov E.A., Osnovi teorii listovoj šampovki. "Mašinostroenie", Moskva, 1968.

/3/ Storožev M.V., Popov E.A., Teorija obrabotki metallov davleniem. "Mašinostroenie", Moskva, 1977.

/4/ Marinković V., Mašinska obrada, Deo I, Zbirka zadataka iz obrade materijala deformisanjem. Mašinski fakultet, Niš, 1990.

/5/ Stefanović M., Konstitutivni dijagrami - specifični prikaz distribucije deformacija pri dubokom izvlačenju. Obrada deformisanjem u mašinstvu, Novi Sad, 11 (1986) 2.

/6/ Ng P., Chakrabarty J., Mellor P.B., Instability Modes in Deep-Drawing. Proc. 17th Int. Mach. Tool. Des. and Res. Conf., Birmingham, 1976.

/7/ Panknin W., Grundlagen des Tiefziehen zur Herstellung zweiteiliger Dosen. Werkstatt und Betrieb 110 (1977) 5.

/8/ Averkiev A.J., Averkiev J.A., Belov E.A. i dr. Kovka i šampovka. Spravočnik. Tom 4 - Listovaja šampovka (Pod redakc. A.D. Matvejeva). "Mašinostroenie", Moskva, 1987.

/9/ Odell E.I., Analysis and design of a variable position minimum pressure blank-holder system for axisymmetric deep-drawing. Int. J. Mach. Tool Des. and Res., 17 (1977) 2.

AN ANALYSIS OF INFLUENCE OF THE WORK-HARDENING CHARACTERISTICS ON DEEP-DRAWING OF A BLANK OF SHEET METAL

This article presents a new approach to an analysis of stress-strain state in circular blank during the deep-drawing, by taking into account work-hardening of the sheet material.

It has been established a significant influence of workhardening (n-value) on the stress and strain distribution, the maximum drawing load as well as the limiting drawing ratio.

PROBLEM NEUJEDNAČENOSTI REZULTATA EKSPERIMENTALNOG ODREDJIVANJA EKSPONENTA DEFORMACIONOG OJAČAVANJA KAROSERIJSKIH LIMOVA

S. Aleksandrović
MAŠINSKI FAKULTET KRAGUJEVAC

1. UVOD

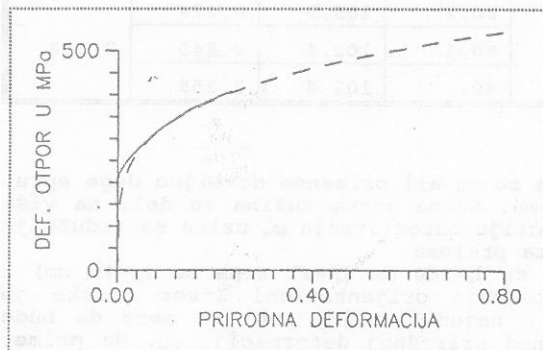
Deformaciono ojačavanje se najčešće izražava preko krivih ojačavanja, odnosno zavisnosti deformacionog otpora (ekvivalentnog napona) od plastične deformacije. Usko vezano za takav prikaz je i kvantitativno izražavanje ojačavanja preko eksponenta deformacionog ojačavanja ("n"-faktora). Pored toga ova karakteristika je veoma značajna i kao direktni pokazatelj obradivosti karoserijskih limova, naročito za delove u kojima preovladjuje naponska šema razvlačenja (dvoosno zatezanje) u uslovima nehomogenog deformacionog polja. Takva je većina velikih karoserijskih delova.

Medjutim, metode za odredjivanje "n"-faktora su raznorodne i značajno utiču na tačnost rezultata. Ovde je tretiran uticaj metode na tačnost sa ciljem da se odabere jedna, dovoljne tačnosti, koja bi bila predlog za standard. Izabrano je osam metoda baziranih na ispitivanju jednoosnim zatezanjem.

Ideja o "n"-faktoru potekla je iz analitičke aproksimacije eksperimentalne (stvarne) krive ojačavanja u obliku:

$$K = C \cdot \varphi^n$$

I pored očiglednog neslaganja ovakve krive sa stvarnom u oblasti malih deformacija (sl.1) aproksimacija je prihvaćena kao vrlo povoljna za limove od nelegiranih i niskolegiranih čelika, aluminijuma i njegovih legura i td.



Sl.1 Eksperimentalna kriva ojačavanja (puna linija)
i analitička aproksimacija (isprekidana linija)

Iz ove aproksimacije veličina n je uzeta kao pogodan pokazatelj i shodno matematičkom značenju nazvana eksponent deformacionog ojačanja jer direktno utiče na nagib krive (odnosno ojačanje). Lako se može pokazati (1) da je:

$$n = \varphi_M = \ln \frac{l_M}{l_0} = \ln(1 + \varepsilon_M) \quad \text{t.j. da je "n"-faktor brojno jednak maksimalnoj homogenoj (ravnomernoj) prirodnoj plastičnoj deformaciji (\varphi_M).}$$

2. EKSPERIMENTALNA ISPITIVANJA

2.1 Uslovi ispitivanja

Korišćen je materijal nemačke proizvodnje-firma SALZGITTER sa originalnom oznakom ST 1405 ZE 2/S. To je karoserijski lim (u ovom slučaju debljine 0,8 mm) od niskougljeničnog čelika, elektrolitički pocinkovan sa obe strane. Epruvete su sečene u pravcu valjanja. Ispitivanje je vršeno na hidrauličkoj presi ERICHSEN 142/12 (fot.1) sa opsegima za silu 0-20 kN i 0-130 kN i brzinom deformisanja 15 mm/min. Na ovoj mašini je realizovan i kompjuterski sistem za akviziciju.

2.2 Metode ispitivanja i rezultati

2.2.1 Metoda (a)

Zasniva se na registrovanju maksimalne zatežuće silo vizuelnim opažanjem trenutka početka opadanja sile, kada se opterećenje prekida i meri dužina epruvete l_M . Na osnovu toga je:

$$n = \varphi_M = \ln \frac{l_M}{l_0} \quad ; \quad l_M - \text{početna merna dužina epruvete.}$$

Primenjuje se standardna (JUS C.A4.002/85) epruveta sa nominalnim $l_0=80$ mm i širinom $b_0=20$ mm.

Realizovana su 3 merenja a rezultati su u tab.1. Metoda je vrlo jednostavna ali su rezultati orijentacioni zbog prisutne greške očitavanja maksimalne sile koju vizuelno nije moguće tačno odrediti.

Tab.1

| F_{\max}, N | b_0, mm | s_0, mm | l_0, mm | l_M, mm | φ_M | n_{ef} |
|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|----------|
| 6300 | 20,35 | 0,8 | 80,2 | 105,5 | 0,274 | 0,258 |
| | | | 80,1 | 102,4 | 0,245 | |
| | | | 80, | 103,6 | 0,255 | |

2.2.2 Metoda (b)

Po ovoj metodi određuje se φ_M ali primenom dovoljno duge epruvete koja se zateže do loma. NJena merna dužina se deli na više zona (na pr. na 40 mm). U cilju određivanja φ_M uzima se izduženje zone najudaljenije od mesta preloma.

Realizovana je epruveta sa $l_0=240$ mm (šest zona sa $l_{0i}=40$ mm) i $b_0=20$ mm. Rezultati su takodje orijentacioni Izvor greške je činjenica da deformacija u najudaljenijoj zoni ne mora da bude jednaka stvarnoj maksimalnoj prirodnoj deformaciji φ_M . Na primer,

ako se prelom dogodi u prvom, ili drugom (što je ovde bio slučaj) polju u šestom je deformacija manja od φ_M . Rezultati su u tab.2.

Tab.2

| Zona | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | $n=\varphi_6$ |
|------------|------|------|------|------|------|------|---------------|
| l_0 , mm | 40,0 | 40,0 | 39,9 | 40,1 | 40,0 | 39,9 | 0,212 |
| l_R , mm | 52,2 | 62,9 | 54,2 | 51,0 | 49,6 | 49,3 | |

2.2.3 Metoda (c)

Koristi se zatezanje dve epruvete do loma. Jedna je standardna ($l_0=80$ mm), a druga kraća ($l_0=40$ mm). Pri tome važi:

$$\varepsilon_D = \varepsilon_M + \varepsilon_{DN}$$

$$\varepsilon_{DN} = \frac{\Delta l_N}{l_0}; \varepsilon_{KN} = \frac{2 \cdot \Delta l_N}{l_0}$$

$$\varepsilon_K = \varepsilon_M + \varepsilon_{KN}$$

$\varepsilon_D; \varepsilon_K$ su ukupna relativna izduženja duge i kratke epruvete;

$\varepsilon_{DN}; \varepsilon_{KN}$ su odgovarajuća neravnomerna izduženja;

ε_M -maksimalno ravnomerno izduženje; l_0 - početna merna dužina duže epruvete;

Δl_N -apsolutno neravnomerno izduženje.

Iz prethodnog jednostavnim transformacijama (2) dobija se konačno:

$$c_M = 2 \cdot c_D - c_K \quad \text{odnosno:}$$

$$\varphi_M = \ln(1 + c_M)$$

Tab.3

| l_{01} , mm | l_{02} , mm | l_{R1} , mm | l_{R2} , mm | n |
|---------------|---------------|---------------|---------------|--------|
| 80,0 | 40,5 | 110,1 | 61,2 | 0,2162 |

Prikazani način odredjivanja je jednostavan ali približan jer se pretpostavlja jednako apsolutno izduženje za obe epruvete.

2.2.4 Metoda (d)

Primenjuje se zatezanje jedne standardne epruvete i merenje sila pri izduženju od približno 10% i 20%. Ideja je korišćenje dve vrednosti napona i deformacija sa krive ojačanja (koju po ovoj metodi nije potrebno odredjivati - sem ove dve tačke). Znači:

$$K_1 = C \cdot \varphi_1^n; K_2 = C \cdot \varphi_2^n$$

$$n = \frac{\ln \frac{K_2}{K_1}}{\ln \frac{\varphi_2}{\varphi_1}} = \frac{\ln \frac{\sigma_2 \cdot (1 + \varepsilon_2)}{\sigma_1 \cdot (1 + \varepsilon_1)}}{\ln \frac{\ln(1 + \varepsilon_2)}{\ln(1 + \varepsilon_1)}} = \frac{\ln \frac{F_2 \cdot l_2}{F_1 \cdot l_1}}{\ln \frac{l_2}{l_1}} = \frac{\ln \frac{l_2}{l_0}}{\ln \frac{l_1}{l_0}}$$

gde su F_1, F_2 -zatežuće sile; K_1, K_2 -deformacioni otpori (stvarni naponi); σ_1, σ_2 -tehnički naponi; l_1, l_2 -merna dužina epruveta.

Tab.4

| l_0, mm | l_1, mm | l_2, mm | F_1, N | F_2, N | n |
|------------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|--------|
| 80,0 | 89,7 | 96,7 | 5900 | 6150 | 0,2308 |

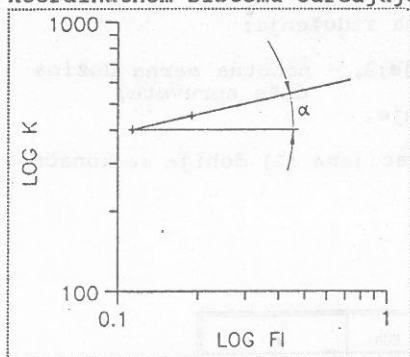
Metoda je pogodna i dovoljno tačna. Moguća greška proističe iz grešaka očitavanja sila i merenja deformacija (što nije vezano za samu metodu) i greške same eksponencijalne aproksimacije.

2.2.5 Metoda (e)

Logaritmovanjem jednačine $K = C\varphi^n$ dobija se:

$$\log K = \log C + n \log \varphi$$

Ako se koristi dvostruki logaritamski koordinatni sistem dobije se prava čiji je koeficijent pravca jednak n -faktoru. Znači, dovoljno je naći dve vrednosti deformacionog otpora i odgovarajuće deformacije ($\varphi = \ln l/l_0$; $K = \sigma e^\varphi$) čime su određene dve tačke dijagrama, odnosno definisana prava. Prikazom prave u već pripremljenom koordinatnom sistemu određuje se:



$$n = \tan \alpha ; \alpha - \text{ugao nagiba prema apscisnoj osi.}$$

Tab.5

| φ_1 | φ_2 | K_1, MPa | K_2, MPa | n |
|-------------|-------------|-------------------|-------------------|-------|
| ,114 | ,1896 | 401,1 | 451 | ,2309 |

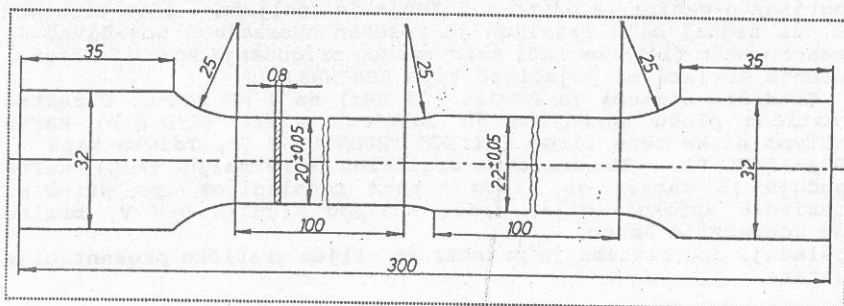
$$\alpha = 13^\circ$$

Sl.2 Određjivanje "n"-faktora u dvostrukom log sistemu

Za izračunavanje vrednosti u Tab.5 iskorišćene su vrednosti iz Tab.4. Metoda je slična kao metoda (d) s tim što su dopunske greške nepreciznosti crtanja i merenja ugla.

2.2.6 Metoda (f)

Koristi se specijalna dvostepena epruveta (sl.3). Za jednu vrednost zatežuće sile dobiju se dve vrednosti deformacije, što omogućava eliminaciju potrebe merenja sile.



Sl.3 Specijalna epruveta sa dve merne zone

Naime, za obe merne zone važi: $K_1 = C \cdot \varphi_1^n$; $K_2 = C \cdot \varphi_2^n$ odnosno

$$F \cdot A_1 = C \cdot \varphi_1^n$$

A_1 i A_2 su stvarne površine poprečnog preseka epruvete.

$$F \cdot A_2 = C \cdot \varphi_2^n$$

Jednostavnim transformacijama se dobija :

$$n = \frac{\ln \frac{A_1}{A_2}}{\ln \frac{\varphi_1}{\varphi_2}}$$

odnosno konačni izraz

$$n = \frac{\ln \frac{b_{02} \cdot L_{02} \cdot L_1}{b_{01} \cdot L_{01} \cdot L_2}}{\ln \frac{L_1}{L_{01}} \cdot \ln \frac{L_2}{L_{02}}}$$

gde su: L_{01} , b_{01} - početna dužina i širina uže zone;

L_{02} , b_{02} - početna dužina i širina šire zone;

L_1 , L_2 - dužine posle zatezanja za užu t.j. širu zonu.

Realizovano je zatezanje u 3 stepena (izduženja su I- oko 10%, II- oko 15% i III- oko 20%). Rezultati su u Tab.6.

Tab.6

| | L_{01}, mm | L_{02}, mm | b_{01}, mm | b_{02}, mm | L_1, mm | L_2, mm | n_i | n |
|---|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|------------------|------------------|-------|-------|
| 1 | 80,0 | 79,8 | 20,13 | 21,89 | 88,0 | 84,4 | ,2318 | 0,242 |
| 2 | | | | | 92,1 | 86,2 | ,245 | |
| 3 | | | | | 95,8 | 87,3 | ,2502 | |

Metoda je dovoljno tačna ali je izrada epruvete relativno komplikovana.

2.2.7 Metoda (g) - Sistem za akviziciju

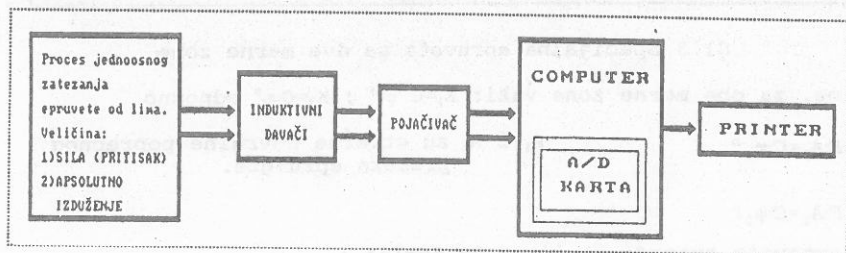
2.2.7.1 Hardver

Osnova sistema (sl.4 i fot.1) je proces jednoosnog zatezanja koji se ostvaruje na hidrauličnoj presi sa karakteristikama datim u tački 2.1. Induktivnim davačima sa pokretnim jezgrom se naznačene

veliĉine pretvaraju u elektriĉne (naponske) signale. Davaĉ sile je integrisan u mašini, a davaĉ izduženja je spoljašnji i to tipa HBM W100. Za signal sile razvijen je poseban operacioni pojaĉivaĉ sa niskopropusnim filterom radi hardverskog prigušenja šuma. Za signal izduženja koristi se pojaĉivaĉ tipa HBM KWS3073.

Središte sistema je PC-386 (33 MHz) sa 4 MB RAM-a. Direktno na matičnu ploĉu ugrađjena je multifunkcijska (A/D;D/A) karta relativno niske cene firme FLYTECH TECHNOLOGY Co, Taiwan tipa PCADDA-12FPC-010. Za analoĝno-digitalnu konverziju (A/D) karta omoguĉuje 16 kanala sa 12-to bitnom rezolucijom, po principu sukcesivnih aproksimacija, opseg ulaznog signala 0-9 V, brzinu jedne konverzije 5msec.

Poslednji deo sistema je printer sa ciljem grafiĉke prezentacije rezultata.



Sl.4 Blok shema razvijenog DA sistema

2.2.7.2 Softver sistema

U osnovnim crtama izloženo, razvijeni program omoguĉava snimanje A/D konverzijom konvertovane krive zatezanja (zavisnost sila-apsolutno izduženje) i njenu dalju obradu (uz dopunske podatke) do finalnih rezultata. Proces se prati u realnom vremenu, sa kontrolisanim parametrima konverzije i prethodno urađjenom kalibracijom. Kriva zatezanja se pretvara u numerički niz od oko 1000 vrednosti. Program od ulaznih podataka (pored krive) zahteva polazne dimenzije standardne epruvete (l_0, b_0, s_0) i dužinu posle razaranja (l_R). Finalni rezultati su: eksperimentalna kriva ojaĉanja, nekoliko aproksimacija krivih ojaĉanja (sa linearnim produžetkom, dve eksponencijalne aproksimacije, aproksimacija polinomom) i mehaniĉke karakteristike: zatezna ĉvrstoĉa, granica teĉenja, procentualno izduženje pri razaranju, prirodna maksimalna plastiĉna deformacija i dve vrednosti "n"-faktora.

I vrednost se dobija po principu u taĉ.2.2.4 s tim što se (zbog visoke taĉnosti) za K_2 i φ_2 uzimaju vrednosti koje odgovaraju najveĉoj sili zatezanja, a za K_1 vrednost koja odgovara deformaciji $\varphi_2/3$.

II vredost se dobija aproksimiranjem logaritamske jednaĉine za krivu ojaĉanja (taĉ. 2.2.5) po metodi najmanjih kvadrata (3). Tako se dobija izraz:

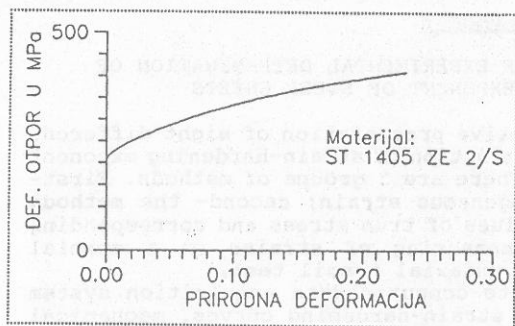
$$n = \frac{k \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{k \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

$$y = \ln K \quad \text{Vrednosti se uzimaju sa krive}$$

$$x = \ln \varphi \quad \text{ojaĉanja, a k se kreĉe oko 100.}$$

$$i = 1, \dots, k$$

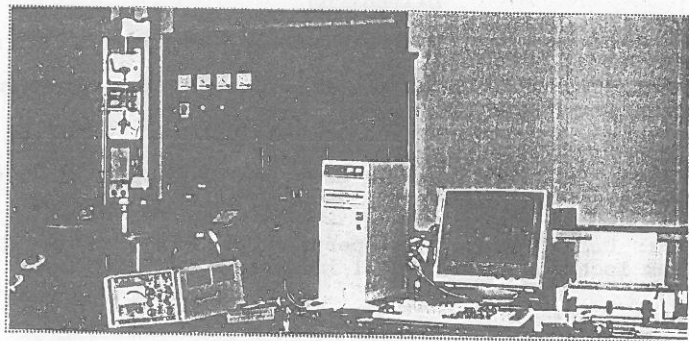
Softver je ostvaren primenom Turbo Basic-a (Borland).



Sl.5 Kriva ojačanja dobijena DA sistemom

Tab.7

| | |
|--------------------|--------|
| Poč. dužina epr.mm | 80 |
| Širina epruvete,mm | 20,3 |
| Debljina lima, mm | 0,8 |
| Zat.čvrstoća,MPa | 323 |
| Gran.tečenja,MPa | 209 |
| Izduž. pri raz.% | 37,2 |
| Pr.def. pri Fmax | 0,233 |
| I n faktor | 0,2366 |
| II n faktor | 0,2398 |



Fot.1 Izgled kompletnog DA sistema

2.3 Zaključak

Komparativnim sagledavanjem rezultata i karakteristika izloženih metoda nameće se zaključak da je, zbog visoke preciznosti, korišćenja standardne epruvete, efektivnosti postupka i td. najbolji izbor korišćenje kompjuterskog DA sistema koji pored "n" faktora definiše krivu ojačanja i mehaničke karakteristike. Sistem bi trebalo nadograditi potrebnim elementima za određivanje koeficijenta normalne anizotropije ("r"-faktora) čime se kompletira određivanje karakteristika obradivosti karoserijskih limova.

SUMMARY

UNEQUALITY RESULTS PROBLEM OF EXPERIMENTAL DETERMINATION OF STRAIN-HARDENING EXPONENT OF STEEL SHEETS

The paper contains a comparative presentation of eight different experimental methods for determination of strain-hardening exponent ("n" value) of steel sheets. There are 3 groups of methods. First- the measuring of maximal homogeneous strain; second- the methods based on determining of two values of true stress and corresponding plastic strain; third- the measuring of strains on a special specimen. All the methods use uniaxial tensile test.

Special attention was paid to computer data acquisition system intended for determination of strain-hardening curves, mechanical properties and "n"- value. Accuracy problem was treated with intention of suggesting appropriate method for determination of this important value.

LITERATURA

- 1) B.Devedžić: Obrada metala deformisanjem (knjiga I), Mašinski fakultet Kragujevac, 1980.g.
- 2) B.Devedžić: "r" i "n" faktor kod tankih limova, Mašinski fakultet Kragujevac, 1985.g.
- 3) ISO - Tensile strain hardening exponent ISO/TC 164/SC 2N (predlog standarda), 1985.g.
- 4) J.Villamanan, M.L.Aparicio: An easy approach for calculating the strain-hardening exponent, Sheet metal industries, X 1988.g., str.546-550.
- 5) W.J.Riffe: Using material properties to determine forming limit diagram location, Sheet metal industries, III 1990.g. str. 17-20.

IZVLAČENJE KUTIJASTIH DELOVA NEISTIŠLJIVIM FLUIDOM

Mr Rančić Bojan, asistent, Mašinski fakultet u Nišu
Dr Vojislav Stoiljković, red.prof., Mašinski fakultet u Nišu

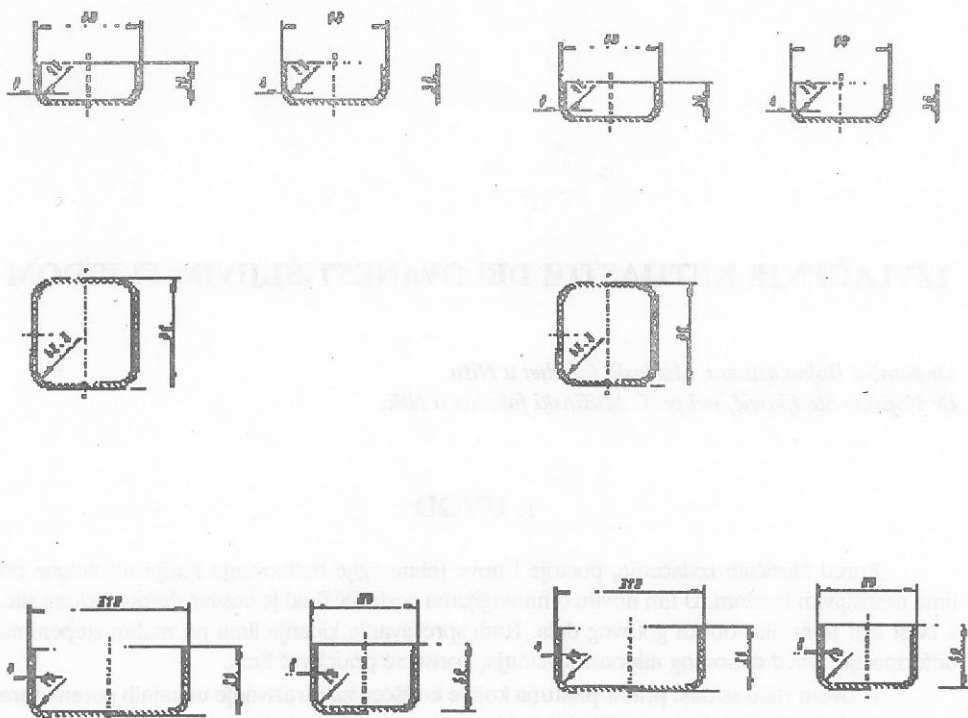
1. UVOD

Pored klasičnih izvlačenja, postoje i nove tehnologije oblikovanja kutijastih delova od lima nestišljivim fluidom. U tim novim tehnologijama nestišljiv fluid je nosilac deformacione sile, a čvrst alat je nosilac oblika gotovog dela. Radi sprečavanja kidanja lima pri malim stepenima deformacije, usled dvoosnog naponskog stanja, koristi se pridržiivač lima.

U ovom radu se daje prikaz pristupa koji je korišćen za istraživanje uticajnih parametara na izvlačenje kutijastih delova nestišljivim fluidom. Za ta istraživanja je poslužio fleksibilni alata, koji je omogućavao izvlačenje kutijastih delova 80*80 mm, 80*120 mm i 80*160 mm sa različitim prelaznim radijusima i pridržiivačima. Alat je bio smešten na specijalnoj hidrauličnoj presi za izvlačenje fluidom, koja poseduje mogućnosti automatskog odvijanja procesa. Svi parametri, od kojih zavisi proces izvlačenja, kao i snimanje geometrije dela u toku procesa izvlačenja, vršeno je primenom senzora povezanih na PC računar.

2. TEHNOLOGIJA IZVLAČENJA KUTIJASTIH DELOVA FLUIDOM

Geometrija kutijastih delova koji se dobijaju dubokim izvlačenjem, kao i odredjivanje početnog priprema iz koga se izadjuju zadati delovi, definiše se primenom specijalizovanog CAD sistema, koji je razvijen na Mašinskom fakultetu u Nišu. Izrada pak pravougaonih delova od lima vrši se postupcima dubokog izvlačenja. Ta tehnologija može da bude klasična (čvrsti delovi alata), ili može deo da se izvlači dejstvom fluida (1). Pri tome se ravni pripremak (platina) lima oblikuje u pravougaoni deo. Rezultujući deo posle obrade ima relativno kompleksnu geometriju sa tačno definisanim oblikom, dimenzijama, tolerancijama i kvalitetom obrade. Prema tome, prost oblik se transformiše u kompleksan oblik posredstvom alata ili fluida, koji saopštava traženu geometriju pritiskom na materijal koji se deformiše kroz vezu alat / materijal.



Slika 1: Lutijasti delovi koji su izvlačeni pri istraživanjima

Zesto puta je potrebno da se do zadatog oblika dodje kroz nekoliko posebnih operacija. Takav slučaj se javlja i pri izradi pravougaonih delova od lima.

Glavni cilj inženjera je da obezbedi proizvodnju visokokvalitetnih delova sa funkcionalnim zahtevima, uz minimalno mogući trošak i uz minimalno potrebno vreme. U realizaciji tih zahteva neophodno je da inženjer poseduje odgovarajući "alat". Taj "alat" predstavlja zapravo specijalizovani CAD//CAP/CAM sistem koji omogućava generisanje modela proizvoda, tehnologiju izrade i alate za oblikovanje traženog dela, kao i integraciju nacrti i izrade (2,3,4). Za definisanje tehnologije izrade neophodno je da se raspolaže matematičkim modelom, koji opisuje tu tehnologiju. To podrazumeva definisane zavisnosti promene napona, deformacija, pritiska nestišljivog fluida potrebnog za izvlačenje, kao i parametara pridržavanja.

Za izvlačenje cilindričnih delova nestišljivim fluidom, kao i za oblikovanje cevi, postoji odgovarajući matematički modeli do kojih se došlo istraživanjima provedenim na Mašinskom fakultetu u Niš u prethodnom periodu (5,6,7). Međutim, za izvlačenje kutijastih delova

nestišljivim fluidom, nisu postojale solidne teorijske osnove za definisanje potrebnog matematičkog modela procesa. Zato se već nekoliko godina vrše odgovarajuća istraživanja postupka izvlačenja kutijastih delova nestišljivim fluidom na Mašinskom fakultetu u Nišu.

Za istraživanja izvlačenja kutijastih delova fluidom odabrana se tri različita dela dimenzija poprečnog preseka: 80*80 mm, 80*120 mm i 80*160 mm (slika 1). Moguće visine delova dobijenih izvlačenjem bile su planirane od 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60 i 65 mm, a radijusi tih delova u uglovima mogli su da budu 12,5 mm i 16 mm. Pregled svih poprečnih dimenzija dela, radijusa i visina dat je u Tabeli 1.

Tabela 1

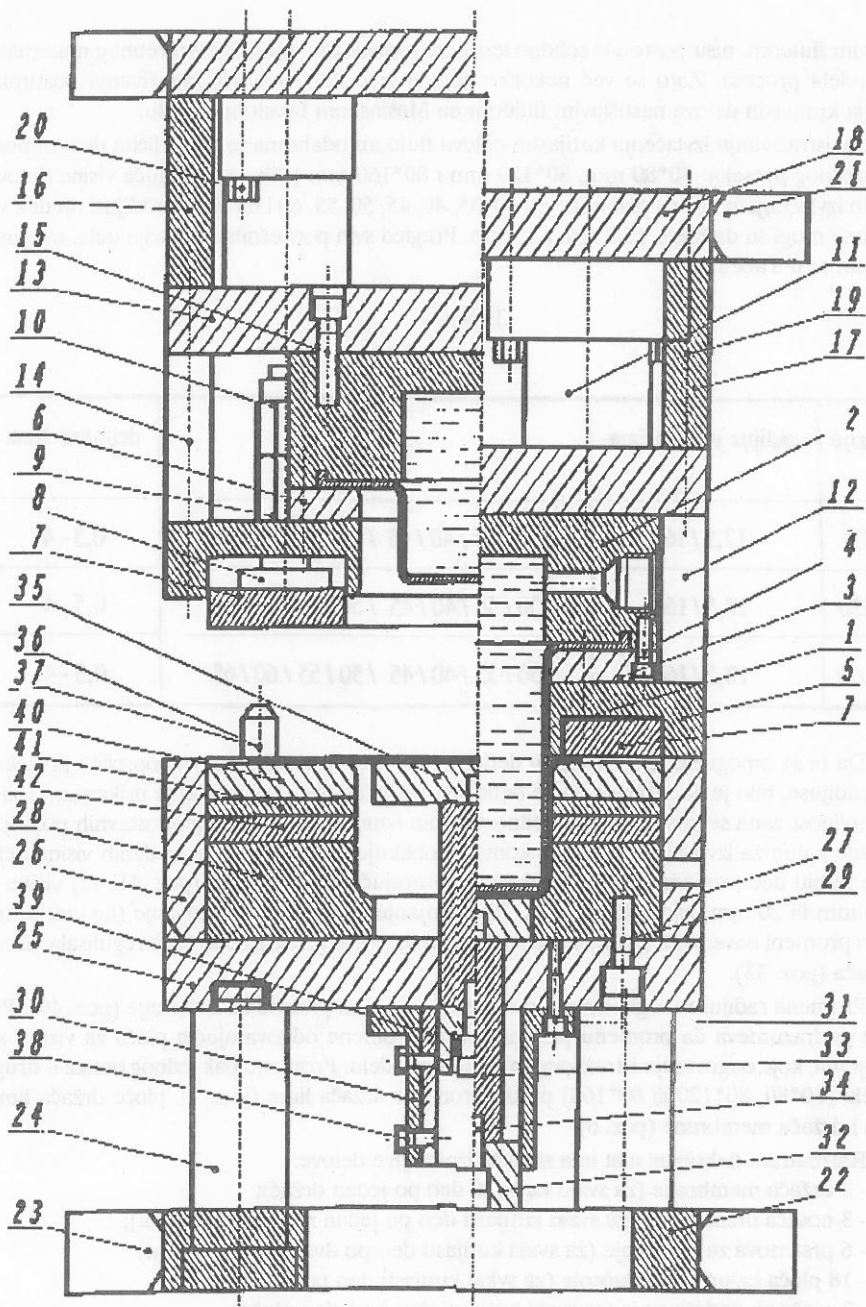
| Dimenzije | radijus u uglovima | visina | debljina lima |
|-----------|--------------------|--------------------------|---------------|
| 80 * 80 | 12,5/16 | 30/35/40/45 /50/55/60/65 | 0,5 - 4 |
| 80 * 120 | 12,5/16 | 30/35/40/45 /50/55/60/65 | 0,5 - 4 |
| 80 * 160 | 12,5/16 | 30/35/40/45 /50/55/60/65 | 0,5 - 4 |

Da bi se omogućila istraživanja u definisanom prostoru vezanom za poprečne preseke, visine i radijuse, bilo je neophodno da se definiše fleksibilan alat. Takav alat je prikazan na slici 2. Fleksibilnost alata se postiže veoma jednostavnom izmenom pojedinih jednostavnih pozicija, koje grade kalup za izvlačenje, a prema kome se oblikuje lim. Svaka od navedenih visina dela može se dobiti dodavanjem ili oduzimanjem odgovarajućih ploča kalupa (poz. 41, 42) visine 5 mm, 10 mm ili 20 mm, kao i dodavanjem ili uklanjanjem ploča za podešavanje (ne vidi se na slici). Pri promeni navedenih ploča, menja se i čaura (nije prikazana), kako bi se regulisala visina pridržiavača (poz. 33).

Promena radijusa u uglovima se ostvaruje zamenom prstena za izvlačenje (poz. 40). Pri tome se podrazumeva da promenu prstena prati i promene odgovarajućih ploča za visinu sa dimenzijama, koje odgovaraju istraživanom kutijastom delu. Promenu pak jednog oblika u drugi oblik dela (80*80, 80*120 ili 80*160) prati i promene držača lima (poz. 7), ploče držača lima (poz. 5) i držača membrane (poz. 6).

Rasmatrani fleksibilni alat ima sledeće izmenljive delove:

- 3 držača membrane (za svaki kutijasti deo po jedan držač);
- 3 nosača držača lima (za svaki kutijasti deo po jedan nosač držača lima);
- 6 prstenova za izvlačenje (za svaki kutijasti deo po dva radijusa u uglu)
- 18 ploča kalupa za izvlačenje (za svaki kutijasti deo po 6 ploča);
- 3 ploče za podešavanje (za svaki kutijasti deo po jedna ploča);
- 8 čaura za osam mogućih različitih visina dela i
- 2 čaure za vodjenje.



Slika 2: Fleksibilni alat za izvlačenje kutijastih delova nestišljivim fluidom

Nabrojene izmenljive pozicije na prvi pogled mogu da stvore utisak da se radi o komplikovanom alatu. To bi bilo pogrešno, jer su sve pozicije veoma jednostavne i po principu slaganja omogućavaju dobijanje velikog broja različitih delova. Time je obezbeđen dovoljno širok prostor za istraživanje. To daje garanciju da dobijeni rezultati mogu sa velikom sigurnošću da se koriste, odnosno da se primene kao matematički model za modeliranje CAP-a za kutijaste delove koji se izvlače fluidom. Tome treba da se doda i činjenica da u rasmatranom alatu mogu da se izvlače limovi različitih debljina, jer debljina lima nije faktor koji utiče na alat pri izvlačenju fluidom (1,5).

Sam postupak izvlačenja nestišljivim fluidom je relativno jednostavan. Gornji deo alata, koji je pričvršćen za pritiskivač hidraulične prese, pomera se naniže pri uključenom radnom hodu prese, i zatvara donji deo alata. Po zatvaranju alata uključuje se hidraulični agregat, koji je ugrađen u samoj presi, ili se nalazi pridodat uz presu, i počinje se sa punjenjem prostora iznad gumene membrane fluidom. Pod pritiskom fluida dolazi do pomeranja početnog priprema lima naniže. Da bi se sprečilo veliko deformisanje lima u centralnom delu, zbog dvoosnog naponskog stanja istezanja (1,5), sa donje strane lima se nalazi pridrživač, koji silom pridržavanja F_p otežava pomeranje lima naniže. Lim priklješten između membrane s jedne strane, i pridrživača s druge strane, pomera se naniže bez značajnijeg stanjenja u centralnom delu. Istovremeno se lim oblikuje prema obliku kalupa. Kada je pridrživač dospao do donjeg krajnjeg položaja, isključuje se dovod fluida u prostor iznad membrane i počinje odvod fluida, odnosno pritisak se samnjuje sve do stvaranje određenog neznatnog potpritiska.

Pošto je pritisak fluida doveden na atmosferski, ili nešto manji od toga, otvara se alat, kretanjem pritiskivača prese naviše. Pomeranjem pridrživača naviše (kretanje i silu ovog pridrživača obezbeđuje cilindar sa donje strane prese) izbacuje se urađeni deo. Time je jedan ciklus završen i može da se pristupi izvlačenju narednog dela. Da bi se sprečilo stvaranje nabora po vencu elementa, predviđen je držač lima. Silu držača lima u rasmatranom alatu obezbeđuju hidraulični cilindri, koji su ugrađeni u samom alatu. Potrebna sila držača reguliše se preko hidroagregata, odnosno elektornike i automatike, koja je za to predviđena. Ovaj problem je veoma uspešno već razrešen na HPIF (Hidraulična Presa za Izvlačenje Fluidom) presama koje proizvodi FAM (Fabrika Alatnih Mašina) - MIN Niš. Ova fabrika je i participirala izvršena istraživanja, odnosno uradila je rasmatrani fleksibilni alat. Time je zapravo finansirala i dalje istraživanje tehnologije, koju želi da plasira na tržište preko fleksibilnih alata, i to u saradnji sa Katedrom za proizvodno mašinstvo Mašinskog fakulteta u Nišu. Za očekivanje je da se uskoro pojave i NC HPIF prese. Razvijeni CAD/CAP/CAM system (2,3,4) bi bio integrisan sa jednom takvom presom i omogućavao bi proizvodnju delova na najsavremeniji način.

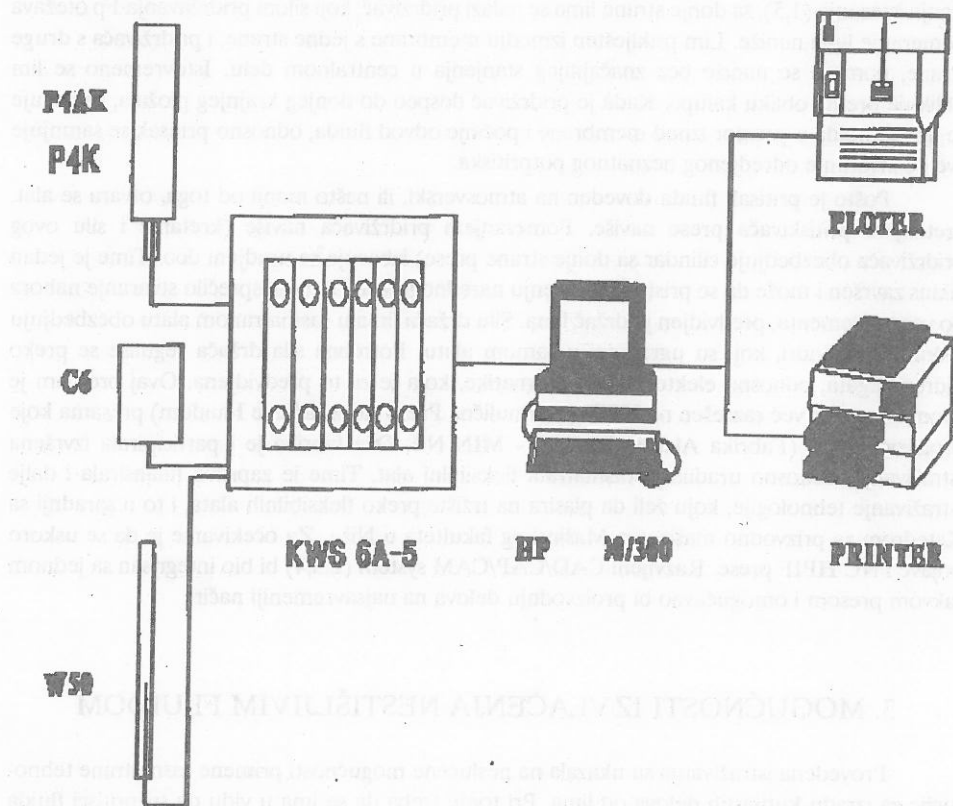
3. MOGUĆNOSTI IZVLAČENJA NESTIŠLJIVIM FLUIDOM

Provedena istraživanja su ukazala na neslućene mogućnosti primene rasmatrane tehnologije za izradu kutijastih delova od lima. Pri tome treba da se ima u vidu da su pritisci fluida potrebni za oblikovanje lima u granicama do 300 bar za izvršena istraživanja. Naime, sva istraživanja su praćena snimanjem najuticajnijih veličina od kojih zavisi proces izvlačenja. Te veličine, pored karakteristika lima, o kojima se ovom prilikom ne govori, su:

- pritisak fluida za izvlačenje;
- sila držača lima;
- sila pridrživača lima i
- visina izvučenog dela.

Naveden veličine su snimane primenom metode merenja mehaničkih veličina električnim putem. Za snimanje promene pritiska fluida korišćen je otporni senzor

P4AK od 50 MPa, za snimanje promene pritiska držača lima otporni senzor P4K od 10 MPa, za visinu dela pri izvlačenju induktivni senzor W50 i za snimanje promene sile pridrživača senzor sile C6 od 500 kN. Svi senzori su bili priključeni na pojačavač KWS 6A-5 i povezani na računarski sistem za merenje HP 9000/300 (slika 3). Dobijeni rezultati merenja su smeštani u odgovarajuće datoteke, a kasnije su obrađivane po programu, koji je specijalno za to napisan u BASIC-u 5.0.

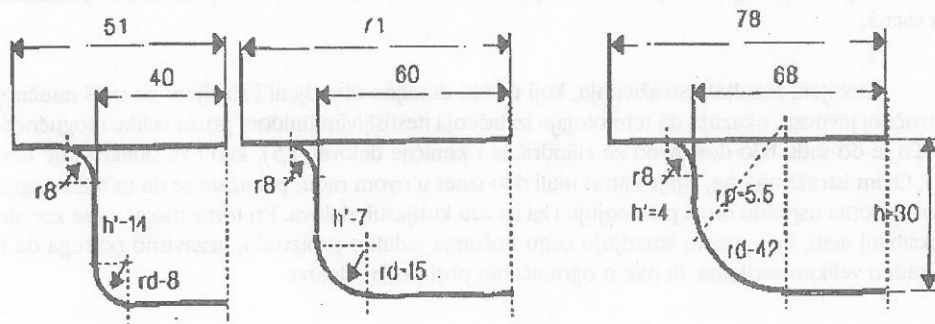


Slika 3: Veza senzora, pojačavača i HP računarskog sistema (nacrtati)

PRESEK A-A

PRESEK B-B

PRESEK C-C

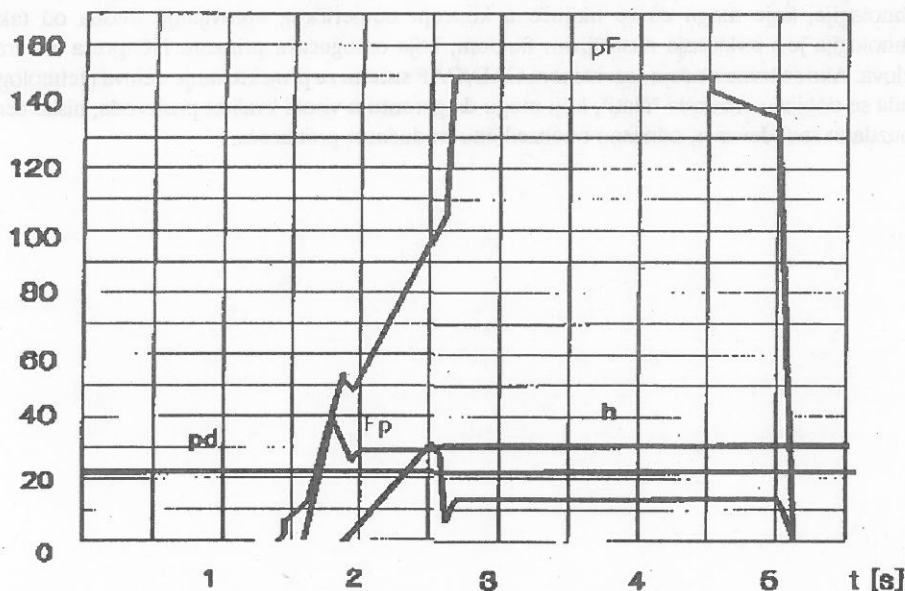


Slika 4: Deo dobijen izvlačenjem

MATERIJAL : C.0147.P5m

PROBA : 115

c = 15

 $r_u = 12.5 \text{ mm}$ 

Slika 5: Promene snimanih veličina za vreme procesa izvlačenja

Jedan od delova koji je dobijen izvlačenjem prikazan je na slici 4. Pri izvlačenju prikazanog dela snimljene su promene napred navedenih veličina. Njihove promene su prikazane na slici 5.

Dobijeni rezultati istraživanja, koji će biti detaljno obradjeni i stavljeni na uvid naučnoj i stručnoj javnosti, ukazuju da tehnologija izvlačenja nestišljivim fluidom pruža velike mogućnosti. To je do sada bilo dokazano za cilindrične i konične delove (1,5), kao i za oblikovanje cevi (7). Ovim istraživanjima, čiji je samo mali deo iznet u ovom radu, pokazalo se da ta tehnologija može veoma uspešno da se primenjuje i za izradu kutijastih delova. Pri tome mogu da se koriste fleksibilni alati, koji znatno smanjuju cenu koštanja jedinice proizvoda, nezavisno od toga da li se radi o velikim serijama, ili pak o ograničenoj proizvodnji delova.

4. ZAKLJUČAK

Prodor novih tehnologija predstavlja budućnost, kako u delu proizvodnje, tako i u delu pripreme, razvoja, kontrole i upravljanja. Danas se strategija preduzeća gradi na CIM konceptu, koji u sebi integriše sve aktivnosti od tržišta, preko razvoja, pripreme, proizvodnje i kontrole, pa do isporuke proizvoda kupcima. Na tom putu je od posebnog značaja imati savremene tehnologije, koje mogu da se uključe u koncept numeričkog upravljanja. Jedna od takvih tehnologija je i izvlačenje nestišljivim fluidom, koja omogućava primenu NC presa za izradu delova. Ako se tome dodaju i savremeni CAD/CAP sistemi za projektovanje delova i tehnologije, onda se dobijaju vrhunski "alati", koji mogu da garantuju visoki kvalitet proizvoda, niske cene i pouzdano snabdevanje, odnosno obezbeđenu budućnost preduzeća.



LITERATURA:

- (1) Stoilković, V.: Analyse zylindrischer Elemente beim Tiefziehen mit Wirkmedien., Bnder Bleche Rohre 26(1985) 3, S73-77.
- (2) Stoilković, V.: Cad-Cap-System zum Tiefziehen von Blechteilen. Bnder Bleche Rohre 31 (1990) 3, S50-54.
- (3) Stoilković, V.: Cad-Cap-Cam- System zym Tiefziehen rechteckiger Blechteile, Baender Blech Rohre 4-1992, S27-30.
- (4) Stoilković, V.: CAE in sheet forming, Twenty-ninth International MATADOR Conference, Manchester 6th-7th April 1992, Proceedings of the Conference, Macmillan, p99-106.
- (5) Stoilković, V.: Naponsko i deformaciono stanje pri izradi elemenata dubokim izvlačenjem nestišljivim fluidom i identifikacija uticajnih parametara sa uspostavljanjem njihovih korelacionih odnosa, Doktorska disertacija, Mašinski fakultet Niš, 1977.
- (6) Stoilković, V., Popović, P., Šolaja, V.: Druckbestimmung beim Tiefziehen von konischen Elementen mit Wirkmedien, Annals of teh CIRP, Vol.27/I/1978., p171-175.
- (7) Rančić, B.: Naponsko i deformaciono stanje pri proširivanju cevi nestišljivim fluidom sa definisanjem analitičkih zavisnosti za pritisak fluida i aksijalnu silu sabijanja cevi, Magistarski rad, Mašinski fakultet Niš, 1988.

POVEĆANJE EFIKASNOSTI PROJEKTOVANJA ALATA ZA IZRADU CILINDRIČNIH DELOVA DUBOKIM IZVLAČENJEM PRIMENOM PERSONALNIH RAČUNARA

*dr. Ljubomir Janković, v.prof. Mašinski fakultet u Nišu,
Predrag Janković, dipl. maš. ing*

INCREASE OF EFFICIENCY OF THE COMPUTER AIDED DRAW DIE DESIGNING FOR CYLINDRICAL PARTS.

The paper reports on a SymGRAPH-DDRAW program for deep draw die designing based on the drawing recognition.

Some results are shown for the illustration.

1. UVOD

Projektovanje alata za izradu delova dubokim izvlačenjem se pretežno oslanja na korišćenje obrazaca i tabela iz dosta bogatog izbora udžbenika i priručnika, ali je i pored postojanja literature projektovanje dosta sporo i zahteva znatno iskustvo na tim poslovima.

Iz gore navedenih razloga razvijen je računarski program, koji se zahvaljujući grafičkoj prezentaciji, interaktivnom radu, pristupu određenim bazama podataka i znanja, može efikasno primeniti za: projektovanje alata, izradu crteža, pripremu proizvodnje i izradu ponude pri ugovaranju alata.

U ovom radu dat je prikaz specifičnosti i mogućnosti programa za: projektovanje tehnologije i alata za izradu osnosimetričnih delova dubokim izvlačenjem (SymGRAPH-DDRAW) kao i ilustracija izlaznih rezultata projektovanja.

2. UNOŠENJE POLAZNIH PODATAKA

Opis radnog komada, njegove geometrije, oblika i mera predstavlja prvu fazu u svim projektovanjima tehnologije izrade.

Složeni oblici radnog komada mogu se predstaviti samo grafički uz pridodavanje odgovarajućih brojnih vrednosti mera.

U literaturi o dubokom izvlačenju uobičajeno je da se za opis radnog komada koristi metoda parcijalnih elemenata ili izvestan broj prethodno definisanih oblika.

Korišćenje parcijalnih elemenata ili prethodno definisanih oblika omogućuje komforan rad, ali problemi nastaju kada se pojavi oblik koji nije prethodno definisan ili je potrebno povezati parcijalne elemente čije dodirne tačke nisu dimenzionalno definisane.

Za definisanje predmeta rada u programu SymGRAPH- DDRAW koristi se potpuno novi pristup.

Naime, u ovaj program je ugrađen, ranije razvijeni modul za crtanje SymGRAPH /4/.

Program SymGRAPH omogućuje grafički prikaz predmeta rada do koga se dolazi interaktivnim radom uz korišćenje grafičkih simbola, te ga stoga mogu koristiti i korisnici koji nemaju znanja iz programiranja i iskustva u radu sa računarima. Meni je na ekranu monitora (Sl.1), a računarski program interno, automatski generiše matrice podataka o radnom komadu koje se kasnije koriste za projektovanje tehnologije izrade i alata.

3. PROJEKTOVANJE TEHNOLOGIJE IZRADE

Pri klasičnom načinu projektovanja /1/, /2/, /3/ zavisno od oblika radnog komada (delovi bez venca, sa vencem, stepenasti delovi i drugo) i drugih uslova izabira se vrsta proračuna listanjem literature tražeći odgovarajući oblik.

Program SymGRAPH i ovde koristi nov pristup. Na osnovu grafičkog prikaza predmeta rada računarski program automatski vrši prepoznavanje oblika radnog predmeta i izbor odgovarajućeg postupka projektovanja. Postupak projektovanja se vrši automatski sa mogućnošću interaktivne intervencije za slučaj željene korekcije ili izbora varijanti od strane korisnika.

Kao rezultat projektovanja dobija se:

- veličina priprema,
- potreban broj operacija izvlačenja,
- oblik i veličine obradaka (prečnici, visine, radijusi),
- vrednosti sile držača lima, sile izvlačenja i def. rada i
- grafički prikaz obradka.

Neki od rezultata projektovanja prikazani su na Sl.3

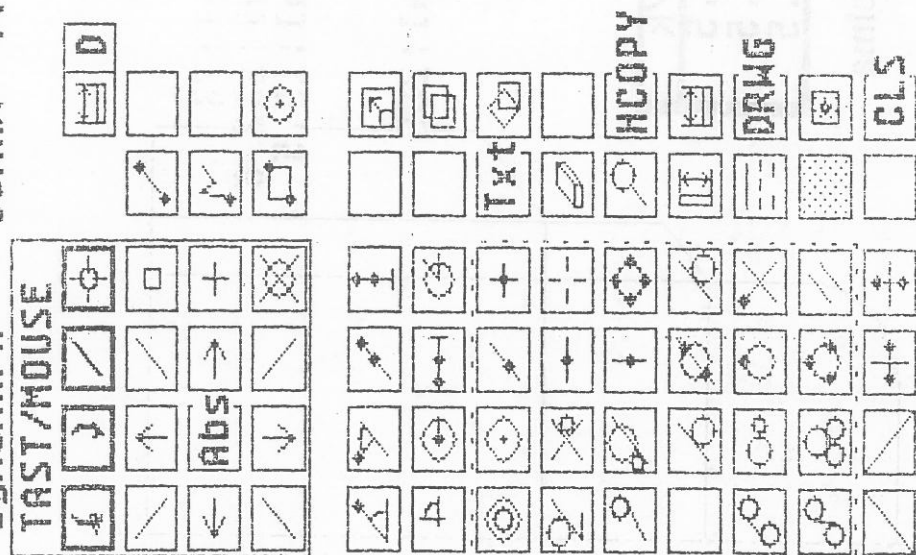
4. PROJEKTOVANJE ALATA

U skladu sa nekim inostranim standardima i sprovedenim istraživanjima izvršena je tipizacija elemenata alata za duboko izvlačenje.

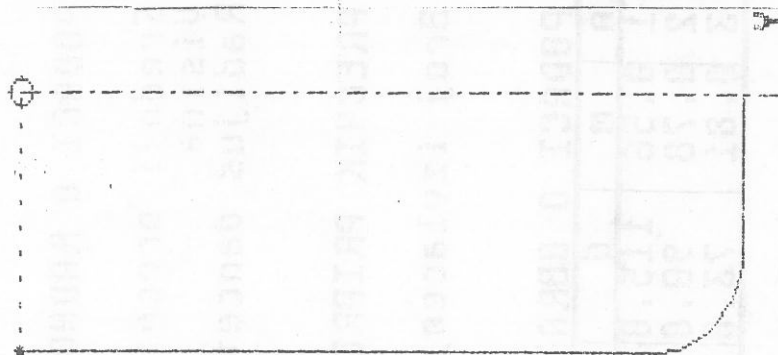
Projektovanje elemenata alata izvodi se potpuno automatski na osnovu internih podataka dobijenih projektovanjem tehnologije.

Kao rezultat projektovanja dobija se:

- sklopni crtež alata,
- pregled tipiziranih elemenata alata (Sl.5),
- radionički crteži svih tipiziranih elemenata alata i
- izbor standardnog kućišta.



Sl.1. Meni programa



Sl. 2. Crtež izvodnice
radnog komada

PODACI O RADNOM KUPOLU

Srednji prečnik $d_{\text{sr}} = 23$
 Uzlazni $d_{\text{ul}} = 13,0$
 Radijus dna $R_{\text{dn}} = 15,5$

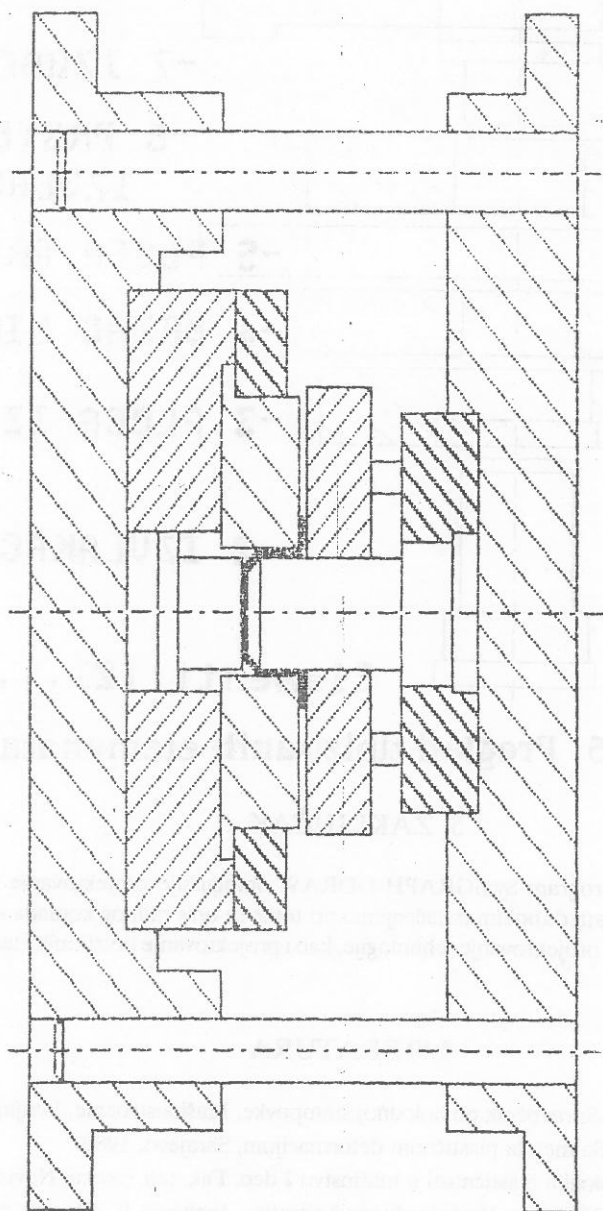
PREČNIK PRILJEKA $D_{\text{prl}} = 205$

Broj izvičenja $n = 3$

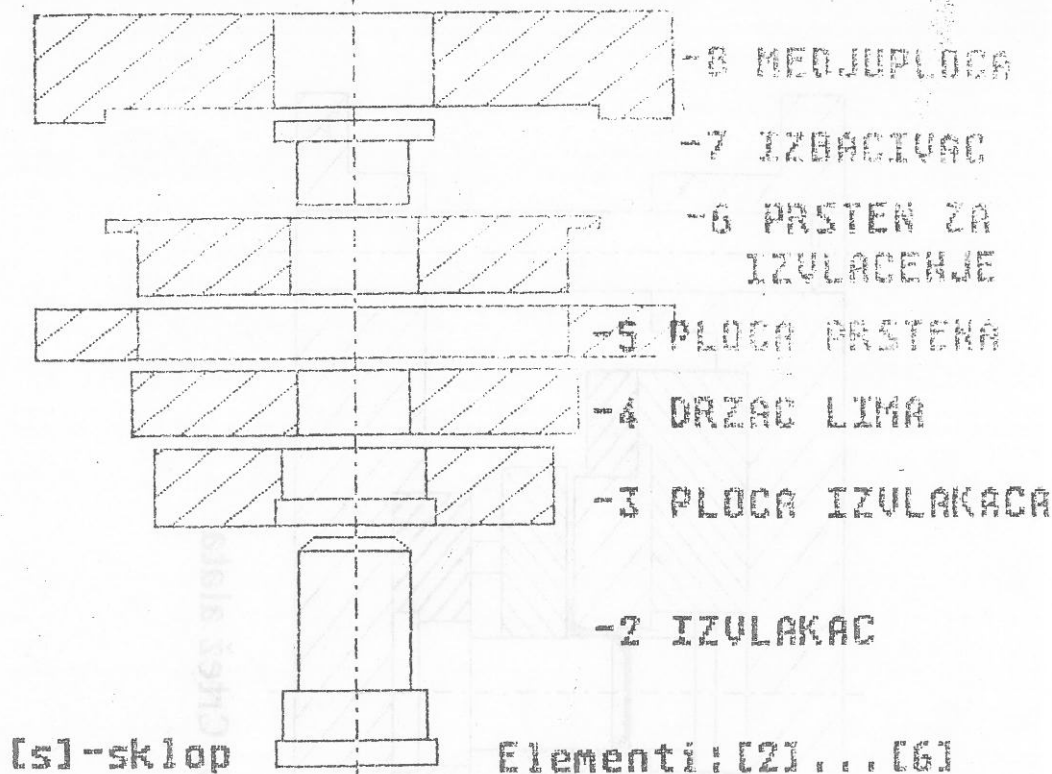
PODACI O OBRATCIMA

| n | α | d | h | r/k |
|---|----------|-------|-------|-------|
| 1 | 0.56 | 115.0 | 70.4 | 12.5 |
| 2 | 0.78 | 98.0 | 99.5 | 8.5 |
| 3 | 0.81 | 73.0 | 132.8 | 15.5 |

Sl.3. Podaci o obratcima



Sl. 4. Crtež alata



Sl. 5. Pregled tipiziranih elemenata alata

5. ZAKLJUČAK

- Računarski program SymGRAPH-DDRAW omogućuje projektovanje tehnologije i alata za izradu elemenata dubokim izvlačenjem i pri tome se opis radnog komada vrši njegovim crtanjem, a dalji izbor i projektovanje tehnologije, kao i projektovanje tipiziranih elemenata alata se izvodi automatski.

LITERATURA

- /1/ Romanovski, V.P. Spravočnik po holodnoj šampovke, Mašinostroenie, Lenjingrad, 1979.
- /2/ Musafija, B. Obrada metala plastičnom deformacijom, Sarajevo, 1980.
- /3/ Vujović, V. Tehnologija plastičnosti u mašinstvu I deo, Fak. teh. nauka, Novi Sad, 1990.
- /4/ Janković, Lj., SymGRAPH - Modul računarske grafike, Janković, P. Zbornik radova 3 Maš. fak. u Nišu, 1990.;

ANALIZA PRITISAKA, SILA I MOMENATA UVIJANJA NA VALJCIMA PRI IZRADI LIMENIH KORITASTIH PROFILA

Dr Dragolub B. Lazarević, docent Mašinskog fakulteta Univerziteta u Nišu

Mr Miroslav R. Radovanović, asistent Mašinskog fakulteta Univerziteta u Nišu

1. UVOD

Proces izrade limenih, profila na linijama za profilisanje, sastoji se u stupnjevitom savijanju limene trake ili table lima do željene konfiguracije specijalnim valjcima za profilisanje. Prilikom izbora racionalnog režima za profilisanje limova na valjcima, kao i određivanje optimalnih konstruktivnih elemenata valjaka i radnih stanova, neophodno je odrediti veličine i karakter raspodele specifičnih pritisaka, kao i veličine sila i momenata uvijanja na profilnim valjcima. U ovom radu je razrađen postupak određivanja izraza za raspored pritisaka po jedinici dužine, specifičnog pritiska, veličine sila i momenata uvijanja pri profilisanju nesimetričnih koritastih profila, pri čemu izvedeni izrazi ne egzistiraju u literaturi.

2. SPECIFIČNI PRITISCI NA VALJCIMA PRI PROFILISANJU KORITASTIH PROFILA

Na osnovu rešenja naponsko-deformacionog stanja lima koji se oblikuje na deonici ravnomernog prelaza, pritisak po jedinici dužine oblikujućeg valjka za V-profil određuje se prema izrazima koji su dati u literaturi /1/, /2/.

Pri određivanju pritisaka po jedinici dužine stranica "a", "b", "d" i "g" nesimetričnog koritastog profila (sl.1) polazi se od navedenih izraza za pritisak po jedinici dužine za V-profil 111, 121 i 131. A pri određivanju pritisaka po jedinici dužine za stranu "h" polazi se od izraza za pritisak po jedinici dužine za U-profil /1/, /2/.

Uzima se da su pritisci koji se javljaju pri profilisanju koritastog profila na strani d, jednaki zbiru pritisaka, koji bi se javio kao da se profilisu dva V-profila, i to: jedan V-profil sa kracima (a,d) i drugi sa kracima (d,h). Sabiranjem odgovarajućih vrednosti pritisaka po jedinici dužine za ova dva V-profila dolazi se do izraza za pritisak po jedinici dužine koritastog profila za stranu d (i stranu g ako se radi o nesimetričnom profilu).

U datim izrazima korišćene su sledeće oznake (Sl.1,Sl.2): $c=rWtg\alpha \sqrt{2}$ - rastojanje od temena ugla savijanja do tačke povezivanja krivolinijskog dela mesta savijanja sa ravnim delom savijenog elementa; $r = s \cdot (135^\circ / \alpha_c + 0,5)$; $R = R_{OD} / \cos \alpha_c + x \cdot tg \alpha_c$ - radijus krivine površine koji se profilise na rastojanju x od temena ugla savijanja;

$$c_1 = r \cdot \sin \varphi = r \cdot tg \varphi / \sqrt{1 + tg^2 \varphi}$$

-rastojanje od tačke F prelaza prevojnog mesta u pravolinijski deo profila do tačke najvećih specifičnih pritisaka ;

$$h_o = h_c + r \sqrt{r^2 - c^2}$$

- veličina najvećeg zblizavanjalima koji se profilise i površine valjka; $c_2 = \sqrt{r^2 (r - h_o)^2}$

- rastojanje od tačke najvećeg specifičnog pritiska u zoni izlaska trake iz dodira s valjkom na krivolinijskom delu mesta savijanja; $k = c - c_1 - c_2$ - rastojanje od temena ugla savijanja do početka-dodira trake s valjkom; $D = 3/4 \cdot ((1 - v_1^2)/E_1 + (1 + v_2^2)/E_2)$ / koeficijent koji uzima u obzir uticaje modula elastičnosti E_1, E_2 i koeficijenata Puasona v_1 i v_2 materijala koji se profilise i materijala radnih valjaka; R_v - napon na granici tečenja; s - debljina lima koji se deformiše; α i β - uglovi savijanja profila za prolaz; α_c i β_c - zbirni ugao savijanja u datom prolazu.

Na osnovu datih obrazaca i objašnjenja, za izračunavanje specifičnih pritisaka na valjcima pri profilisanju mogu se izračunati njihove veličine, a na osnovu njih mogu se nacrtati dijagrami raspodele specifičnih pritisaka. Pri određivanju rasporeda pritisaka, pri profilisanju koritastih profila, uzeto je da su pritisci koji se javljaju ekvivalentni pritiscima koji bi se javili kao da se savijaju dva odgovarajuća V-profila $1/1, 2/2$. Radi dobijanja specifičnih pritisaka na mestima savijanja potrebno je prethodno da se odrede zbirni pritisci na kracima odgovarajućih V-profila (Sl.3). Sabiranjem odgovarajućih pritisaka V-profila dobijaju se zbirni pritisci na mestima savijanja sa suprotnim znakom.

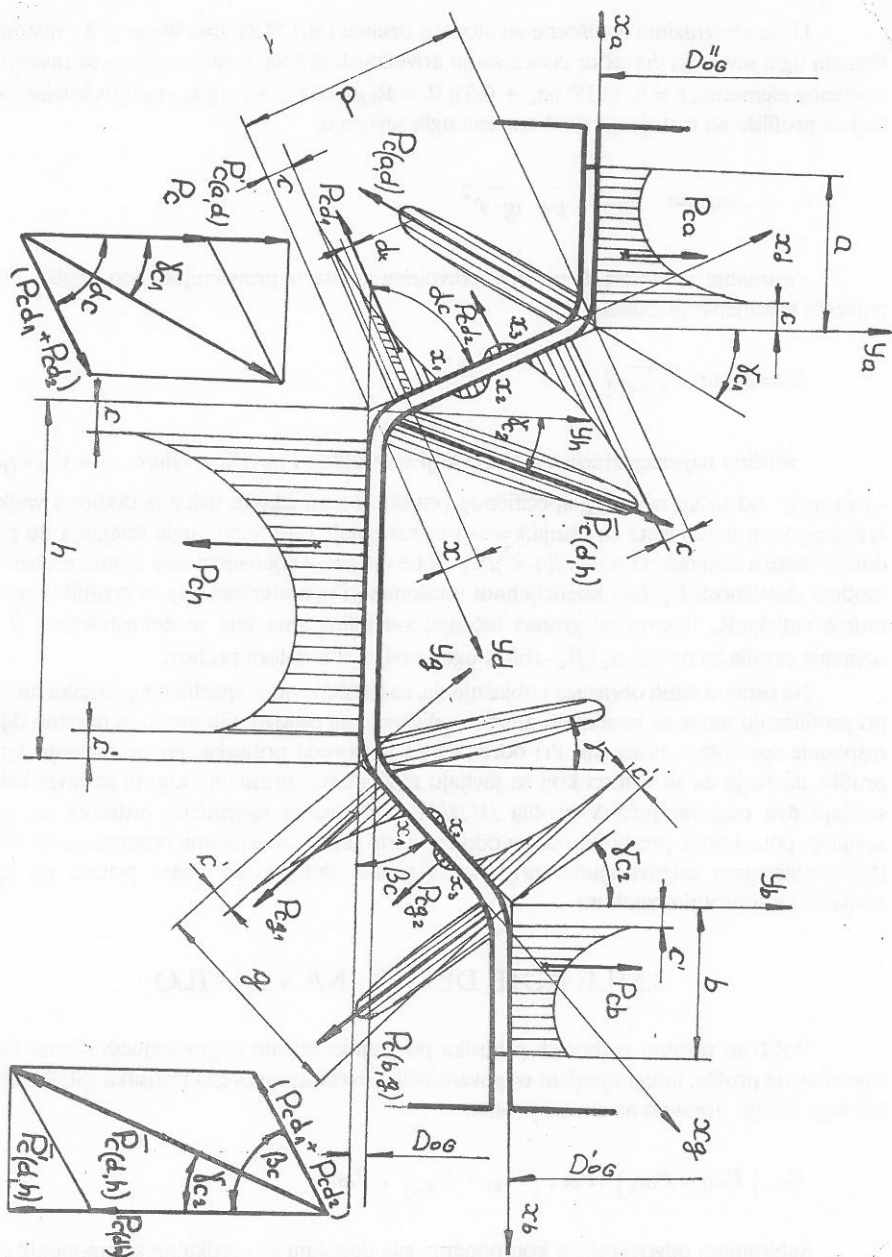
3.SILE KOJE DELUJU NA VRATILO

Pošto su poznati rasporedi pritisaka po jedinici dužine odgovarajućih strana (a,d,h,g i b) koritastog profila, integraljenjem odgovarajućih površina rasporeda pritisaka (Sl.3) iznalaze se sile koje deluju upravno na strane profila:

$$P_{ca}, P_{cd1} + P_{cd2}, P_{ch}, (P_{cg1} + P_{cg2}) \text{ i } P_{cb}.$$

Sabiranjem odgovarajuće komponente sila dobojaju se vertikalne komponente rezultujuće sile (P) koja deluje na vratilo valjaka:

$$P_c = P_{ca} + 2 (P_{cd1} + P_{cd2}) \cdot \cos \alpha_c + P_{ch} + 2 (P_{cg1} + P_{cg2}) \cdot \cos \beta_c + P_{cb} \quad (1)$$



$$P_c = A \cdot \ln \frac{a}{b} + B \cdot \alpha^{1,4} \cdot a^{-2,6} \left(\frac{a}{2} + \frac{c}{2} \right)^2 + 2 \cdot B \cdot d^{-2,6} \cdot \alpha^{1,4} \left[- 2 \frac{A}{B \cdot d^{-2,6} \cdot \alpha^{1,4}} + \right.$$

$$\begin{aligned}
& + (dc - c^2) + \frac{d^2}{4} \Big] + A \left[\ln \left(\frac{A}{2B \cdot d^{-1,6} \cdot \alpha^{1,4}} \right)^2 \cdot \frac{1}{dc - c^2} \right] \cdot \cos \alpha_c + \\
& + A \cdot \ln \frac{(h - c')^2}{c \cdot c'} + B \cdot h^{-2,6} \left[\alpha^{1,4} \cdot \frac{h^2 - 2hc' + c'^2 - c^2}{2} + \beta^{1,4} \left(\frac{h^2}{2} - hc - \frac{c'^2}{2} + \frac{c^2}{2} \right) \right] + \\
& + A \cdot \ln \frac{b}{c} + B \cdot \beta^{1,4} \cdot b^{-2,6} \left(\frac{b^2}{4} - \frac{c'^2}{2} \right) + 2 \cdot B \cdot g^{-2,6} \cdot \beta^{1,4} \left[-2 \frac{1}{B \cdot g^{-2,6} \cdot \alpha^{1,4}} + \right. \\
& \left. + (g \cdot c' - c'^2) + \frac{g^2}{4} \right] + A \left[\ln \left(\frac{A}{2B \cdot g^{-1,6} \cdot \beta^{1,4}} \right)^2 \cdot \frac{1}{gc' - c'^2} \right] \cdot \cos \beta_c \quad (2)
\end{aligned}$$

4. MOMENTI UVIJANJA NA VRATILIMA

a) Donje vratilo

Rezultujući moment uvijanja dobija se sabiranjem pojedinih momenata koji se javljaju na stranama ili pak na mestima savijanja koritastog profila:

$$M_D = M[P_{a(a,b)}] + M[P_{ch}] + M[P_{cd_1} + P_{cd_2}] + M[P_{c(b,g)}] + M[P_{cg_1} + P_{cg_2}] \quad (3)$$

$$\begin{aligned}
M_D = & \mu_c \cdot \left(\frac{D_{00}}{2} + d \cdot \sin \alpha_c \right) \cdot \left\{ \left[A \cdot \ln \frac{a}{c} + B \cdot \alpha^{1,4} \cdot \frac{a^2 - c^2}{2 \cdot c^{-2,6}} \right]^2 + \right. \\
& + 2 \cdot \cos \alpha_c \left[A \cdot \ln \frac{a}{c} + B \cdot \alpha^{1,4} \cdot \frac{a^2 - c^2}{2 \cdot c^{-2,6}} \right] \cdot \left[A \cdot \ln \left(\frac{A}{2B \cdot d^{-1,6}} \right)^2 \cdot \frac{1}{dc - c^2} \right. \\
& + B \cdot \left(\frac{1}{4d^{0,6}} - 2 \frac{A}{B} + \frac{cd - c^2}{d^2 \cdot c^2} \right) \Big] + \left[A \cdot \ln \left(\frac{A}{2B \cdot d^{-1,6}} \right)^2 \cdot \frac{1}{dc - c^2} + B \cdot \left(\frac{1}{4d^{0,6}} - 2 \right. \right. \\
& \left. \left. + \frac{cd - c^2}{d^2 \cdot c^2} \right) \right]^2 \Big\}^{1/2} + \mu_k \left\{ A \cdot \ln \frac{(h - c')^2}{c \cdot c'} + B \cdot h^{-2,6} \left[\alpha^{1,4} \cdot \frac{h^2 - 2hc' + c'^2 - c^2}{2} + \beta^{1,4} \cdot \right. \right. \\
& \left. \left. \cdot \left(\frac{h^2}{2} - hc - \frac{c'^2}{2} + \frac{c^2}{2} \right) \right] \right\} + \mu_g \left\{ \frac{A \cdot D_{00}}{2} \left[\ln \left(\frac{A}{B \cdot d^{-2,6} \cdot \alpha^{1,4}} \right)^2 \cdot \frac{1}{c^2 - dc} \cdot \frac{1}{d^2} \right] + \right. \\
& + A \cdot \sin \alpha_c \cdot \left[d - 2c + d \cdot \ln \frac{A}{B \cdot d^{-2,6} \cdot \alpha^{1,4}} \cdot \frac{2}{d \cdot (c - d)} \right] + B \cdot \frac{D_{00}}{2} \cdot d^{-2,6} \cdot \alpha^{1,4} \cdot \\
& \cdot \left[- \frac{2A}{B \cdot d^{-2,6} \cdot \alpha^{1,4}} + dc - c^2 + \frac{d^2}{4} \right] + B \cdot d^{-2,6} \cdot \sin \alpha_c \cdot \left[\frac{5d^3}{24} - \frac{A \cdot d}{B \cdot d^{-2,6} \cdot \alpha^{1,4}} \right. \\
& \left. + c^2 \left(\frac{d}{2} - \frac{2c}{3} \right) \right] \Big\} + \mu_c \left(\frac{D_{00}}{2} + g \cdot \sin \beta_c \right) \cdot \left\{ A \cdot \ln \frac{b}{c} + B \cdot \beta^{1,4} \cdot \frac{b^2 - c'^2}{2 \cdot b^{-2,6}} \right\}^2 + \\
& + \cos \beta_c \left[A \cdot \ln \frac{b}{c} + B \cdot \beta^{1,4} \cdot \frac{b^2 - c'^2}{2 \cdot b^{-2,6}} \right] \cdot \left[A \cdot \ln \left(\frac{A}{2B \cdot g^{-1,6}} \right)^2 \cdot \frac{1}{(gc' - c'^2)} + \right. \\
& + B \cdot \left(\frac{A}{4g^{0,6}} - 2 \frac{A}{B} + \frac{c'g - c'^2}{g^2 \cdot c'^2} \right) \Big] + \left[A \cdot \ln \left(\frac{A}{2B \cdot g^{-1,6}} \right)^2 \cdot \frac{1}{gc' - c'^2} + B \cdot \left(\frac{1}{4g^{0,6}} - 2 \right. \right. \\
& \left. \left. - 2 \frac{A}{B} + \frac{c'g - c'^2}{g^2 \cdot c'^2} \right) \right]^2 \Big\}^{1/2} + \mu_c \left\{ \frac{A \cdot D_{00}}{2} \left[\ln \left(\frac{A}{B \cdot g^{-2,6} \cdot \beta^{1,4}} \right)^2 \cdot \frac{1}{c'^2 - gc'} \cdot \frac{1}{g^2} \right] + \right. \\
& + A \cdot \sin \beta_c \cdot \left[g - 2c' + g \cdot \ln \frac{A}{B \cdot g^{-2,6} \cdot \beta^{1,4}} \cdot \frac{2}{g(c' - g)} \right] + B \cdot \frac{D_{00}}{2} \cdot \beta^{1,4} \cdot g^{-2,6} \cdot \\
& \cdot \left[- \frac{2A}{B \cdot g^{-2,6} \cdot \beta^{1,4}} + gc' - c'^2 + \frac{g^2}{4} \right] + B \cdot g^{-2,6} \cdot \sin \beta_c \cdot \left[\frac{5g^3}{24} - \frac{A \cdot g}{B \cdot g^{-2,6} \cdot \beta^{1,4}} \right. \\
& \left. + \frac{1}{\beta^{1,4}} + c'^2 \cdot \left(\frac{g}{2} - \frac{2c'}{3} \right) \right] \Big\} \quad (4)
\end{aligned}$$

a) Gornje vratilo

Moment uvijanja koji opterećuje gornje vratilo:

(5)

$$M_c = \mu_k \cdot P_{ch} + \mu_k (P_{cd_1} + P_{cd_2}) \cdot \cos \alpha_c + \mu_k (P_{cg_1} + P_{cg_2}) \cdot \cos \beta_c + \mu_c \frac{D_{oc}}{2} P_{ca} + \\ + \mu_o \frac{D'_{oc}}{2} + P_{cb} + \mu_c \frac{D_{oc}}{2} (P_{cd_1} + P_{cd_2}) + \mu_o \frac{D_{oc}}{2} (P_{cg_1} + P_{cg_2}).$$

$$M_c = \mu_k \left\{ A \cdot \ln \frac{(h-c')^2}{c \cdot c'} + B \cdot b^{-2,8} \cdot \left[\alpha^{1,4} \frac{h^2 - 2hc' + c'^2 - c^2}{2} + \beta^{1,4} \left(\frac{h^2}{2} - hc - \right. \right. \right. \\ \left. \left. - \frac{c'^2}{2} + \frac{c^2}{2} \right) \right] \right\} + \mu_k \left\{ B \cdot d^{-2,8} \cdot \alpha^{1,4} \left[-2 \frac{A}{B \cdot d^{-2,8} \cdot \alpha^{1,4}} + (dc - c^2) + \frac{d^2}{4} \right] + \right. \\ \left. + A \cdot \left[\ln \left(\frac{A}{2B \cdot d^{-1,8} \cdot \alpha^{1,4}} \right)^2 \cdot \frac{1}{dc - c^2} \right] \right\} \cdot \cos \alpha_c + \mu_k \left\{ B \cdot g^{-2,8} \cdot \beta^{1,4} \left[-2 \cdot \right. \right. \\ \left. \cdot \frac{A}{B \cdot g^{-2,8} \cdot \beta^{1,4}} + (gc' - c'^2) + \frac{g^2}{4} \right] + A \cdot \left[\ln \left(\frac{A}{2B \cdot g^{-1,8} \cdot \beta^{1,4}} \right)^2 \cdot \frac{1}{gc' - c'^2} \right] \right\} \cdot \\ \cdot \cos \beta_c + \mu_c \frac{D'_{oc}}{2} \left[A \cdot \ln \frac{a}{c} + B \cdot \alpha^{1,4} \cdot a^{-2,8} \cdot \left(\frac{a^2}{2} - \frac{c^2}{2} \right) \right] + \mu_c \cdot \frac{D'_{oc}}{2} \cdot \left[A \cdot \ln \frac{b}{c} \right. \\ \left. + B \cdot \beta^{1,4} \cdot b^{-2,8} \cdot \left(\frac{b^2}{4} - \frac{c'^2}{4} \right) \right] + \mu_c \frac{D_{oc}}{2} \left\{ B \cdot d^{-2,8} \cdot \alpha^{1,4} \left[-2 \frac{A}{B \cdot d^{-2,8} \cdot \alpha^{1,4}} + \right. \right. \\ \left. \left. + (dc - c^2) + \frac{d^2}{4} \right] + A \cdot \left[\ln \left(\frac{A}{2B \cdot d^{-1,8} \cdot \alpha^{1,4}} \right)^2 \cdot \frac{1}{dc - c^2} \right] \right\} \cos \alpha_o + \mu_c \frac{D_{oc}}{2} \cdot \\ \cdot \left\{ B \cdot g^{-2,8} \cdot \beta^{1,4} \cdot \left[-2 \frac{A}{B \cdot g^{-2,8} \cdot \beta^{1,4}} + (gc' - c'^2) + \frac{g^2}{4} \right] + \right. \\ \left. + A \cdot \left[\ln \left(\frac{A}{2B \cdot g^{-1,8} \cdot \beta^{1,4}} \right)^2 \cdot \frac{1}{gc' - c'^2} \right] \right\} \cdot \cos \beta_c.$$

(6)

5. ZAKLJUČAK

Polazeći od poznatih izraza¹¹ za određivanje rasporeda pritisaka pojedini dužine, specifičnog pritiska, veličine sila i momenata uvijanja pri profilisanju simetričnih limenih V-profila na valjcima, u radu je razrađen postupak određivanja istih izraza za nesimetrične koritaste profile, pri čemu izvedeni izrazi ne egzistiraju u literaturi. Posebno je detaljno prikazan postupak određivanja rasporeda specifičnih pritisaka na mestima savijanja navedenog profila.

Iznalaženje rasporeda specifičnih pritisaka, sila i momenata uvijanja koji se javljaju pri profilisanju limenih profila je neophodno za izbor racionalnog režima profilisanja, kao i za određivanje optimalnih konstruktivnih elemenata valjaka i radnih stanova (dimenzija vratila, prenosni odnos reduktora, pogonski mehanizam, elektromotor i dr.).

LITERATURA

/1/ I.S. Triševskij i dr., Proizvodstvo i primenienie gnutih profilei prokata, Moskva, Metalurgija, 1979. godine,

/2/ D. Lazarević Seminarski rad, Mašinski fakultet, Niš, 1980. g.

/3/ D. Lazarević Analiza pritisaka, sila i momenata uvijanja na valjcima pri izradi limenih V-profila, 21. Savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavija. Opatija, 1987. godine.

D. Lazarević, M. Radovanović

ANALYSIS OF PRESSURES, FORCES AND TORSION MOMENTS ON ROLLS WHILE PROFILING SHEET TROUGH SHAPES

Abstract Starting from the well-known expressions for determining the pressure distribution per unit of length, this paper presents the procedure for determining the expression for specific pressure, force and torsion moment on rolls for profiling sheet non-symmetrical trough shapes. The derived expressions are not to be found in literature. The procedure for determining the distribution of the specific pressures at the places where the given shape is undergoing torsion is especially presented in more details.

The determination of the specific pressures distribution, forces and torsion moments which appear in the process of profiling sheet trough shapes is necessary for the choice of a rational regime for profiling as well as for determining the optimal structural elements of rolls and working elements (dimensions of shafts, conveying relation between reducers, driving mechanism of electromotors, etc.).

PRILOG RAZMATRANJU PROBLEMA HABANJA REZNIH ELEMENATA ALATA ZA PROSECANJE I PROBIJANJE

*Dr Tomislav Todić, docent
Mašinskog fakulteta u Prištini*

CONTRIBUTION TO DISCUSSION OF PROBLEM OF CUT ELEMENTS WEARING IN TOOLS FOR CUTTING AND PIERCING **Summary**

In this paper only the effect of some persistence factors of tool cutting elements at cutting and piercing was considered.

Depending on given parameters, the functional dependences of wearing, and wearing intensity and resistance on number of machined elements were presented as the results of experimental investigations.

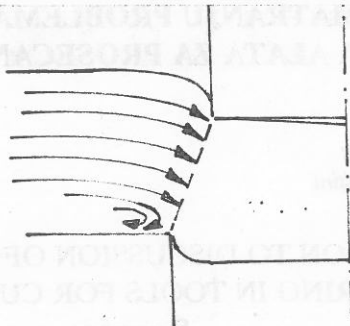
1. UVOD

Habanje reznih elemenata alata je osnovni uzrok kratkog pe-rioda ispravnog rada alata za prosecanje i probijanje. Zbog toga su potrebna češća podoštavanja prosekača i rezne ploče a ne tako retko i njihova zamena novim elementima. Razlozi intenzivnog habanja alata su mnogobrojni /1,4,5/ a veliki broj uticajnih faktora svodi se na veličinu i karakter naponskog stanja po ivicama i površinama reznih elemenata.

2. NAPONSKO STANJE

Poznato je, da je u žarištu deformacije pri razdvajanju materijala veoma složeno naponsko stanje. Sa prodiranjem prosekača u materijal dolazi ne samo do promene veličine napona već i do promene pravca glavnih normalnih napona. Pored toga naponsko stanje u materijalu koji se obrađuje u okolini reznih ivica prosekača krajnje je neravnomerno. Maksimalne deformacije su neposredno ispod reznih ivica prosekača i ploče za prosecanje a minimalne

oko sredine izrezanih delova. Veličine naprezanja pri urezivanju presekača u materijal zavisiće između ostalog i od veličine zazora između reznih elemenata alata i stepena oštine reznih ivica. Promene napona po reznim ivicama mogu se najbolje videti pri posmatranju problema pritiska krutog štapa na elastičnu sredinu /5/. Koncentracija napona po reznim ivicama uslovljava pojavu prvih plastičnih deformacija u blizini rezne ivice presekača i ploče za prosecanje kao i intenzivnu deformaciju tih slojeva koji se nalaze bliže reznim ivicama. To stvara krajnje neravnomerni pritisak na rezne ivice alata kao i sile trenja koje deluju na njih. Veličine sile trenja u prvom redu zavisiće od zazora između reznih elemenata alata, tako što se smanjenjem veličine zazora povećavaju sile trenja. Sile trenja po ogledalu ploče za prosecanje izazvane su uglavnom tečenjem materijala obradka po pojasu smicanja i to u suprotnom smeru od zazora /5/ sl.1.



Sl.1

Ovakvo tečenje materijala uslovljava intenzivno habanje rezne ploče i to na samoj reznoj ivici da bi se sa udaljavanjem od nje bilo sve manje.

3. REZULTATI EKSPERIMENTALNIH ISTRAŽIVANJA

Radi praćenja intenziteta habanja reznih ivica alata izvršen je niz eksperimentalnih merenja /2/. Kao posledica pohabanosti reznih elemenata alata je povećanje povijenih ivica na obradku. Preko promene povijenih ivica može se dati ocena o stepenu pohabanosti reznih elemenata alata.

Na osnovu rezultata merenja mogu se formirati funkcionalne zavisnosti visine povijene ivice od broja urađenih komada. Opšti oblik takve funkcionalne zavisnosti glasio bi

$$H = C + AN^b$$

gde su:

H - visina povijene ivice

C, A - konstante

b - koeficijent

Veličina konstante /A/ i eksponenta /b/ određene su metodom najmanjih kvadrata iz sistema linearizovanih jednačina. Dobijene vrednosti konstante /A/ i /C/ kao i koeficijenta /b/ za svaki eksperimentalni skup tačaka prikazane su tabelarno /tab- el 1/.

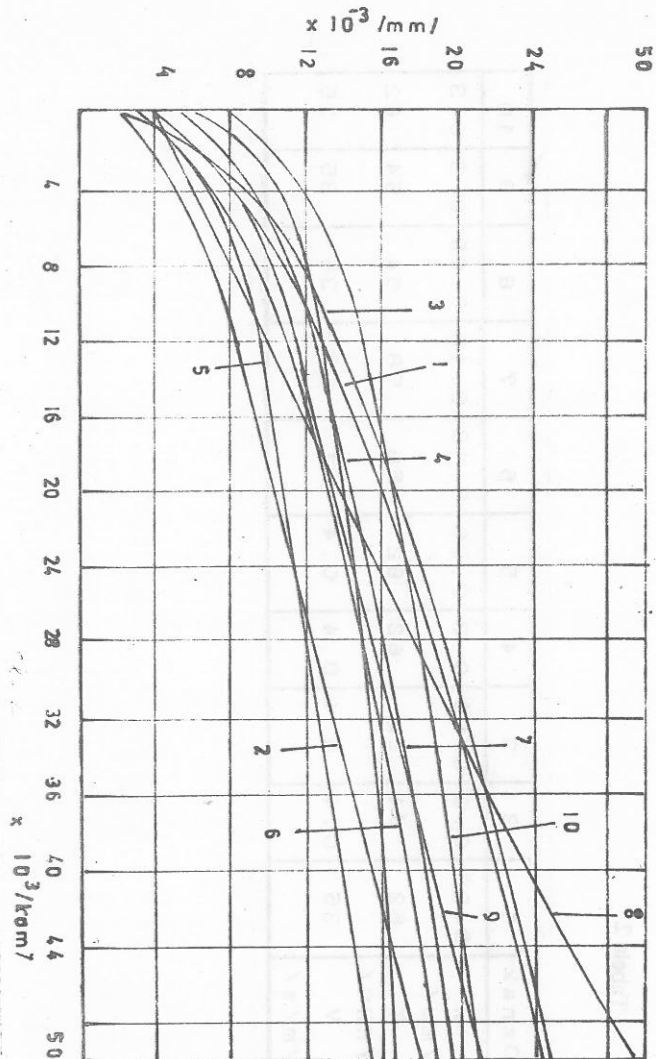
Tabela 1

| NO. | C | A | b | NO | C | A | b |
|-----|-------|--------|--------|----|-------|--------|--------|
| 1 | 0.03 | 0.0335 | 0.4719 | 6 | 0.04 | 0.0219 | 0.4845 |
| 2 | 0.02 | 0.0125 | 0.6464 | 7 | 0.05 | 0.0216 | 0.4934 |
| 3 | 0.035 | 0.0223 | 0.5803 | 8 | 0.04 | 0.0047 | 1.0168 |
| 4 | 0.025 | 0.0243 | 0.3648 | 9 | 0.03 | 0.0181 | 0.5850 |
| 5 | 0.03 | 0.0205 | 0.4538 | 10 | 0.035 | 0.0264 | 0.4146 |

Tabela 2

| Parametri | Oznak | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|------------------------|---------|------|-----|------|-----|------|------|------|------|-----|-----|
| Dvostruki zazor | W /mm/ | 0.06 | 0.3 | 0.06 | 0.3 | 0.06 | 0.18 | 0.18 | 0.06 | 0.3 | 0.3 |
| Tvrđ. rez. elem. | T /HRC/ | 62 | 54 | 54 | 62 | 62 | 58 | 58 | 54 | 54 | 62 |
| Brzina | V | 35 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 21 | 21 | 35 | 35 | 35 |
| def. x10 ⁻³ | /m/s/ | | | | | | | | | | |

Na osnovu izračunatih konstanti i koeficijenata /tab.1/ mogu se formirati funkcionalne zavisnosti kao i njihova grafička interpretacija /sl.2/ za svaki skup eksperimentalnih tačaka /tab.2/



matematički je određen izrazom

$$I = dH/dN$$

Sobzirom na oblik funkcije habanja intenzitet će biti

$$I = A1N^{b1}$$

što predstavlja veličinu promene povijene ivice odnosno veličinu habanja po jedinici izrađenih komada. Otpornost na habanje $/R/$ kao najvažnija karakteristika alata može se matematički definisati kao

$$R = dN/dH$$

a njen opšti oblik može se predstaviti izrazom

$$R = A2N^{b2}$$

Sa prikazanih grafičkih interpretacija funkcija $H = C + AN^b$ mogu se izdvojiti dva karakteristična perioda. U prvom periodu za cca 10.000 urađenih komada habanje reznih ivica alata je veoma intenzivno. Ovakav intenzivan razvoj habanja reznih elemenata alata može se objasniti velikom koncentracijom napona po reznim ivicama zbog praktično nepostojanja zaobljenja reznih ivica na početku rada alata, kao i teorijom tehnološkog nasleđa.

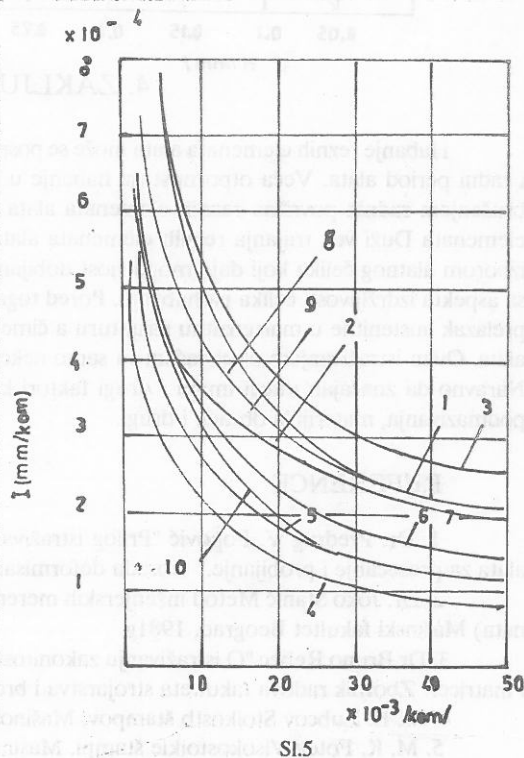
Period veoma intenzivnog habanja reznih ivica alata može se nazvati periodom uhodavanja. Nakon ovog perioda nastavlja se habanje reznih elemenata alata ali znatno sporije jer krive zaklapaju manji ugao sa apcisonom osom u odnosu na period uhodavanja. Ovaj period može se nazvati radnim periodom koji je znatno duži od perioda uhodavanja.

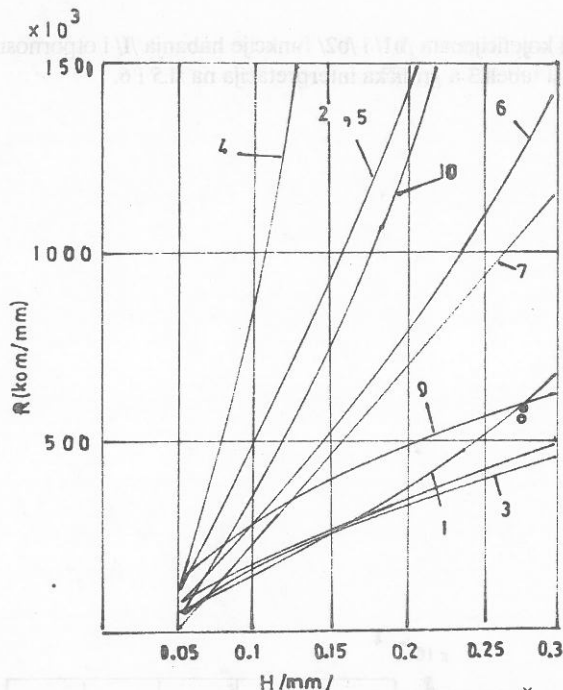
Intenzitet habanja

Vrednosti konstanti /A1/ ,/A2/ i koeficijenata /b1/ i /b2/ funkcije habanja /I/ i otpornosti na habanje /R/ prikazani su tabelarno u tabeli.3 a grafička interpretacija na sl.5 i 6.

Tabela.3

| N ^o | A1 | B1 | A ² ₁ | B ² ₁ | N ^o | A1 | B1 | A ² ₂ | B ² ₂ |
|----------------|--------|---------|-----------------------------|-----------------------------|----------------|--------|---------|-----------------------------|-----------------------------|
| 1 | 0.0158 | -0.5281 | 2828 | 1.1190 | 6 | 0.0106 | -0.5155 | 5493 | 1.0639 |
| 2 | 0.0079 | -0.5336 | 1394 | 0.5470 | 7 | 0.0106 | -0.5066 | 4811 | 1.0207 |
| 3 | 0.0129 | -0.4197 | 1209 | 0.7232 | 8 | 0.0047 | 0.0168 | 457 | -0.0166 |
| 4 | 0.0088 | -0.6352 | 72987 | 1.7412 | 9 | 0.0105 | -0.4150 | 1826 | 0.7094 |
| 5 | 0.0090 | -0.5462 | 11670 | 1.2036 | 10 | 0.0109 | -0.5854 | 15509 | 1.4119 |





Sl.6

4. ZAKLJUČAK

Habanje reznih elemenata alata može se posmatrati kroz dva perioda, period uhadavanja i radni period alata. Veća otpornost na habanje u periodu uhadavanja može se postići finim brušenjem radnih površina reznih elemenata alata kao i brušenjem u pravcu kretanja reznih elemenata. Duži vek trajanja reznih elemenata alata primenom alatnih čelika može se postići izborom alatnog čelika koji daje mogućnost dobijanja sitnozrnaste strukture koja je povoljnija sa aspekta izdržljivosti čelika na habanje. Pored toga termičkom obradom treba postići što veći prelazak austenitne u martenzitnu strukturu a čime se postiže i veća tvrdoća reznih elemenata alata. Ovim istraživanjem obuhvaćeni su samo nekoliko uticajnih faktora na vek trajanja alata. Naravno da značajan uticaj imaju i drugi faktori kao brzina prosecanja, vrsta maziva i način podmazivanja, materijala obrade i drugi.

REFERENCE

1. Dr. Predrag V. Popović "Prilog istraživanju problema veka Dr. Ljubomir Janković alata za prosecanje i probijanje." Obrada deformisanjem u mašinstvu, Novi Sad br.2 1967god.
2. Dr. Joko Stanić Metod inženjerskih merenja (osnove matematičke teorije eksperimenata) Mašinski fakultet Beograd, 1981g.
3. Dr Bruno Rebec "O istraživanju zakonitosti između broja udaraca prese i trošenja žiga i matrice." Zbornik radova fakulteta strojarstva i brodogradnje Zagreb, 1970 god.
4. M. E. Zubcov Stoikostb šampov, Mašinostroenie V. L.Korsakov Moskva, 1981
5. M. K. Fotev Visokostoikie šampi. Masinostroenie, Moskwa, 1965 god.

UTICAJ ZAZORA I POLUPREČNIKA PROFILA NA POSTOJANOST ALATA U PROCESU RAZDVAJANJA DINAMO LIMA

Rozgonji Endre, "SEVER" Subotica

Plančak Miroslav, FTN-Institut za proizvodno mašinstvo Novi Sad

1. UVOD

Dinamo-limovi koriste se za izradu statora i rotora elektromotora i kao takvi poseduju specijalne mehaničke i elektromagnetne osobine koje ih znatno razlikuju od ostalih vrsta limova. Zbog specifičnosti materijala i prisutnog izolacionog laka na površini lima, razdvajanje ovakvih limova okarakterisano je nizom specifičnosti i predstavlja poseban segment u okviru obrade razdvajanjem.

Elektro limovi su niskougljenični, hladnovaljani čelični limovi sa sadržajem silicijuma do 2,5%, i poseduju posebne magnetne osobine (mali gubici pri premagnetizaciji u polju naizmernične struje) zbog čega su pogodni za izradu limpaketa statora i rotora elektro motora. Jedan od osnovnih tehno-ekonomskih činilaca u procesu razdvajanja dinamo limova jeste alat, posebno njegova postojanost. Postojanost geometrije alata direktno utiče na kvalitet obradka i na ukupnu ekonomičnost procesa.

Na postojanost alata utiče niz faktora: veličina zazora između reznih elemenata, vrsta materijala obradka, vrsta materijala alata, vrsta i način podmazivanja, geometrija profila rezne linije i drugo.

U ovom radu prikazan je jedan deo širih eksperimentalnih istraživanja međusobnog uticaja zazora i poluprečnika profila rezne linije na postojanost alata.

2. KONCEPCIJA EKSPERIMENTALNIH ISTRAŽIVANJA

Cilj eksperimentalnih istraživanja, čiji je jedan deo prezentiran u ovom radu, je određivanje funkcionalne zavisnosti uticaja a) veličine zazora i b) poluprečnika profila na postojanost alata.

Istraživanja su koncipirana i izvedena na bazi metode inženjerskog eksperimenta.

Prvi korak u ostvarivanju koncepcije istraživanja bio je određivanje nivoa oba uticajna faktora, zazora i poluprečnika profila.

Pri izboru nivoa zazora analizirane su preporučene veličine iz literature, proizvođača materijala i iskustva iz proizvodnje, a odabrana je takva širina opsega varijacije da obuhvata najveći deo ovih vrednosti. Za debljinu lima od 0,5 mm izabrani su sledeći nivoi zazora:

$$Z_{min} = 0,03 \text{ mm}$$

$$Z_{maks} = 0,12 \text{ mm}$$

srednji nivo određen je prema:

$$Z_{sr} = \sqrt{Z_{maks} \cdot Z_{min}} = \sqrt{0,12 \cdot 0,03} = 0,06 \text{ mm}$$

Poluprečnici su odabrani uz prethodnu analizu profila dinamno limova primenjenih u izradi elektro motora. Analizom 3850 raznih profila, određene su vrednosti koji obuhvataju ceo dijapazon poluprečnika korišćenih na prelazima linije profila:

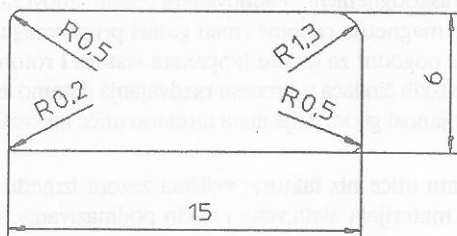
$$R_{min} = 0,2 \text{ mm}$$

$$R_{maks} = 1,3 \text{ mm}$$

srednji nivo iznosi:

$$R_{sr} = \sqrt{R_{maks} \cdot R_{min}} = \sqrt{1,3 \cdot 0,2} = 0,5 \text{ mm}$$

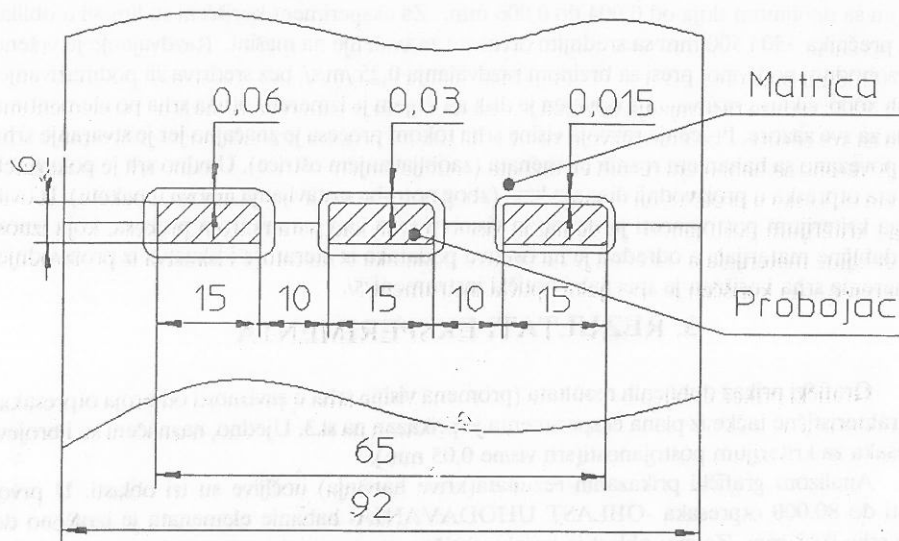
Istraživanja su izvršena na alatu iz proizvodnje, sa specijalnim reznim elementima. Izgled profila žiga prikazan na sl. 1.



Sl 1. Profil žiga eksperimentalnog alata

U cilju isključenje grešaka usled promenljivih parametara procesa u eksperimentalni alat ugrađena su tri žiga.

Profili matrice, u odnosu na profil žiga su izrađeni sa različitim odabranim zazorima. Ras-pored reznih elemenata alata prikazan je na sl. 2.



Sl.2. Raspored reznih elemenata u eksperimentalnom alatu

Sa ovako koncipiranim alatom postignuto je istovremeno prisustvo oba uticajna faktora.

Materijal priprema je elektro lim, proizvod Želzare Jesenice kvaliteta EN 230-50-po internoj oznaci želzare ili oznaka po standardu:

470 - 50 - A5

JUS C.K5.048 (IEC 404-8-4) desetina frekvencije u Hz, pri kojoj su utvrđena magnetna svojstva (5 za 50Hz) karakteristično slovo A(obostrano izolovan) stostruka nazivna debljina u mm (0,5mm) stostruki najveći gubitak kod 1,5 T (Tesla) i 50 Hz u vatima po kilogramu (4,7 W/kg)

Materijal sadrži: 0,011-0,014%C; 2,1-2,4%Si; 0,13-0,17% Mn; 0,01-0,013%S i 0,009-0,018%P. Mehaničke karakteristike date su u donjoj tabeli (T1) T1

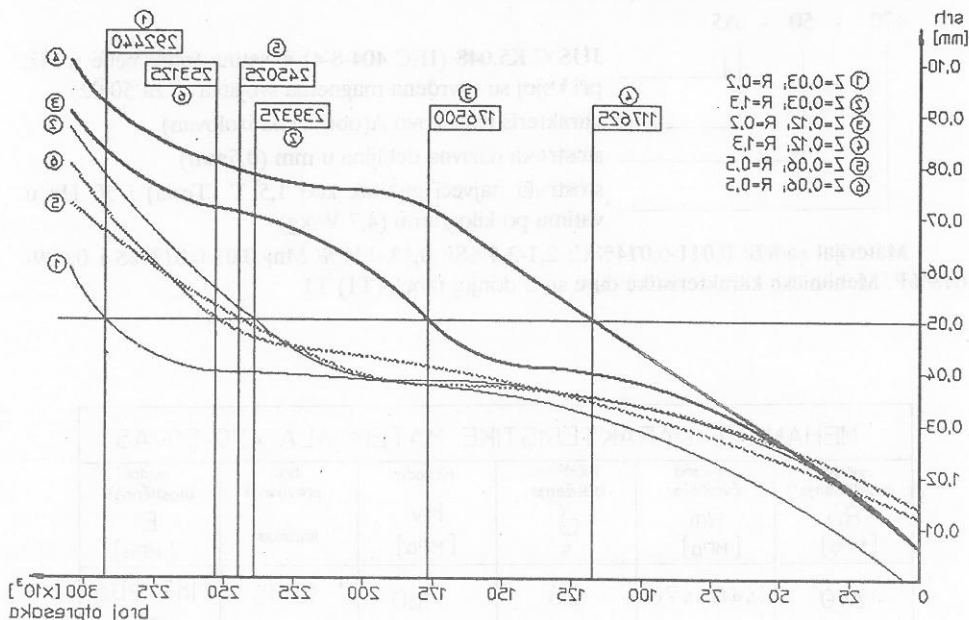
| MEHANIČKE KARAKTERISTIKE MATERIJALA 470-50-A5 | | | | | |
|---|---------------------------------|--|-----------------------|------------------------------|----------------------------------|
| granica razvlačenja Re [MPa] | zatezna čvrstoća Rm [MPa] | relativno izduženje ϵ % | tvrdća Hv [MPa] | broj previjanja (minimum) | modul elastičnosti E [MPa] |
| 340 | 440-470 | 28 | 160 | 10-15 | 187-206 $\times 10^3$ |

Lim je sa obe strane presvučen organskom lak - izolacijom - sintetičkom veštačkom smolom sa debljinom sloja od 0,004 do 0,006 mm. Za eksperiment korišćeni su limovi u obliku diska prečnika 350 i 500 mm sa srednjim otvorom za vođenje na mašini. Razdvajanje je vršeno na brzohodnoj podeonoj presi sa brzinom razdvajanja 0,25 /m/s/, bez sredstva za podmazivanje. Svakih 5000. ciklusa razdvajanja odvojen je disk na kojem je izmerena visina srha po elementima profila za sve zazure. Praćenje razvoja visine srha tokom procesa je značajno jer je stvaranje srha usko povezano sa habanjem reznih elemenata (zaobljavanjem oštrice). Ujedno srh je pokazatelj kvaliteta otpreska u proizvodnji dinamo lima (zbog potrebe sastavljanja limova u pakete). Iz ovih razloga kriterijum postojanosti je definisan visinom srha kao parametrom procesa, koja iznosi 10% debljine materijala a određen je na osnovu podataka iz literature i iskustva iz proizvodnje. Za merenje srha korišćen je specijalni optički instrument/5/.

3. REZULTATI EKSPERIMENTA

Grafički prikaz dobijenih rezultata (promena visine srha u zavisnosti od broja otpresaka) za karakteristične tačke iz plana eksperimenta je prikazan na sl.3. Ujedno, naznačeni su i brojevi otpresaka za kriterijum postojanosti (srh visine 0,05 mm).

Analizom grafički prikazanih rezultata (krive habanja) uočljive su tri oblasti. U prvoj oblasti do 80.000 otpresaka -OBLAST UHODAVANJA- habanje elemenata je izraženo do visine srha 0,03 mm. Za ovu oblast je karakterističan neravnomeran raspored opterećenja duž rezne linije zbog nejednakog rasporeda zazora (greške izrade profila, hrapavosti površine, greške u vođenju elemenata i prihvatanju alata). U drugoj oblasti, približno do 250.000 otpresaka -RADNA OBLAST- habanje elemenata je neznatno, ima vrlo blag porast do visine srha 0,05mm. U ovoj oblasti dolazi do izražaja pravilan izbor uticajnih faktora. Za treću oblast -OBLAST ZATUPLJENJA- je karakteristično vrlo intenzivno habanje sa značajnim povećanjem srha, koje pri 300.000 otpresaka ima vrednost od 0,07 do 0,09 mm.



Sl.3. Krive habanja

Rezultati istraživanja pokazuju da na tok krivih habanja imaju uticaja oba ispitivana faktora. Najveća postojanost se postiže pri najmanjem zazoru i najmanjem poluprečniku -kriva 1. Postepenim povećanjem zazora i poluprečnika postojanost se smanjuje i ima najmanju vrednost pri zazoru 0,12 mm i poluprečniku 1,3 mm -kriva 4. Ostale vrednosti se nalaze između ova dva ekstrema. Uticaj poluprečnika je manji od uticaja zazora i može se uočiti analizom toka krivih habanja za iste veličine zazora (krive 1,2 i krive 3,4).

Do drugih rezultata je došao Lenik /3/. Razdvajanjem elektro lima 0,5 mm debljine sa kružnim žigovima prečnika 4 i 20 mm zaključuje, da smanjenje poluprečnika dovodi do povećanja visine srha. Petostruko smanjenje poluprečnika (sa 10 na 2 mm) praćen trostrukim povećanjem visine srha.

Različiti rezultate istraživanja se mogu objasniti sa izmenjenim uticajima zbog drugog opsega poluprečnika i drugog profila žiga. U prezentaciji rezultata Lenik nije naveo kvalitet materijala, da-li se na površini lima nalazio izolacioni sloj, kao ni brzinu razdvajanja, koji imaju važan uticaj na habanje reznih elemenata.

Analizom dijagrama sa sl.3 uočljivo je da je visina srha od 0,05 mm pravilno odabrana kao uslov postojanosti, jer se na većini dijagrama pri ovoj vrednosti završava radni oblast.

Koristeći rezultate eksperimenta za definisanje funkcije postojanosti, pomoću regresione analize određen je matematički model funkcije u kodiranom obliku:

$$Y = 12,2631 - 0,1515 X_1 - 0,3038 X_2$$

Y - funkcija postojanosti (matematički model)

X₁ - uticaj radijusa (u kodiranim koordinatama)

X₂ - uticaj zazora (u kodiranim koordinatama)

Disperzionom analizom je određena signifikantnost regresionih koeficijenata, adekvatnost modela, i kao rezultat, posle dekodiranja matematičkog modela, dobijena je izlazna funkcija -POSTOJANOST ALATA- sledećeg oblika:

$$P = \frac{5,53 \cdot 10^4}{R^{0,16} \cdot Z^{0,44}} \quad R\text{-poluprečnik profila /mm/}$$

Z-zazor /mm/

P-postojanost /broj kom.otpreska do visine srha 0,05mm/

Gornji izraz omogućuje da se unapred odredi broj komada otpresaka do visine srha 0,05 mm u zavisnosti od veličine poluprečnika prelaza konture profila i veličine zazora.

Plan eksperimenta, regresiona i disperziona analiza kao i detalji samog eksperimenta zbog ograničenosti prostora nisu prikazani, a prezentirani su u /5/.

4. ZAKLJUČAK

Proces habanja reznih elemenata alata u zavisnosti od broja otpresaka može se razgraničiti u tri oblasti: oblast uhodavanja, radni oblast i oblast zatupljenja, koja su praćena povećanjem srha. Postojanost alata, izražena sa brojem otpresaka, definisana je granicom radne oblasti. Za konkretan proces postojanost se najtačnije određuje eksperimentalnim putem na bazi krivih habanja. Kao kriterijum veličine habanja usvojena je visina srha. Usvajanjem visine srha za parametar postojanosti ima puno opravdanja, jer svi uticaji na proces razdvajanja odražavaju se na promenu visine srha.

U radu je eksperimentalnim putem ustanovljeno da manji zazor i manji poluprečnik prelaza povoljno utiču na postojanost, a povećanje poluprečnika prelaza i zazora smanjuju postojanost alata. Do drugih rezultata je došao Lenik /3/ u svojim istraživanjima sa kružnim oblicima profila prečnika 4 i 20 mm što ukazuje na to, da oblik profila rezne linije ima važan uticaj na habanje elemenata alata u procesu razdvajanja. Pomoću regresione i disperzione analize, koristeći podatke iz eksperimenta, određena je funkcionalna zavisnost uticaja poluprečnika prelaza i veličine zazora na postojanost. Dobijena funkcija omogućava određivanje broja otpresaka unapred, za određenu veličinu zazora i poluprečnika prelaza profila a za usvojeni kriterijum postojanosti. Eksperiment je izveden u proizvodnim uslovima.

Dalja istraživanja biće usmerena u pravcu istraživanja postojanosti za razne vrste materijala reznih elemenata alata, za razne kvalitete materijala elektro lima i različite geometrije aktivnih delova alata.

LITERATURA:

- /1/ Vlado Vujović: Obrada deformisanjem u mašinstvu, FTN Novi Sad 1977.
 - /2/ G.Spur, Th.Stoferle: Handbuch der Fertigungstechnik, Band 2/3-Umformen, Zerteilen, Hanser Verlag Munchen Wien 1985.
 - /3/ K.Lenik: Werkzeugverschleiss und Schnittqualität beim Ausschneiden von Elektroschlband, Umformtechnik, 1990-3.
 - /4/ Stankov Jelena: Osnove merne tehnike-metode planiranja eksperimenta, NoviSad 1982.
 - /5/ Rozgonji Endre: Prilog istraživanju uticaja geometrije alata i obradka na parametre procesa obrade razdvajanjem u proizvodnji dinamo lima, magistarski rad u pripremi.
- Rozgonji Endre dipl.ing., projektant "SEVER" d.d. Alatinica Subotica, Magnetna polja 6.

*Plančak dr Miroslav, vanr prof., Fakultet tehničkih nauka Novi Sad D.Obradovića
Rozgonji E., Plančak M.*

UTICAJ ZAZORA I POLUPREČNIKA PROFILA NA POSTOJANOST ALATA U PROCESU RAZDVAJANJA DINAMO LIMA

REZIME

U radu su prikazani eksperimentalni rezultati međusobnog uticaja zazora i poluprečnika prelaza profila na postojanost reznih elemenata alata u procesu razdvajanja dinamo lima, kvaliteta 470-50-A5 - presvučenog sa slojem izolacionog laka. Povećanje zazora i poluprečnika prelaza nepovoljno utiče na postojanost. Određena je funkcionalna zavisnost uticaja poluprečnika prelaza i zazora na postojanost.

INFLUENCE OF CLEARANCE AND PROFILE-RADIUS ON TOOL LIFE IN BLANKING OF DYNAMO-TRANSFORMER SHEET METAL

In this paper some experimental results in the field of blanking of Dynamo-sheet metal are presented. The influence of clearance and profile radius on tool life has been investigated. The sheet metal was of 470-50-A5 quality, with the isolating layer on both surfaces. The increase of clearance and profile radius is disadvantageous, regarding the tool life. The mathematical relationship between tool life and clearance and profile radius is given.

KOMPJUTERSKO UPRAVLJANJE LINIJOM ZA LABORATORIJSKA ISTRAŽIVANJA PROCESA
VALJANJA I IZVLAČENJA

Prof.dr. Vučko Mečanin, dipl.ing.
Prof. dr.Milan Jurković, dipl.ing.
Prof. dr.Ranko Rakanović, dipl.ing.
Mašinski fakultet Kraljevo

R E Z I M E

Za fundamentalna istraživanja obradnih procesa deformisanjem potrebno je razviti i odgovarajuću opremu. U tom smislu izvršena su odgovarajuća istraživanja i razvijena CNC linija za definisanje naponsko-deformacionih stanja, sila valjanja, zatezanja, brzina, pritiska i slično i o tome se u radu govori.

S U M M A R Y

For fundamental research of process of deformation it is necessary to develop corresponding laboratory equipment. On that sense necessary research were done and it was developed CNC line for defining stres-deformation conditions, rolling force, speed,... And this is theme of this works.

1. UVODNE NAPOMENE

Za projektovanje i optimizaciju obradnih procesa valjanjem i izvlačenjem neophodna su fundamentalna istraživanja za definisanje naponsko-deformacionih stanja, sila valjanja, sila zatezanja, brzina valjanja i izvlačenja, pritiska i slično. Takva istraživanja moguće je valjano izvršiti samo na laboratorijskoj

opremi specifično razvijenij za takva istraživanja. Tako je moguće definisati naponsko stanje u procesu preoblikovanja koje se kako je poznato definiše tenzorom napona:

$$T_n = \begin{vmatrix} \sigma_{xx} & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{yx} & \sigma_{yy} & \sigma_{yz} \\ \sigma_{zx} & \sigma_{zy} & \sigma_{zz} \end{vmatrix} \quad (1.1)$$

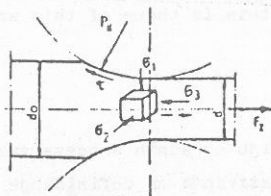
koji opisuje ponašanje materijala u procesu deformisanja i za razmatranje u određenim uslovima, potrebno je voditi računa o njegovim komponentama. Posebno je važna veza između naponskog i deformacionog stanja. Tako se u prostoru glavnih napona $3\sigma = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3$, priraštaj deformacija u funkciji naponskog stanja izražava jednačinama:

$$\begin{aligned} d\epsilon_1 &= \frac{2}{3} d\lambda \left[\sigma_1 - \frac{1}{2} (\sigma_2 + \sigma_3) \right] \\ d\epsilon_2 &= \frac{2}{3} d\lambda \left[\sigma_2 - \frac{1}{2} (\sigma_1 + \sigma_3) \right] \\ d\epsilon_3 &= \frac{2}{3} d\lambda \left[\sigma_3 - \frac{1}{2} (\sigma_1 + \sigma_2) \right] \end{aligned} \quad (1.2)$$

Jednačine (1.2) opisuju vezu između komponenta deformacija i komponenta napona za područje plastičnosti: zatim, moguće je definisati i istraživati stepen deformacije i njegov uticaj na obradne i optimizacione procese. Step deformacije pored ostalog bitno utiče na proizvodnost i ekonomičnost obradnog sistema i definiše se izrazima:

$$\epsilon = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \quad \text{ i } \quad \epsilon = \frac{d_0^2 - d^2}{d_0^2} \quad (1.3)$$

u kojima su: A_0 i A_1 - površine poprečnog preseka profila pre i posle valjanja, a d_0 i d - prečnici profila pre i nakon valjanja ili izvlačenja, kako je to prema [1] i [2], prikazano na slici 1.1.



Sl.1.1.1. Naponsko stanje u zoni deformisanja

Osim normalnih, važno je definisati tangencijalne napone za zone preticanja i zone zaostajanja (τ_z) i kontaktne napone (τ_y):

$$\tau_z = \frac{P_1 - P_2}{\operatorname{tg} \varphi_1 + \operatorname{tg} \varphi_2} \quad (\text{zona preticanja}) \quad (1.4)$$

$$\tau_z = \frac{P_2 - P_1}{\operatorname{tg} \varphi_1 + \operatorname{tg} \varphi_2} \quad (\text{zona zaostajanja}) \quad (1.5)$$

$$\tau_y = \frac{P_3 - P_4}{\operatorname{tg} \varphi_3} \quad (\text{kontaktne napone}) \quad (1.6)$$

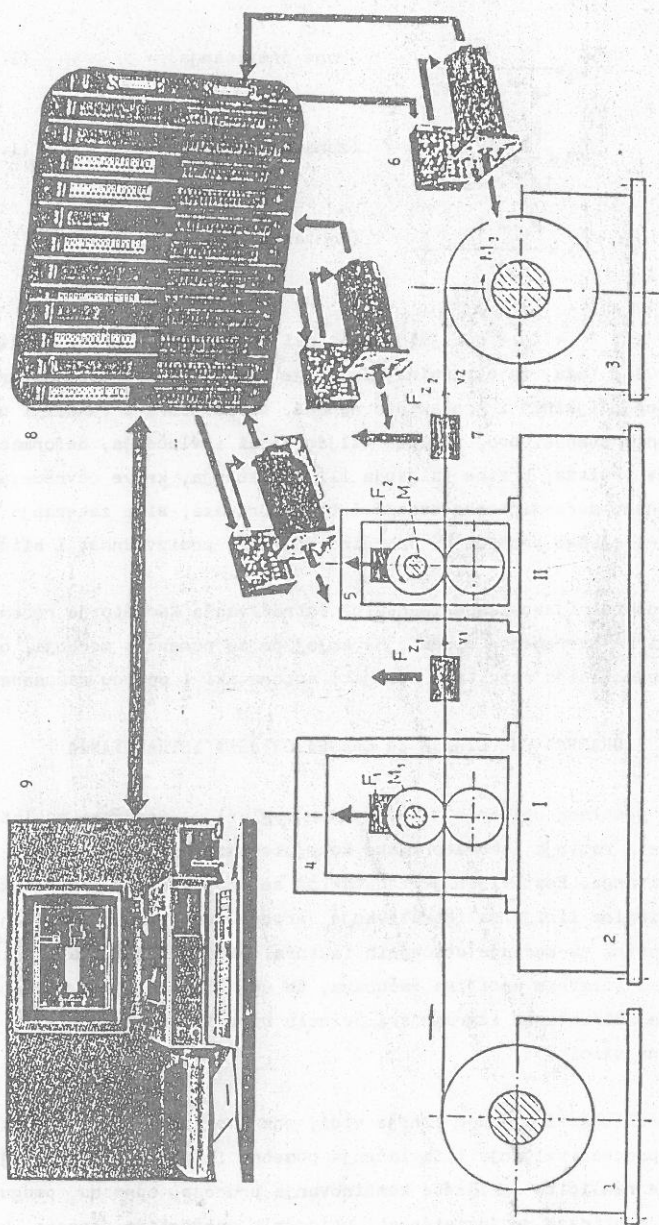
U jednačinama su: $P_1 + P_4$ - radijalni pritisci, a $\varphi_1 + \varphi_3$ - uglovi nagiba merenih davača. Osim toga, za optimalno odvijanje procesa potrebno je istraživati: odnose tangencijalnih i kontaktnih napona, temperature u funkciji naponsko-deformacionih stanja, broj prolaza valjanja ili izvlačenja, deformacije u funkciji broja prolaza, brzine valjanja ili izvlačenja, krive očvršćavanja u funkciji naponsko-deformacionog stanja i broja prolaza, sile zatezanja ili izvlačenja, tribološke promene na površinama alata, proizvodnost i slično.

Tako kompleksna teorijsko-eksperimentalna istraživanja kao što je rečeno, moguće je vršiti na savremenoj opremi, na kojoj će se pomenuta merenja, obrada podataka i prezentacija rezultata odvijati automatski i pomoću računara.

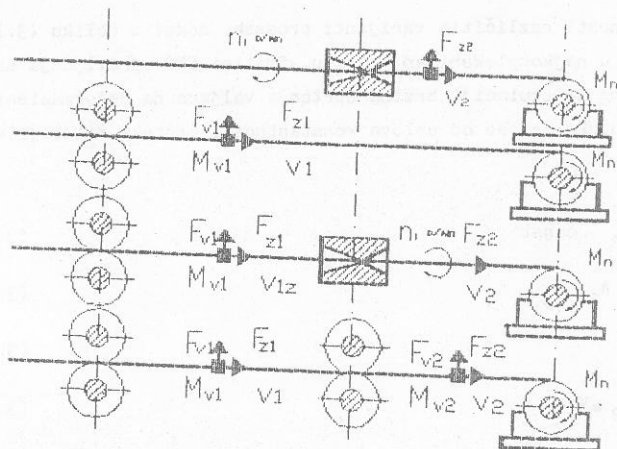
2. STRUKTURNA IZGRADNJA CNC LINIJE ZA LABORATORIJSKA ISTRAŽIVANJA

Za razrešenje problema opisanih u prethodnom poglavlju, izvršena su istraživanja mogućnosti razvoja laboratorijske kompjuterski upravljane linije za pomenuta istraživanja. Postavljen je zadatak da se projektuje kompjuterski upravljana fleksibilna linija za istraživanje procesa valjanja i izvlačenja, opremljena senzorima za merenje uticajnih faktora, obradu rezultata i njihovu prezentaciju na izlaznim medijima računara, te upravljanje pomoću računara u istraživanjima. Strukturna izgradnja i princip upravljanja prema [3] i [4], prikazana je na slici 2.1.

Kako se iz strukturne izgradnje linije vidi, ona omogućava eksperimentalna istraživanja procesa valjanja i izvlačenja posebno ili pak u kombinaciji. Pri tome su moguće različite varijante kombinovanja procesa, odnosno, omogućeno je istraživanje uticaja medjuzavisnosti uticajnih parametara procesa, kako je to prema [3] prikazano na slici 2.2.



Sl.2.1.1. Strukturna izgradnja i princip upravljanja
linijom za laboratorijska istraživanja



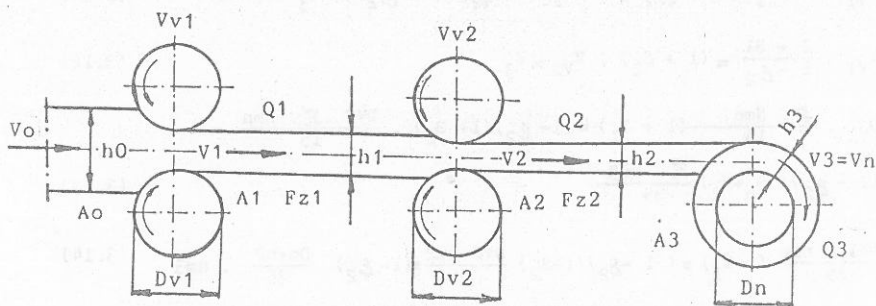
Sl.2.2. Neke od varijanti istraživanja obradnih procesa na CNC laboratorijskoj liniji

3. MODEL UPRAVLJANJA

Za kompjutersko upravljanje laboratorijskom linijom stoji na raspolaganju nekoliko mogućnosti: Ono o čemu se pri tome mora voditi računa, jeste, nepostojanje sistema za kompenzaciju. To znači, da u bilo kojoj varijanti upravljanja mora postojati sila zatezanja između dve obradne jedinice. Prema istraživanjima izvršenim u [2] proizilazi, da se upravljanje linijom sa dovoljnom pouzdanošću može vršiti prema modelu:

$$F_{z2} - F_{z1} = \Delta F_z \approx K \quad (3.1)$$

u kome su F_{z1} i F_{z2} sile zatezanja između dve susedne deformacione jedinice kako je to prikazano na slici 3.1.



Sl.3.1. Slučaj upravljanja kada su u pogonu dve jedinice i namotač

Obzirom na mogućnosti različitih varijanti procesa, model u obliku (3.1) opisuje upravljanje u najkompleksnijem slučaju. Suština CNC upravljanja sastoji se između ostalog u regulaciji brzina obrtanja valjaka na deformacionim jedinicama i namotaču. Polazi se od uslova konstantnosti protoka materijala, te je:

$$Q_0 = Q_1 = Q_2 = Q_3 \quad \text{const} \quad (3.2)$$

$$V_1 \cdot A_1 = V_2 \cdot A_2 = V_3 \cdot A_3 \quad (3.3)$$

$$A_1 > A_2 = A_3 \quad (3.4)$$

$$V_1 \cdot A_1 / A_2 = V_2 = V_3 \quad (3.5)$$

$$A_1 / A_2 = 1 / (1 - \epsilon_2) \quad (3.6)$$

$$A_1 = (1 - \epsilon_2) \cdot A_0; \quad A_2 = (1 - \epsilon_2) A_1 = (1 - \epsilon_2) \cdot (1 - \epsilon_2) \cdot A_0 \quad (3.7)$$

$$V_1 / (1 - \epsilon_2) = V_2 = V_3 \quad (3.8)$$

$$V_1 = (1 - \epsilon_2) V_2 = (1 - \epsilon_2) \cdot V_3 \quad (3.9)$$

U izrazu (3.9) ϵ_2 je stepen deformacije i definiše se izrazom:

$$\epsilon_2 = (A_1 - A_2) / A_1 = 1 - \frac{A_2}{A_1} \quad (3.10)$$

A_1 i A_2 - su poprečni presezi trake (profila)

V_1 , V_2 i V_3 - brzine kretanja trake - profila.

Uzimajući u obzir obodne brzine valjaka, brojeve obrtaja motora i preticanje materijala, dobija se:

$$V_{V1} (1 + S_1) = (1 - \epsilon_2) (1 + S_2) \cdot V_{V2} = (1 - \epsilon_2) \cdot V_3 \quad \text{const.} \quad (3.11)$$

$$V_{V1} \cdot \frac{1 + S_1}{1 - \epsilon_2} = (1 + S_2) \cdot V_{V2} = V_3 \quad (3.12)$$

$$D_{V1} \cdot \frac{\pi \cdot \text{Nm}n}{15} (1 + S_1) = (1 - \epsilon_2) (1 + S_2) \cdot \frac{DV2 \cdot \pi \cdot \text{Nm}n}{15} = \\ = (1 - \epsilon_2) (D_n + h_2) \frac{\pi \cdot \text{Nm}3}{35} \quad (3.13)$$

$$\frac{DV1 \cdot \text{nm}n}{15} (1 + S_1) = (1 - \epsilon_2) (1 + S_2) \frac{DV2 \cdot \text{nm}2}{15} = (1 - \epsilon_2) \frac{Dn + h_2}{35} \cdot \text{nm}3 \quad (3.14)$$

odnosno:

$$\frac{35 \text{ Dv1} \cdot \text{nm1}}{15 (Dn+h2)(1-\varepsilon_2)} = \frac{35 \cdot \text{Dv2} \cdot \text{nm2}}{15 (Dn + h2)} \quad \text{nm3} \quad (3.15)$$

Prečnik namotavanja $Dn + h1$ je promenljiv, tako za jedan namotaj je $Dn+h2$; za dva namotaja je $Dn + 3h2$, za tri namotaja $Dn+5h2$ itd., što je uslov za idealno slaganje materijala na dobošu namotača.

Poznavanjem $Dv1$, $Dv2$, ε_2 i H_i moguće je za određeni n_{m1} , definisati n_{m2} , odnosno broj obrtaja motora namotača $n_{m3} = n_{mn}$.

Naime, iz jednačine (3.15), moguće je odrediti brojeve motora n_{m2} i n_{m3} , te su:

$$n_{m2} = \frac{Dv1}{(1-\varepsilon_2) \cdot Dv2} \cdot n_{m1} \quad (3.16)$$

$$n_{m3} = \frac{35 \text{ Dv2}}{15 (Dn+h2)} \cdot n_{m2} \quad (3.17)$$

$$n_{m3} = \frac{35 \text{ Dv1}}{15 (1-\varepsilon_2) (Dn+h2)} \cdot n_{m1} \quad (3.18)$$

Ako se pretpostavi preticanje S_1 i S_2 , dobije se:

$$n_{m2} = \frac{Dv1 (1 + S1)}{Dv2 (1 - \varepsilon_2) (1+S2)} \cdot n_{m1} \quad (3.19)$$

$$n_{m3} = \frac{35 \text{ Dv2} (1+S2)}{15 (Dn+h2)} \cdot n_{m2} \quad (3.20)$$

$$n_{m3} = \frac{35 \text{ Dv1} (1+S1)}{15 (1-\varepsilon_2) (Dn+h2)} \cdot n_{m1} \quad (3.21)$$

U izrazima (3.16) do (3.22) egzistiraju prenosni odnosi $i_1 = n_{m1}/n_{v1} = 15$; $i_2 = n_{m2}/n_{v2} = 15$ i $i_3 = n_{m3}/n_{v3} = 35$.

Prikazane jednačine su osnov regulacije na bazi protoka materijala, ma da se regulacija može izvesti i preko nekih drugih parametara.

Ovaj kraći osvrt na model upravljanja i principe regulacije odnosi se na kompjutersko upravljanje laboratorijskom linijom pri eksperimentalnim istraživanjima obradnih procesa.

Osim toga, algoritmom su obuhvaćena sva izračunavanja parametara procesa i njihova prezentacija na izlaznim medijima računara. To se odnosi na odgovarajuće izraze, dijagrame i slično. Jasno je, da su sve interakcije izvode automatski i pod kontrolom nadređenog računara.

4. ZAKLJUČCI

Na osnovu razmatranja u radu mogu se izvesti sledeći zaključci:

- 1) Razvijena kompjuterski upravljana linija za laboratorijska istraživanja omogućava definisanje fundamentalnih zakonitosti u obradnim procesima valjanja i izvlačenja.
- 2) Varijacija postupaka i parametara obradnih procesa omogućava istraživanje uzajamnih uticaja i pojava koji se u procesima odvijaju, te njihovo definisanje u obliku analitičkih izraza, dijagrama, izvoda i slično.
- 3) Laboratorijska oprema prikazanog tehničko-tehnološkog nivoa omogućava proveru hipoteza i verifikaciju teorijskih postavljenih pri istraživanju obrade deformisanjem, kao i verifikaciju optimizacionih procesa valjanja i izvlačenja.

5. LITERATURA

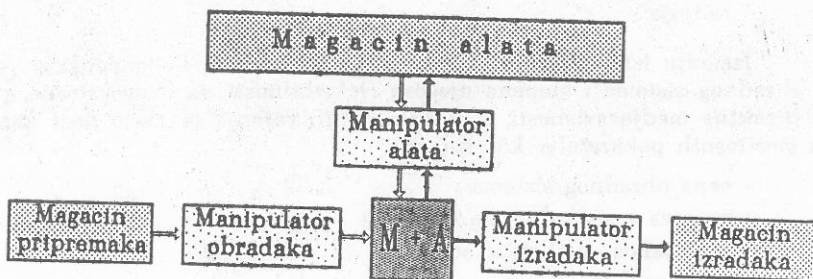
- [1] Mečanin V., Jurković M., Rakanović R., Kompjutersko upravljanje fleksibilnim obradnim sistemima za obradu deformisanjem, Jupiter konferencija, Kopaonik 92.
- [2] Mečanin V., Jurković M., Definisanje teorija ko-eksperimentalnih podloga za CNC upravljanje fleksibilnom linijom za izradu osnosimetričnih profila valjanjem, NC-ROBOTS-FTS, Beograd 1986.
- [3] Jurković M., Mečanin V., Istraživanje i razvoj fleksibilne kompjuterski upravljane linije za izradu profila valjanjem, BIAM Zagreb 1988.
- [4] Jurković M., Mečanin V., Živanović S., Razvoj nove visoko produktivne CNC linije za izradu osnosimetričnih profila. Naučno istraživački projekat, Mašinski fakultet Banja Luka 1985.
- [5] Mečanin V., Jurković M., Istraživanje mogućnosti primene kompjuterskog upravljanja linijom za izradu osnosimetričnih profila valjanjem, XVIII savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Niš 1984.

PRILOG RASMATRANJU PROBLEMA SISTEMA MAŠINA-ALAT I STEPENA NJIHOVE FLEKSIBILNOSTI U TEHNOLOGIJAMA PLASTIČNOSTI

Dr Dragan I. Temeljovski, docent Mašinskog fakulteta Univerziteta u Nišu
Dr Predrag V. Popović, red.prof., Mašinski fakultet Univerziteta u Nišu

1. UVOD

Polazeći od sistema mašina-alat, sa magacinima i manipulatorima alata i materijala koji se obrađuje (od priprema do izradaka), shematski prikazanog na slici 1., može se njegovom analizom, ako taj sistem predstavlja obradni sistem u tehnologijama plastičnosti, doći do toga da postoje dva pristupa u ostvarenju njegove fleksibilnosti, i to:



Slika 1. Obradni sistem.

I princip. Ovaj princip je shematski prikazan na slici 2.



Slika 2. Prvi princip.

Zasniva se na relativno prostoj i jednostavnoj univerzalnoj mašini, odnosno mašini ograničenih i nepromenljivih performansi, a karakterizira ga:

- veliki broj usko specijalizovanih alata po tehnološkim operacijama i elementima obrade;
- relativno veliki magacin alata;
- relativno glomazan i komplikovan sistem za izmenu alata od magacina alata do radnog prostora mašine i
- relativno prost manipulator materijala koji se obrađuje.

II princip. Ovaj princip je shematski prikazan na slici 3.



Slika 3. Drugi princip.

Zasniva se na relativno složenoj mašini, odnosno mašini povećanih promenljivih performansi, a karakterizira ga:

- manji broj univerzalnijih alata, odnosno alata koji se mogu primeniti pri obradi većeg broja različitih elemenata po konfiguraciji i tehnologiji obrade (teorijski jedan prost alat);
- relativno mali magacin alata (teorijski nema magacina alata);
- relativno prostiji i jednostavaniji sistem za izmenu alata od magacina alata do radnog prostora mašine i obrnuto (teorijski ne postoji magacin alata) i
- relativno složen i komplikovan manipulator materijala koji se obrađuje.

Između izneta dva principa, sa jedne strane, i konceptijskog rešenja obradnog sistema i stepena njegove fleksibilnosti, sa druge strane, postoje direktne medjuzavisnosti, a do optimalnih rešenja se može doći analizama meritornih pokazatelja, kao što su:

- cena obradnog sistema;
- njegova konstrukcijska složenost;
- pouzdanost u eksploataciji;
- proizvodnost;
- neophodan radionički prostor;
- kvalifikaciona struktura opslužioaca, itd.

U ovom radu se daje - generalno - analiza preko cene obradnog sistema.

2. CENA I OPTIMALNI STEPEN FLEKSIBILNOSTI SISTEMA

Kako je cena proizvoda za određeni - zahtevani - kvalitet najmerodavniji parametar, to se u ovom radu daje analiza uticaja nivoa fleksibilnosti obradnog sistema na proizvodne troškove, odnosno cenu proizvoda, kroz cenu koštanja mašine i alata.

Definisanjem parametra:

$$f_c = \frac{C_M + C_{Mm}}{C_A + C_{Mg} + C_{MA}} \quad (01)$$

gde su: C_M - cena mašine;
 C_A - cena svih alata korišćenih u toku veka mašine;
 C_{Mm} - cena manipulatora materijalom, odnosno obradkom;
 C_{MA} - cena manipulatora alatom i
 C_{Mg} - cena magacina alata,

dolazi se do toga da u fleksibilnih sistema projektovanih na osnovi prvog principa parametar (f_c) teorijski teži nuli ($f_c \rightarrow 0$), a u fleksibilnih sistema ostvarenih po drugom principu, parametar (f_c) teži izraženo velikoj vrednosti, odnosno teorijski beskonačnosti ($f_c \rightarrow \infty$), jer je:

- u prvom slučaju (jednim alatom se obavlja samo jedna tehnološka operacija na jednom komadu) cena mašine i cena manipulatora materijalom u odnosu na ukupnu cenu alata, manipulatora i magacina alata neznatna ($C_M + C_{Mm} \ll C_A + C_{Mg} + C_{MA}$) i
- u drugom slučaju obrnuto (teorijski ekstremno, jednim alatom se obrađuju svi elementi), ukuna cena alata, manipulatora i magacina alata u odnosu na cenu mašine i cenu manipulatora materijalom izraženo manja ($C_M + C_{Mm} \gg C_A + C_{Mg} + C_{MA}$).

Pošto, s jedne strane, između performansi, koje predstavljaju mogućnosti mašine i njene konstruktivne složenosti, a time i njene cene koštanja, postoji zavisnost: što su veće performanse mašine, to je veća njena složenost, pa time i njena cena, a sa druge, sa povećanjem performansi mašine raste prosečan broj elemenata koji se obrađuje jednim alatom (teorijski jednim alatom se obrađuju svi delovi), to se može postaviti zavisnost:

$$C_M = C_{Ma} + C_{Mb} \cdot X^n \quad (02)$$

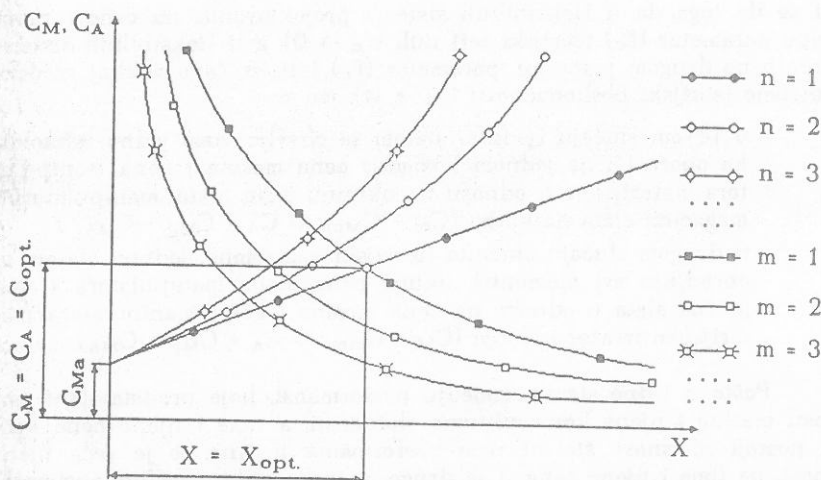
gde su: C_M - cena koštanja mašine određenih performansi, odnosno konstrukcijske složenosti;
 C_{Ma} - cena koštanja mašine minimalnih performansi, odnosno najprostijeg konstrukcijskog rešenja;

- C_{Mb} - konstanta koja definiše intenzitet promena cene mašine sa porastom njene konstrukcijske složenosti;
 X - prosečan broj elemenata po jednom alatu koji se može obraditi na odgovarajućoj mašini i
 n - eksponent koji definiše karakter promene cene mašine u funkciji promene njenih mogućnosti, a što zavisi od kvaliteta konceptijsko-konstrukcijskih rešenja složenih mašina.

Kako sa povećanjem mogućnosti mašine opada broj specijalizovanih alata, čije funkcije preuzima manji broj univerzalnijih alata, to njihova ukupna cena koštanja opada, pa se može postaviti sledeća zavisnost:

$$C_A = \frac{C_{Ao}}{X^m} \quad (03)$$

- gde su: C_A - ukupna cena alata odgovarajućih performansi;
 C_{Ao} - ukupna cena svih alata u sistemu jedan alata za jednu tehnološku operaciju i jedan deo i
 m - eksponent koji definiše karakter promene prosečne cene alata određenog sistema mašina-alat.



Slika 4. Zavisnosti cene mašine i alata od performansi.

Zavisnosti (02) i (03) prikazane su na slici 4. Presečna tačka odgovarajućih zavisnosti predstavlja optimalno rešenje, odnosno najjeftiniji obradni sistem za određenu proizvodnju, čime je definisan i optimalni stepen fleksibilnosti sistema.

Za presečnu tačku je:

$$C_M = C_A = C_{opt}. \quad (04)$$

pa je ukupna cena optimalnog sistema:

$$C_{uopt} = 2 \cdot C_{opt}. \quad (05)$$

Rešavanjem sistema jednačina (02) i (03), dobija se $(m + n)$ -ta jednačina:

$$X^{m+n} + \frac{C_{Ma}}{C_{Mb}} \cdot X^n - \frac{C_{Ao}}{C_{Mb}} = 0 \quad (06)$$

čija realna rešenja određuju optimalni obradni sistem.

Ilustracije radi, za $n = m = 1$, jednačina (06) predstavlja kvadratnu jednačinu, čija su rešenja:

$$X_{1,2} = \frac{1}{2} \cdot \left[-\frac{C_{Ma}}{C_{Mb}} \pm \sqrt{\left(\frac{C_{Ma}}{C_{Mb}}\right)^2 + 4 \cdot \frac{C_{Ao}}{C_{Mb}}} \right] \quad (07)$$

Kako realno rešenje (X_1) mora da bude pozitivno, to je neophodno da bude ispunjen uslov, da je:

$$4 \cdot \frac{C_{Ao}}{C_{Mb}} > 0 \quad (08)$$

Ako se sa N označi broj elemenata nekog proizvoda, ili nekog obima proizvodnje, koji se obradjuju u posmatranom obradnom sistemu tehnologijama plastičnosti, tada se može, s obzirom na već izloženo, definisati i stepen fleksibilnosti posmatranog sistema za omedjeni deo proizvodnje izrazom:

$$\eta = 1 - \frac{X}{N} \quad (09)$$

pa je optimalni stepen fleksibilnosti, s obzirom na izraz (07), posmatranog sistema:

$$\eta = 1 - \frac{X_1}{N} = 1 - \frac{\frac{1}{2} \cdot \left[-\frac{C_{Ma}}{C_{Mb}} + \sqrt{\left(\frac{C_{Ma}}{C_{Mb}}\right)^2 + 4 \cdot \frac{C_{Ao}}{C_{Mb}}} \right]}{N} \quad (10)$$

3. ZAKLJUČAK

Na osnovi svega do sad iznetog mogu se izvući sledeći zaključci, i to:

1. Da projektovanje fleksibilnih obradnih sistema po prvom principu usmerava razvoj i istraživanja u domenu razvoja alata u

tehnologijama plastičnosti, dok projektovanje istih sistema po drugom principu usmerava iste u domenu mašina.

2. Prezentirani metod u ovom radu ukazuje da se do optimalnih rešenja dolazi paralelnom razvojno-istraživačkom delatnošću, kako u domenu mašina, tako i u domenu alata u tehnologijama plastičnosti.

3. Postavljanjem analognih metoda analize fleksibilnosti obradnih sistema u tehnologijama plastičnosti s aspekta proizvodnosti, pouzdanosti i sl., stvorio bi se moćan kompleksan metod iznalaženja obradnih sistema optimalnog stepena fleksibilnosti, imajući u vidu primenu računara i pouzdane banke podataka.

Literatura

- /1/ P. Popović, Mašine za obradu deformisanjem - I deo, Univerzitet u Nišu, Niš, 1991.
- /2/ P. Popović, D. Temeljkovski, Prilog rasmatranju problema fleksibilnih obradnih sistema u tehnologijama plastičnosti, XVII Jupiter konferencija, 13 jugoslovenski simpozijum NU-ROBOTI-FTS, Kopaonik, 1991.
- /3/ J. Ristić, P. Popović, D. Temeljkovski, Upravljačko informacijski sistemi u tehnologijama plastičnosti, XVIII Jupiter konferencija, 14 jugoslovenski simpozijum NU-ROBOTI-FTS, Kopaonik, 1992.
- /4/ P. Popović, D. Temeljkovski, The Impact of the Flexible Working Systems Development Upon the Conceptual Solution of the Metal Working Machines and Tools, International Conference on CAD of Machinery 91, Beijing, China, 1991.
- /5/ P. Popović, D. Vukićević, D. Temeljkovski, J. Ristić, Izrada elemenata u zatvorenim alatima i problem realizacije fleksibilnih krivajnih presa, VAJNIH PRESA, XVIII Jupiter konferencija - 14. jugoslovenski simpozijum NU-ROBOTI-FTS, Kopaonik, 1992.

D. Temeljkovski, P. Popović

CONTRIBUTION TO THE ANALYSIS OF MACHINE-TOOL SYSTEM AND OF DEGREE OF THEIR FLEXIBILITY IN PLASTICITY TECHNOLOGIES

Summary

In this paper, the influence of conceptual solutions and related machine and tool performances in plasticity technologies on degree of their flexibility is considered.

The considerations are realized analysing the influence of degree of flexibility increasing on various relevant parameters such as: machine complexity and its cost from one side and tool magazine and tool exchange system on the another side, all in aim of determination optimal degree of flexibility of working system in plasticity technologies.

PRILOG RAZMATRANJU PROBLEMA DIREKTNE AMORTIZACIJE ČEKIĆA

Dr. Ljubodrag Đorđević, docent Mašinskog fakulteta u Kraljevu
Dr Predrag V. Popović, red profesor Mašinskog fakulteta u Nišu
Mr. Krzysztof Sattelmeir, INSTITUT BISTYP, Warszawa
Mr. Milan Krstić, dipl. maš. ing. IMK "14 OKTOBAR" - Kruševac

SUMMARY

Striving to find the most suitable and most economic solution to eliminate unwanted vibration impact and to reduce the cost of manufacturing of hammer foundation influenced development in recent years and further development of design solutions enabling positioning of a hammer to shock absorbing elements.

Eliminating of the foundation of a large mass contributes to faster and more efficient positioning of a hammer and in that case necessary quality of vibration insulating and forging quality are not affected.

REZIME

Težnja da se nađe najpogodnije i najekonomičnije rešenje, u smislu otklanjanja nepoželjnog uticaja vibracija, i smanjenja troškova izrade temelja čekića, dovela je do toga da se zadnjih godina pojavljuju i dalje razvijaju konstruktivna rešenja, koja omogućuju direktno postavljanje čekića na elementima za amortizaciju.

Isključivanje temelja velike mase direktno doprinosi bržem i efikasnijem postavljanju čekića, pri čemu se ne gubi potrebni kvalitet izolacije od vibracija, kao i kvalitet proizvoda.

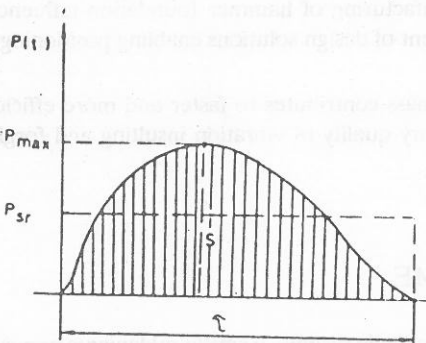
1. UVOD

Temelji mašina mogu biti različiti, u zavisnosti od oblika i dimenzija mašina, koje se na te fundamente postavljaju. Praksa pokazuje da se praktično za svaku mašinu projektuje i izrađuje temelj, što je veoma neracionalano sa stanovišta promene tehnoloških linija, i sa stanovišta fleksibilnijeg pristupa projektovanju proizvodnih sistema, a posebno pri oblikovanju tokova materijala u sistemu.

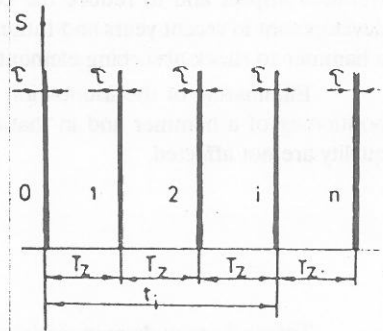
2. TEMELJI ČEKIĆA

Problem nalaženja racionalnih metoda projektovanja temelja čekića je jedan od naj-složenijih problema na koje nailaze projektanti mašina, posebno zbog karaktera opterećenja koja se pojavljuju i koja je veoma teško definisati, kako po mestu nastajanja, tako i po obliku njihovog delovanja.

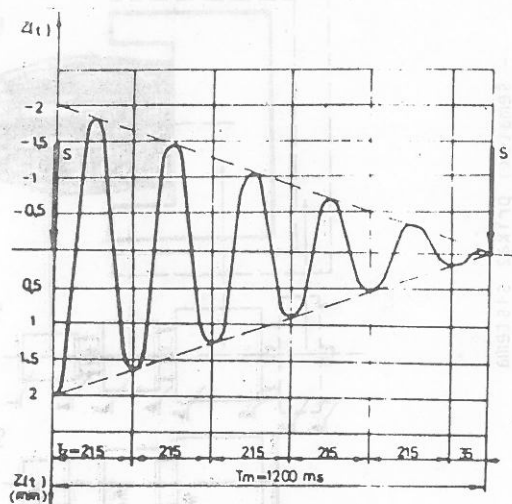
Karakteristike čitavog procesa su udarna - impulsna opterećenja, koja se ponavljaju u istim vremenskim intervalima, i koja uslovljavaju pojavu vibracija-pomeranja, koja takodje moraju biti u odgovarajućim dozvoljenim granicama, a čije se prigušenje mora izvršiti pre narednog udara (sl.1)(1,5).



a) oblik impulsa,



b) serija udaraca,

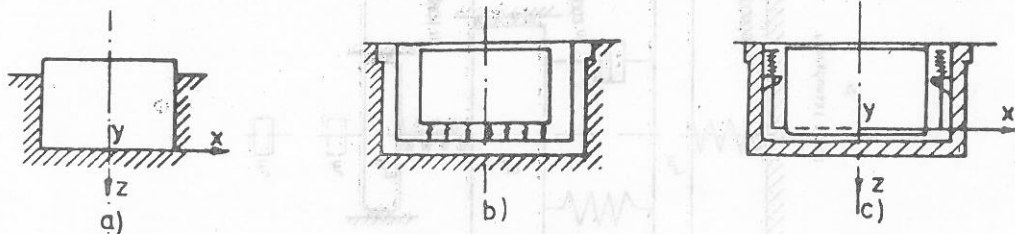


c) prigušenje

Sl.1 - Karakteristike udarno-impulsnog opterećenja

2.1. KLASIČNO POSTAVLJANJE ČEKIĆA

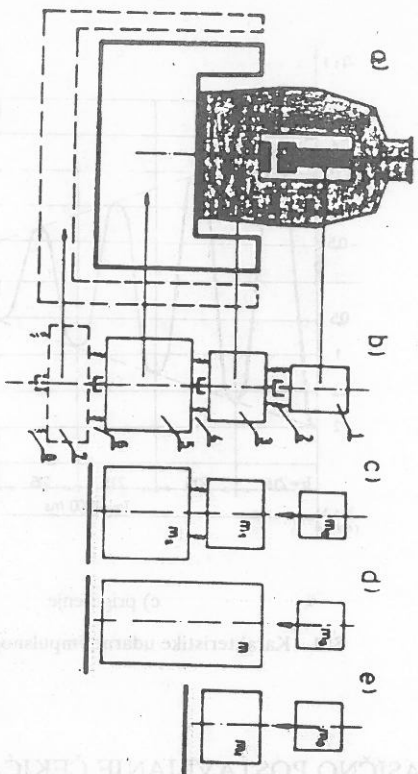
Čekići mogu biti postavljani na fundamente koji su u direktnom ili indirektnom kontaktu sa tlom (sl.2).



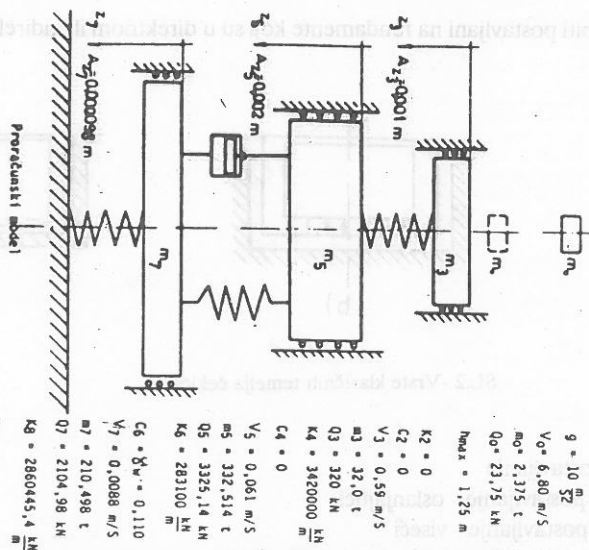
SL.2 - Vrste klasičnih temelja čekića

- a) direktno postavljanje
- b) indirektno postavljanje - oslanjajući
- c) indirektno postavljanje - viseći

Prilikom proračuna sistema posebno je važno definisati matematički i proračunski model (sl.3)(1,5).



- šematski prikaz sistema
- 1 - bat sa gornjom matricom
 - 2 - otkivak
 - 3 - nakovanj - šabot
 - 4 - podmetač ispod šablona
 - 5 - blok fundamenta
 - 6 - vibroizolatori
 - 7 - kutija fundamenta
 - 8 - tlo



SL.3 Prikaz sistema i proračunski model za MPM-2000

(proizvođač HUTA ZYGMUNT - Poljska instaliran 1990 godine u IMK "14.OKTO-BAR" Kruševac)

Težina bloka fundamenta određuje se prema (1,5), iz uslova da maksimalna amplituda vibracija ne pređe dozvoljenu vrednost:

$$A_z = \frac{(1+k) \cdot m_o \cdot V_o}{\sqrt{C_z \cdot F \cdot m}} \leq A_{wdop} \quad (1)$$

$$m \leq \frac{(1+k) \cdot m_o \cdot V_o}{A_{wdop} \gamma} [Mg] \quad (2)$$

Za tip čekića MPK-2000:

$k = 0,25$ - koeficijent udara čekića,

$m_o = 2,375 [T]$ - težina - masa bata čekića

V_o - Brzina padajućih delova u trenutku udara

$$V_o = \sqrt{\frac{2U}{m_o}} = 6,80 \text{ m/s} \quad (3)$$

$U = 55,0 \text{ KJ}$ - Energija udara

$A_{wdop} = 2,00 \text{ mm}$ - dozvoljena amplituda bloka temelja
uzeta prema PN-80/B-03040

λ - sopstvena ugaona brzina

$$\lambda = 2\pi n_o = \frac{\pi n m}{30} (i + 0,5) = 28,76 \text{ rad/s} \quad (4)$$

$n_m = 50$ - broj udaraca u minutu

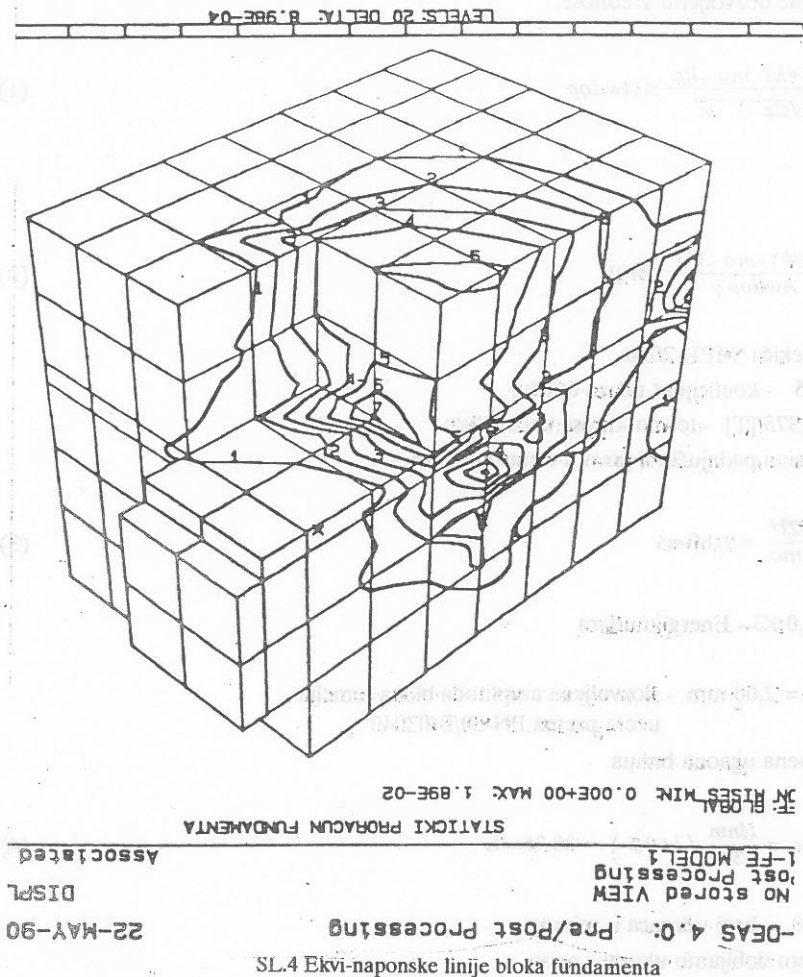
Zamenom dobijamo ukupnu masu:

$$m = 300,965 [T]$$

Masa temelja se dobija ako se od ukupne mase oduzmu masa šabota čekića ($m_3 = 32,0$) i masa čekića ($m_4 = 27 \text{ T}$).

$$m_5 = m - (m_3 + m_4) = 291,965 \text{ T}$$

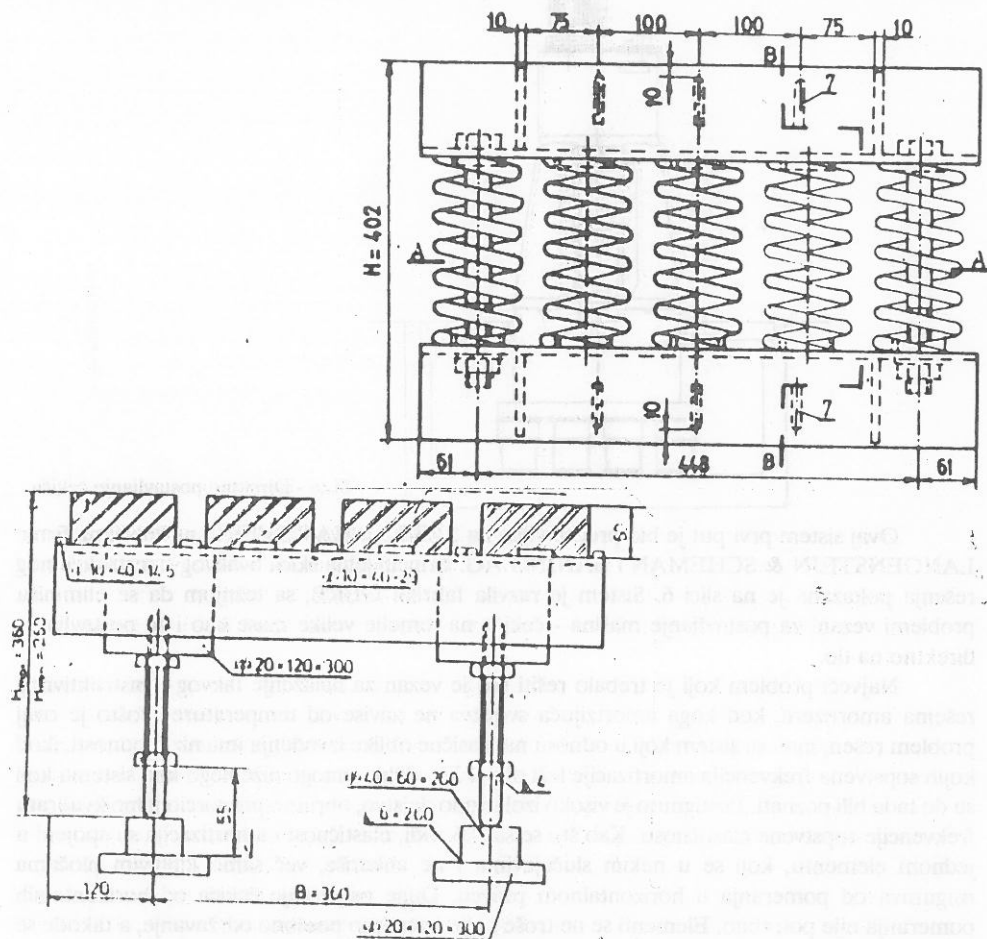
Na (SL.4) je prikazana četvrtina bloka fundameta sa ekvi-naponskim linijama, koje pokazuju kakva je koncentracija naprezanja u pojedinim delovima fundameta pod uticajem udarnog opterećenja.



2.2 DIREKTNOSTAVLJANJE ČEKIĆA

Direktno postavljanje kovačkih čekića na podlogu, uslovljava eliminisanje izrade klasičnih temelja. Umesto armirano-betonskog bloka teškog i po nekoliko stotina tona, projektuje se armirano-betonska ploča na koju se direktno postavljaju udarne mašine, a troškovi se znatno smanjuju. Potresi i štetni uticaj vibracija bili su od uvek nepoželjni, pa i onda kada se o zaštiti čovekove okoline nije toliko ni govorilo niti pisalo, a malo što preduzimalo da se ti nepoželjni uticaji eliminišu. Pored oštećenja objekata, sleganja temelja čekića, iskošenja čekića, veoma je

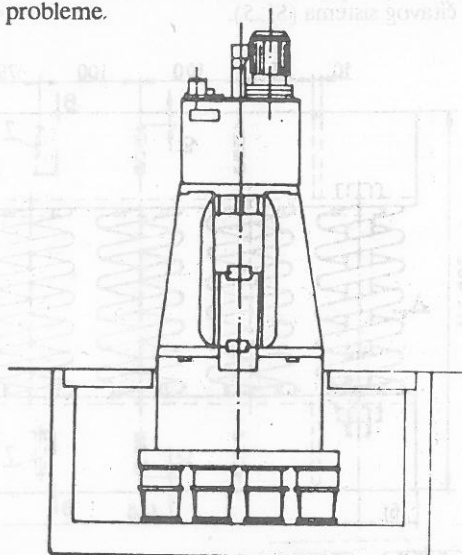
važno spomenuti troškove koji se javljaju da bi se nedostaci otklonili. Ekonomske analize pokazuju da je cena postavljanja kovačkih čekića na temelje sa elastičnim izolatorima veća za oko 30 % u odnosu na postavljanje čekića direktno na tlo. Razlika u ceni uglavnom je rezultat cene elastičnih izolatora koji se ubacuju između bloka temelja i kutije fundamenta, a imaju za cilj smanjenje i prigušenje vibracija čitavog sistema (SL.5).



SL.5 - Opužni izolatori i gumeni prigušivači (za tip cekića MPK-2000 kom 20 + 8 paketa)

Zamena "čvrstih" temelja čekića (temeljnih blokova koji se direktno oslanjaju na tlo), često je neizvodljiva. Za to ima više razloga, a jedan od presudnih je i taj što bi čekić bio van proizvodnje za vreme lomljenja starog temelja, i za vreme građevinskih radova kod postavljanja novog temelja, što u našim uslovima može da potraje skoro godinu dana. Prisutni problemi najčešće se ispoljavaju u pojavi podzemnih voda, kao što je to bio slučaj u IMK "14 OKTOBAR" - Kruševac i u FABRICI VAGONA - Kraljevo, kod postavljanja čekića. Cena izvođenja takvih

radova bilabi znatno veća od cene postavljanja novog "elastičnog" temelja, posebno kad se ima u vidu da je za razbijanje armirano-betonskog bloka u nekim slučajevima korišćen i laser, kao i da je potrebno obezbediti tlo kovačnice od sleganja, pored ostalog čine ovu rekonstrukciju neizvodljivom. Da bi se eliminisali ovi i ovakvi problemi uvode se nova konceptijska rešenja, koja eliminišu ove probleme.



SL.6 - Direktno postavljanje čekića

Ovaj sistem prvi put je bio predstavljen na 2 EMO u HANOVERU na čekićima firme LANGENSTEJN & SCHEMAN i BANING AG. Principijelna skica ovakvog konstrukcionog rešenja pokazana je na slici 6. Sistem je razvila fabrika GERB, sa težnjom da se eliminišu problemi vezani za postavljanje mašina - čekića na temelje velike mase kao i za postavljanje direktno na tlo.

Najveći problem koji je trebalo rešiti bio je vezan za nalaženje takvog konstruktivnog rešenja amortizera, kod koga amortizujuća svojstva ne zavise od temperature. Pošto je ovaj problem rešen, nudi se sistem koji u odnosu na klasične oblike izvođenja ima niz prednosti, ikod kojih sopstvena frekvencija amortizacije leži oko 4 Hz, dakle mnogo niže nego kod sistema koji su do tada bili poznati. Postignuto je visoko izolaciono dejstvo, obrnuto proporcionalno kvadratu frekvencije sopstvene elastičnosti. Kao što se sa sl.6. vidi, elastičnost i amortizacija su spojeni u jednom elementu, koji se u nekim slučajevima i ne ankeriše, već samo lepljivim pločama osigurava od pomeranja u horizontalnom pravcu. Dalje osiguranje čekića od horizontalnih pomeranja nije potrebno. Elementi se ne troše i nije potrebno posebno održavanje, a takode se eliminišu dodatna postrojenja, kao što su za sabijeni vazduh ili neki drugi fluid pod pritiskom.

Amplituda vibracija u ovom slučaju izračunava se preko izraza:

$$Aw = \frac{(1+k) m_0 Vo}{\sqrt{K_{wm}}} (5)$$

m_0 - masa padajućih delova

Vo - brzina padajućih delova u trenutku udara

k - koeficijent udara

K_w - ukupna krutost vibro-izolacije

m - masakoja opterećuje vibroizolatore

$$m = m\check{c} + m1$$

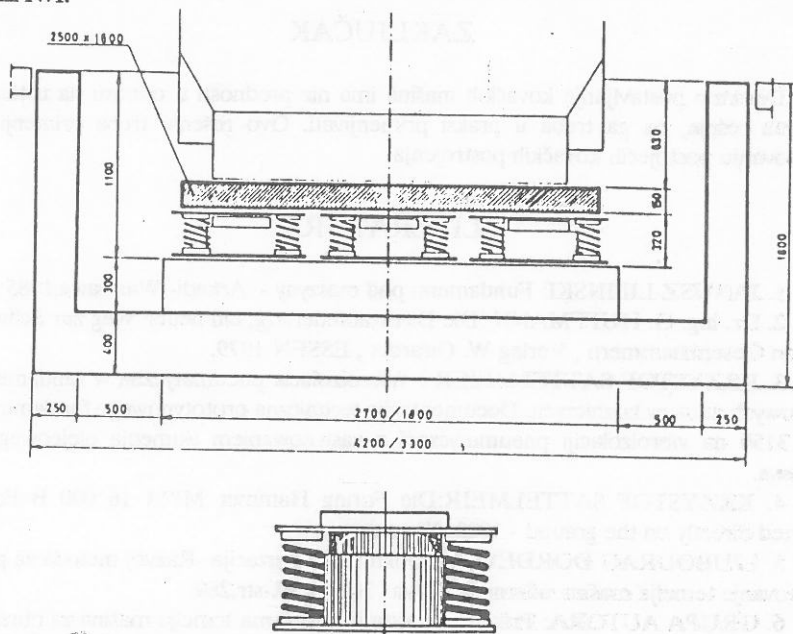
mč - masa čekića

m1 - masa postolja na kojem stoji čekić

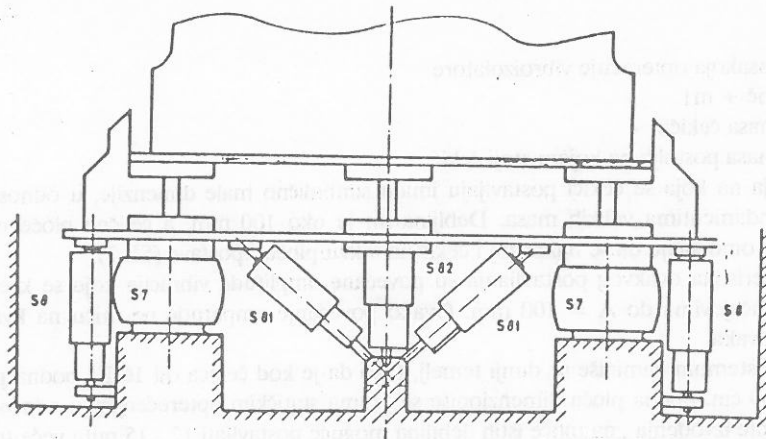
Postolja na koja se čekići postavljaju imaju simbolično male dimenzije, u odnosu na rećenja sa fundamentima velikih masa. Debljina im je oko 100 mm, a čelične ploče imaju dimenzije koje omogućuju da se nakovanj i čekić na takvu ploču i postave (SL.7).

Karakteristika ovakvog postavljanja su povećane amplitude vibracija koje se kreću u ekstremnim slučajevima do $A = 100$ mm. Ovakvo povećanje amplitude ne utiču na kvalitet izradjenih otkovaka.

Ovim sistemom eliminiše se donji temelj, tako da je kod čekića od 16 KJ podna ploča debela samo 60 cm. Podna ploča dimenzioniše se prema statičkim opterećenjima u odnosu na klasične varijante izvođenja, na ploče istih debljina moguće postavljati 12 - 15 puta veće težine čekića. Ako se upoređuje cena izvedenih postrojenja u jednoj i drugoj varijanti, direktno postavljanje smanjuje troškove izrade za preko 30 % (2). Ukupna cena može da konkuriše i ceni postavljanja čekića direktno na tlo sa temeljom bez opružnih elemenata. Potrebno je istaći istraživanja koja su sprovedena u Institutu BISTYP - WARSZAWA, od strane J. LIPINSKOG (1), K. SATTELMEIR-a (3 , 4), i drugih autora (5,6), na iznalaženju novih rešenja postavljanja čekića direktno na podlogu, uz korišćenje kombinovanih izolatora (opružni vibro izolatori i viskozni fluid), kao i vazdušni vibro izolatori u kombinaciji sa hidrauličnim amortizerima koji preuzimaju ulogu prigušivača (prva poznata instalacija u Poljskoj - WSK - SWIDNIK u toku 1991 godine). Na sl. 7 i sl.8 data su konstruktivna rešenja razvijena na istitutu BISTYP u WARSZAWI.



SL. 7 - Oslanjanje na opružno-viskozne amortizere



SL. 8 -Hidro - pneumatska
amortizacija

- s 7 - 18 kom. pneumatskih izolatora
- s 8 - 18 kom. uljnih amortizera
- s 81 - 4 kom. dupli uljni amortizeripod uglom 45
- s 82 - 2 kom. dupli uljni amortizeri pod uglom 45

Hidraulični amortizeri imaju ulogu prigušivača a postavljaju se pod uglom da bi se amortizovala horizontalna opterećenja i sprečilo "klaćenje čekića".

ZAKLJUČAK

Direktno postavljanje kovačkih mašina ima niz prednosti u odnosu na ustaljena konstruktivna rešnja, pa ga treba u praksi primenjivati. Ovo rešenje treba primenjivati i pri remontovanju postojećih kovačkih postrojenja.

LITERATURA

1. JANUSZ LIPINSKI: Fundamenti pod maszyny - Arkadi- Warszawa, 1985 -str. 686.
2. Dr. ing. G. HUFFMANN :Die Direktabfederung, ein neuer Weg zur Schwingisolierung von Gesenkhämmern , Verlag W. Girardet , ESSEN 1979.
3. KRZYSTOF SATTELMEIER : Wibroizolacja pneumatyczna w fundamentowaniu matrycowych młotow kuzniczych, Documentacija techniczna prototypowego fundamentu młota MPM 3150 na vibroizolacji pneumatycznej z zastosowaniem tlumienia olejeowego -1988.-Warszawa.
4. KRZYSTOF SATTELMEIER:Die Foring Hammer MPM 16 000 B Foundation supported directly on the ground - 1983 -Warszawa
5. LJUBODRAG ĐORĐEVIĆ : Doktorska disertacija -Razvoj metoda za proračun i projektovanje temelja mašina udarnog dejstva , NIŠ 1990.-str.289.
6. GRUPA AUTORA: Prilog razmatranju problema temelja mašina za obradu deformisanjem, 11. jugoslovenski simpozijum CIM u strategiji tehnološkog razvoja industrije prerade metala, str. 87 - 94, Kopaonik '92.

NOSEĆE STRUKTURE MAŠINA U TEHNOLOGIJAMA PLASTIČNOSTI OD KOMPOZITNIH MATERIJALA

Dr Dušanka M. Vukićević, van. prof. Mašinskog fakulteta Univerziteta u Nišu

1. UVOD

Poznati materijali u izradi nosećih struktura mašina u tehnologijama plastičnosti su do sada: sivi liv, čelični liv, nodularni liv i čelik. U ovom radu se pitanju iznalaženja mogućnosti upotrebe do sada neprimenjivanih materijala u izradi nosećih struktura posvećuje posebna pažnja, a koja je rezultat istraživanja na Katedri za proizvodno mašinstvo Mašinskog fakulteta u Nišu, proizašla iz celokupne i opšte problematike u vezi materijala i koja ukazuje na neophodnost permanentne aktivnosti u cilju unapredjenja proizvoda i proizvodnje s aspekta materijala.

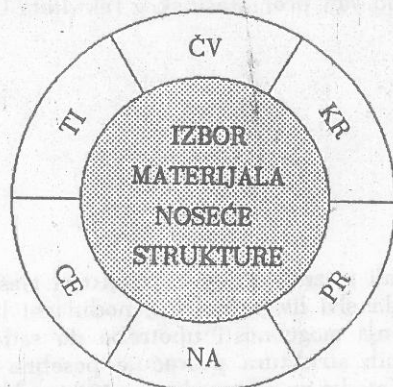
Pri postavljanju i rasmatranju problema izbora materijala noseće strukture pošlo se od toga, da:

- mašine za obradu materijala deformisanjem predstavljaju složen elastično-deformabilan sistem, od čije statičke i dinamičke stabilnosti zavisi ponašanje ovih mašina u radu, odnosno zavise tehničko-tehnološke performanse koje direktno određuju nivo njihove tačnosti u eksploataciji, i što sva dosadašnja istraživanja ukazuju da najveći uticaj na elastično-dinamičko ponašanje, pa time i ukupnu tačnost mašina imaju elastično-dinamičke karakteristike njihovih nosećih struktura;

- da u mašinogradnji u ceni proizvoda materijal učestvuje sa 60 i više procenata i da masa nosećih struktura ovih mašina, uglavnom, prevazilazi 50 % mase cele mašine;
- da statičko-dinamičko ponašanje ovih mašina zavisi - između ostalog (napr. konstruktivnog rešenja mašine i njenih elemenata) - i od vrste materijala, odnosno njegovih svojstava i
- da se izradom noseće strukture od kompozitnih materijala eliminiše ili izraženo smanjuje mašinska obrada.

Konačno, treba imati u vidu, da se u oblasti mašina za obradu rezanjem susreće primena betona i polimerbetona u izradi nosećih struktura, još 1966 godine u SAD, a sa većim ili manjim uspehom, od tada pa do danas, i u celom svetu (SSSR, Švajcarska, Kina, Madjarska), pa i u nas (UNIS).

Kao koncept pri rasmatranju i rešavanju pitanja izbora materijala za noseće strukture mašina u tehnologijama plastičnosti, identifikovani su i postavljeni globalni problemi, prikazani na slici 1., čije rešavanje bi trebalo da dovede do pozitivnih rezultata.



Slika 1. Shematski prikaz problema izbora materijala, gde su:
 ČV - čvrstoća; KR - krutost; PR - prigušenje; NA - nabavka; CE - cena i TI - tehnologija izrade.

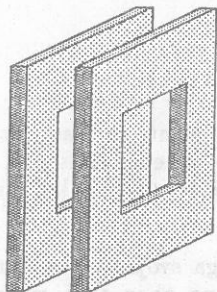
2. EKSPERIMENTALNA NOSEĆA STRUKTURA

Poznato je da su sve matematičko-mehaničke metode opisivanja statičko-dinamičkog ponašanja mašina, pa i njihove noseće strukture aproksimativne i nepouzdanе, iako baziraju na definisanim oblicima i dimenzijama elemenata, kao i na relativno pouzdanim mehaničkim svojstvima materijala od koga se izrađuju.

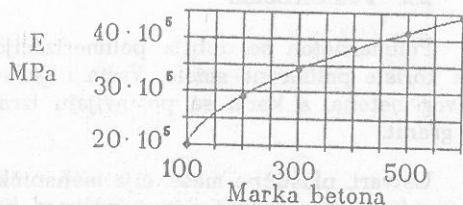
Radi toga je postavljen model zatvorene noseće strukture, tzv. čeli-

jastog tipa, prikazan shematski na slici 2., a koji treba da posluži u eksperimentalnim ispitivanjima.

S obzirom na opterećenja i karakter elastičnih deformacija noseće strukture izabranog modela, sa jedne strane, a sa druge svojstava armiranog i polimerbetona, očekuju se zadovoljavajući rezultati. Kao potvrda ovim očekivanjima, ističu se bitna svojstva ovih materijala, kao gradivnih u izradi nosećih struktura.



Slika 2. Eksperimentalni model noseće strukture.



Slika 3. Zavisnost modula elastičnosti od marke betona.

2.1. Armirani beton

Modul elastičnosti, kao bitan parametar od koga zavisi intenzitet elastičnog deformisanja noseće strukture pri opterećenju, zavisi od marke betona i kreće se u relativno širokim granicama, što se vidi iz dijagrama na slici 3., a to omogućuje kombinatoriku sa izborom marke betona. Ovde se ističe da su na postoljima mašina za obradu rezanjem postignute triputa veće krutosti kada su izradjena od armiranog betona u odnosu na postolja od livenog gvoždja.

Drugo veoma važno svojstvo je sposobnost prigušenja oscilacija, pa sa te strane je veoma pogodan armirani beton, jer ima petputa veće prigušenje od livenog gvoždja.

S obzirom na neophodnost komponovanja armirano betonske mase noseće strukture sa elementima od čelika i sivog liva (klizne staze, ležišta, itd.), ovaj problem se veoma lako i uspešno rešava vezivanjem ovih elemenata za armaturu pre izlivanja betona, a pošto su koeficijenti toplotnog širenja betona i čelika veoma bliski, slobodno se može reći identični, to se pitanje stabilnosti veze beton - čelični deo ne postavlja.

Pitanje zaštite životne sredine se u slučaju izrade noseće strukture od betona ne postavlja, ali je neophodno istaći da se ovom tehnologijom za-

menjuju tehnologije livenja i zavarivanja, kao tipični predstavnici "prljavih" tehnologija.

Pošto beton ne korodira, to nema potrebe za posebnom antikorozijskom zaštitom, koja je obavezna pri izradi čeličnih nosećih struktura.

Najzad, izradom betonskih nosećih struktura ušteda u čeličnom materijalu bi se kretala pri izradi mašina za obradu deformisanjem i do 80%, a cena ovakve noseće strukture u odnosu na noseću strukturu od livenog gvoždja bi bila $8 \div 10$ puta manja.

2.2. Polimerbeton

Polimerbeton se dobija polimerizacijom, pri čemu se kao vezivna materija koriste polimerne smole. Vrsta i granulacija kamena zavise od namene ovog betona, a kada se postavljaju izraženo oštri zahtevi koriste se kvarc i granit.

Ustvari, plastične mase, čija mehanička i duga svojstva čine široku lepezu, predstavljaju vezivni deo u polimer betonu, pa zbog toga polimerbeton poprima neka njihova svojstva.

Polimer beton se, uglavnom, primenjuje bez armature, a spajanje čeličnih delova se vrši njihoviom zalivanjem, odnosno zalivanjem njihovih nosećih elemenata.

Ovaj materijal se veoma uspešno može koristiti i za zalivanje šupljina u čeličnim konstrukcijama, čime se, sa jedne strane, povećava krutost čeličnog elementa, u konkretnom slučaju neke noseće strukture kutijastog tipa, a sa druge značajno povećava prigušenje oscilacija, jer polimerbeton ima visoka prigušujuća svojstva.

U tablici T-1. data su neka komparativna svojstva čelika i livenog gvoždja u odnosu na polimerbeton.

Tablica T-1. Svojstva čelika, sivog liva i polimerbetona

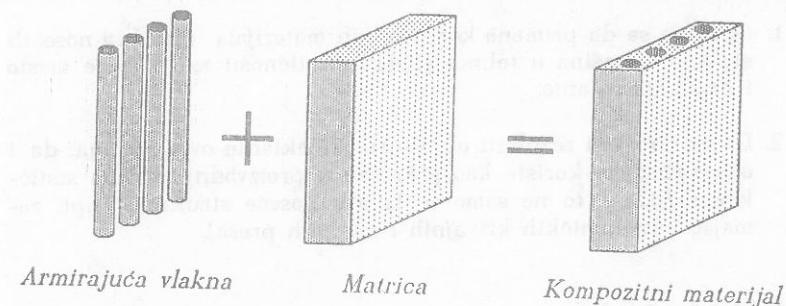
| Svojstva | Čelik | Sivi liv | Polimerbeton |
|----------------------------------|-------|----------|----------------|
| Modul elastičnosti 10^4 MPa | 210 | 105 | $30 \div 45$ |
| Specifična masa kg/dm^3 | 7,8 | 7,2 | $2,4 \div 4,3$ |
| Zatezna čvrstoća MPa | 400 | 200 | 100 |
| Pritisna čvrstoća MPa | | | 120 |

2.3. Vlaknasti kompozitni materijali

Pod vlaknastim kompozitnim materijalima podrazumevaju se jednosmerno armirani ovi materijali kratkim ili neprekidnim vlaknima, što je

prikazano shematski na slici 4. Armirana vlakna su od materijala visoke čvrstoće i viskog modula elastičnosti, a matricu karakterizira: dobra otpornost na smicanje, mala gustina i dobra obradivost. Dobijeni kompozitni materijal se odlikuje sledećim svojstvima:

- izraženo većom čvrstoćom od čvrstoće matrice;
- izraženo veći modul elastičnosti i
- gustina kompozita je identična gustini matrice ili je neznatno veća od nje.



Slika 4. Shematski prikaz dobijanja vlaknastog kompozitnog materijala.

U tablici T-2. da ta je zatezna čvrstoća raznih polimernih kompozitnih materijala ojačanih vlaknastim materijalima u poredjenju sa čelikom.

Tablica T-2. Zatezna čvrstoća kompozitnih materijala i čelika

| Materijal | Bez armature | Vlaknasta armatura | | |
|------------|--------------|--------------------|----------|-----------|
| | | Staklena | Grafitna | Borna |
| Epoksid | MPa | 35 ÷ 105 | 70 ÷ 140 | 140 ÷ 420 |
| Poliester | MPa | 14 ÷ 91 | 28 ÷ 70 | 210 ÷ 490 |
| Termoplast | MPa | 14 ÷ 120 | 35 ÷ 210 | - |
| Čelik | MPa | 200 ÷ 230 | - | - |

Iz svega iznetog o bitnim svojstvima ovih materijala može se zaključiti da odsustvo njihove primene u izradi nosećih struktura mašina za obradu deformisanjem proizlazi iz:

- nedovoljnog poznavanja svojstava ovih materijala od strane projektanata;
- opterećenosti tradicionalnim načinom proizvodnje u mašinstvu i
- odsustva ozbiljnijih istraživanja u ovoj oblasti.

Program istraživanja i ispitivanja predviđa u prvoj fazi iznalaženje intenziteta elastičnih deformacija modela, prikazanog na slici 2., noseće

strukture, zatim statičke i dinamičke krutosti, odnosno njegovog elastično-dinamičkog ponašanja pri opterećenjima po poznatim kritičnim zakonima mašina statičkog i periodičkog dejstva.

4. ZAKLJUČAK

Iz svega do sada iznetog u ovom radu mogu se izvući sledeći zaključci, i to:

1. Očekuje se da primena kompozitnih materijala u gradnji nosećih struktura mašina u tehnologijama plastičnosti nadje svoje mesto i puno opravdanje.
2. Da će dobijeni rezultati ohrabriti projektante ovih mašina, da i ove materijale koriste kao gradivne u proizvodnji mašina stičkog dejstva, i to ne samo za izradu noseće strukture (npr. zamajac u mehaničkih krivajnih i zavojnih presa).

L i t e r a t u r a

- /1/ R. Zgaga, Materijali u strojarstvu, Zbornik radova seminara "Nivo i tendencije u oblasti razvoja mašinogradnje", Igman, 1987.
- /2/ M. Šarenac, Materijali za izradu postolja alatnih mašina, Zbornik radova seminara "Nivo i tendencije u oblasti razvoja mašinogradnje", Igman, 1987.
- /3/ P. Popović, Mašine za obradu deformisanjem I deo, Univerzitet u Nišu, Niš, 1991.
- /4/ P. Popović, D. Temeljkovski, Mašine za obradu deformisanjem II deo, Univerzitet u Nišu, Niš, 1991.

D. Vukićević

BEARING STRUCTURES OF THE MACHINES IN THE PLASTICITY TECHNOLOGIES OF COMPOSITE MATERIALS

S u m m a r y

This paper discusses the question of using non-conventional materials in manufacturing bearing structures of the machines in the plasticity technologies. The basic principles are identified and the essential parameters of reinforced concrete and polimerconcrete are emphasized, that is, those which make them applicable in manufacturing of the gearing structures of the metal forming machines with static effect.

RAZVOJ NOVE METODE ZA MERENJE ZAOSTALIH NAPONA STVORENIH DEFORMACIONIM OJAČANJEM - HAPŠENJEM PRITISNO-ZAVOJNIH OPRUGA

Mr. Miodrag Milošević, dipl.ing. Viša tehnička škola,

Španskih boraca 8, 34000 Kragujevac

Dr Ilija Šijan, dipl.ing. FNP, ZASTAVA,

Španskih boraca 4, 34000 Kragujevac

Andrija Savčić, dipl.ing. Institut za automobile, ZASTAVA,

Španskih boraca 4, 34000 Kragujevac

1. UVOD

Pritisno-zavojne opruge, koje su predmet ovih istraživanja, ugrađuju se u konstrukcije ograničenih dimenzija i izložene su vrlo visokim dinamičkim naprezanjima. Da bi se povećala njihova dinamička čvrstoća opruge se površinski ojačavaju. Ojačanje se izvodi tako što se opruga sabija do naleganja navoja na navoj ili izdužuje iznad granice elastičnosti i drži u tom položaju 6 do 48 časova (hapšenje opruga). Pri tome se na spoljašnjim površinama preseka žice stvaraju plastične a u centralnom delu elastične deformacije. Posle rasterećenja središnji deo (elastično jezgro) teži da se vrati u prvobitni položaj čemu se spoljašnji slojevi koji su plastično deformisani suprotstavljaju. Zbog toga nastaje preraspodela napona i pojava polja zaostalih napona na pritisak na spoljašnjim površinama opruge.

Odnos veličine elastične i plastične zone utiče na stabilnost polja zaostalih napona u toku eksploatacije.

2. USLOVI ISPITIVANJA

Određivanje zaostalih napona izvedeno je na pet zavojno-pritisnih opruga (slika 1) iz programa FNP - Zastava u Kragujevcu. Opruge su izrađene od čelika Č 4230 prema sledećem ciklusu termičke obrade:

- a) predgrevanje na 450° C, vazdušno kupatilo, 60 minuta;

b) kaljenje na 860 °C, Gs 540 / R₂ , 10 minuta, hlađenje u A_s 140 na 180° C;

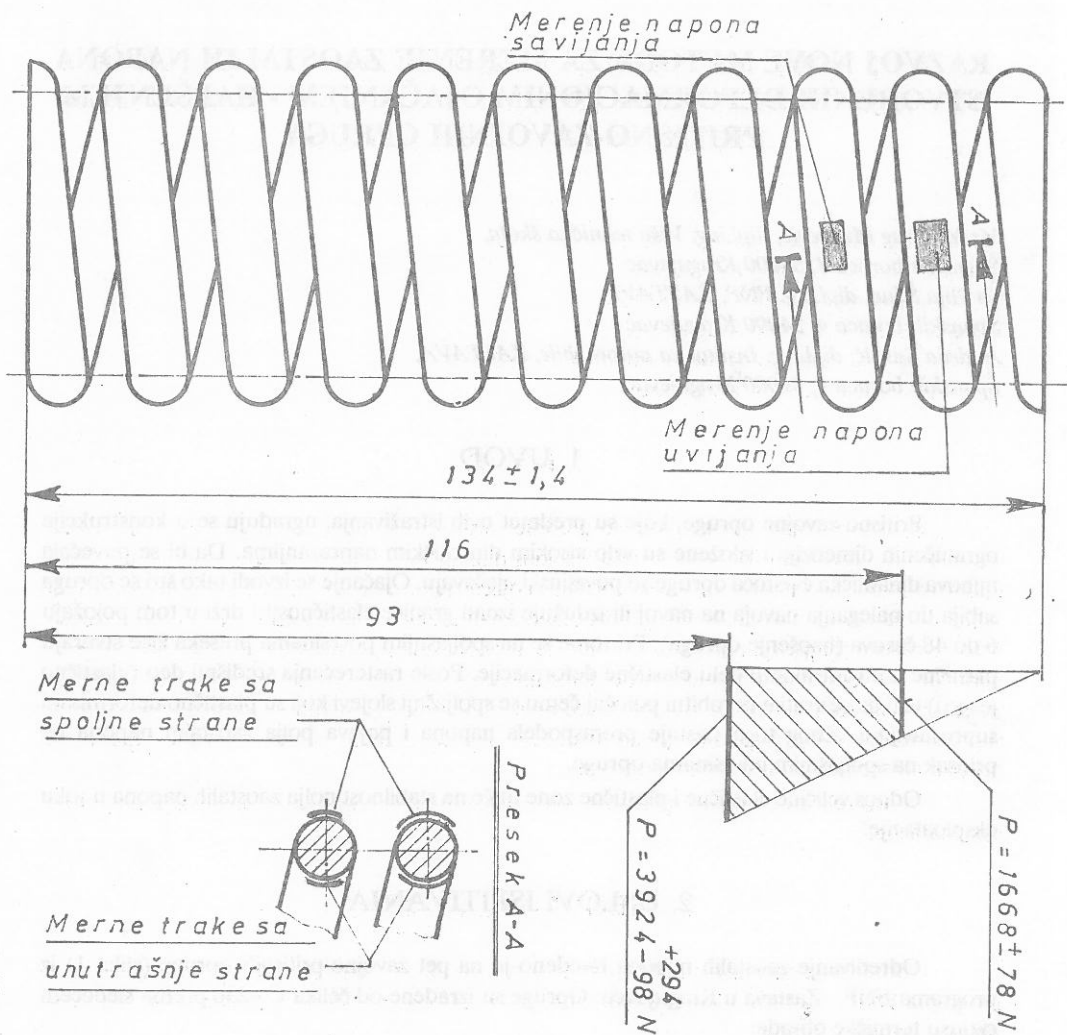
c) otpuštanje u nitratnom kupatilu, 60 minuta

- 480 °C, tvrdoća 44 - 46 HRC (opruge 1 i 2)

- 460 °C, tvrdoća 46 - 48 HRC (opruge 3 i 4)

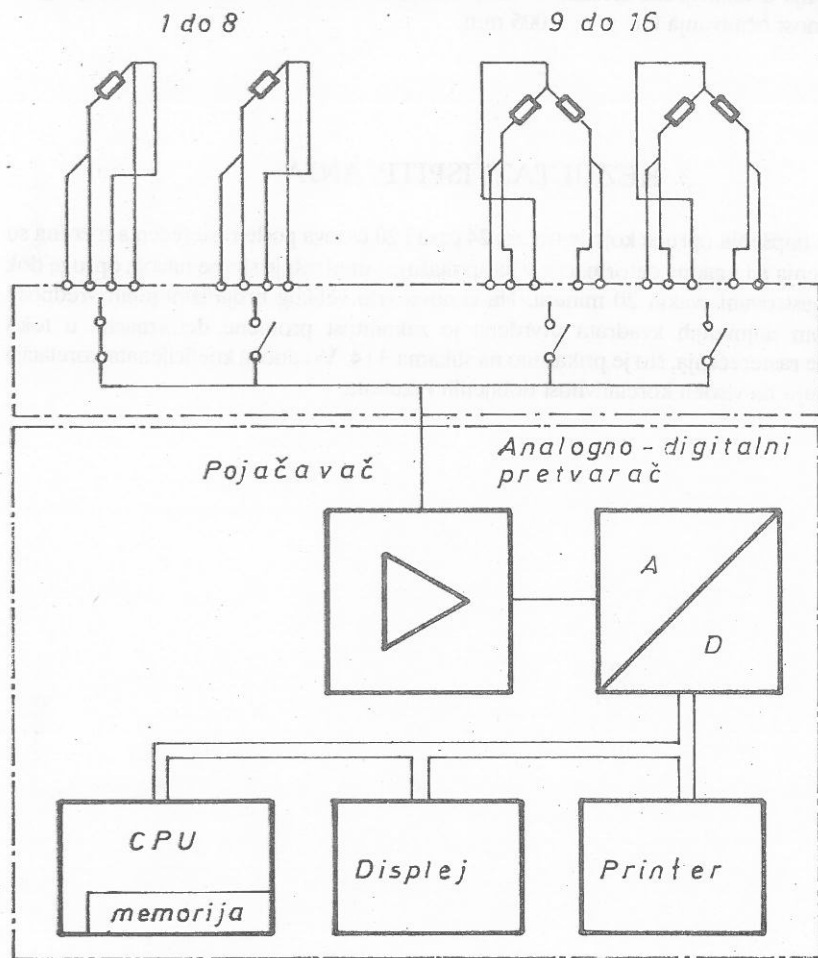
- 420 °C, tvrdoća 48 - 50 HRC (opruge 5.)

Za merenje naprezanja primenjene su merne trake firme HBM (HOTTINGER BALDWIN MESSTECHNIK), oznaka 6/120 LY 11 za napone savijanja i 3/120 XY 21 za napone na torziju (smicanje).



Sl.1 Pritisno-zavojna opruga sa rasporedom mernih mesta

Na oprugama 1,2,3 i 4 mereni su naponi na spoljašnjoj i unutrašnjoj strani a na opruzi 5 samo na spoljašnjoj strani navoja opruge. Merna mesta su prikazana na slici 1. Merna mesta za napone savijanja izvedena su u obliku 1/4 Vitstonovog mosta jedna aktivna merna traka, a kompenzacija mosta je ostvarena internim otpornikom u mernom uređaju. Usled ujednačenih temperaturnih uslova u toku eksperimenta, kao i samog principa rada uređaja (prošireno KREUZER-ovo kolo sa četvorožičnim priključenjem jedne aktivne trake), dobijaju se rezultati visoke tačnosti. Merna mesta za napone uvijanja izvedena su u obliku Vitstonovog polumosta dve aktivne merne trake. Registrovanje rezultata merenja vršena su preko višekanalnog mernog uređaja UPM 60 firme HBM, koji omogućava priključivanje do 60 mernih mesta (slika 2).



modul za priključivanje
davača sa preklopni-
kom za izbor mernih
mesta

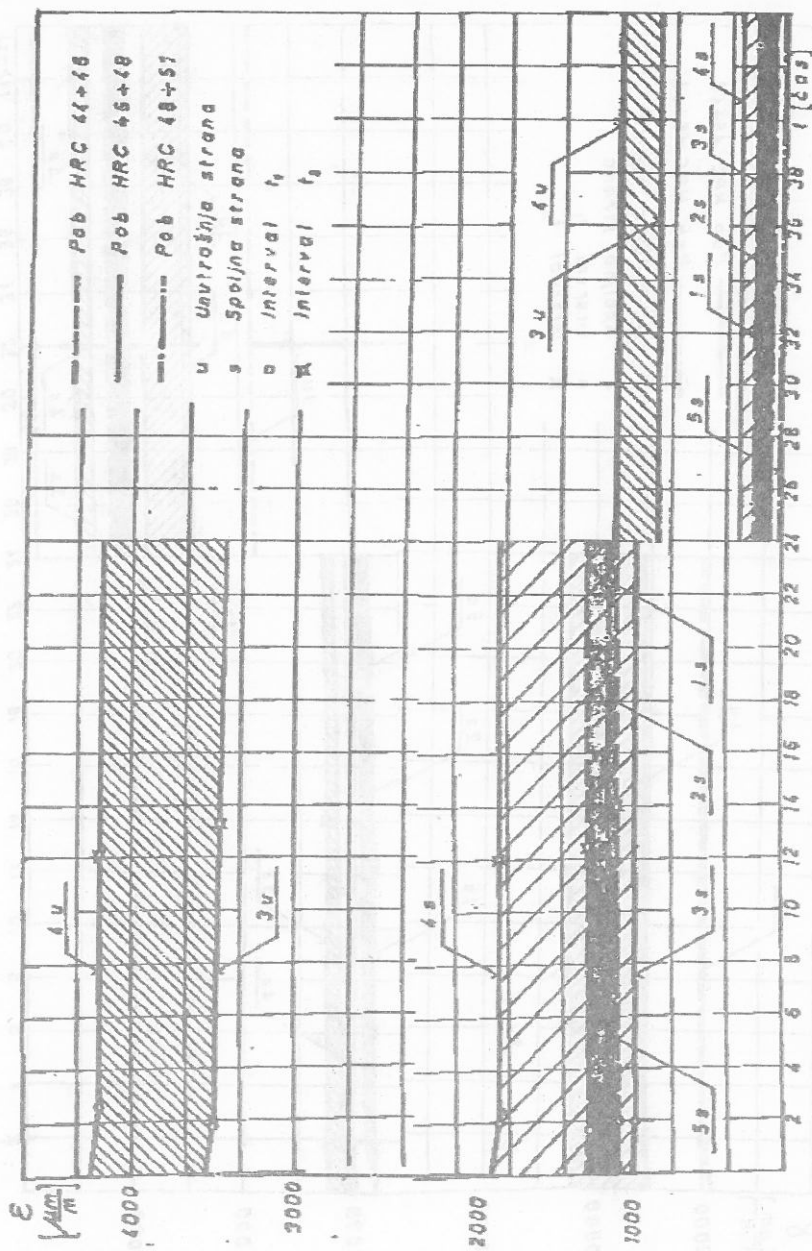
osnovna jedinica
UPM 60

Sl.2 Merni lanac za merenje relativnog izduženja ϵ i ugaone deformacije γ

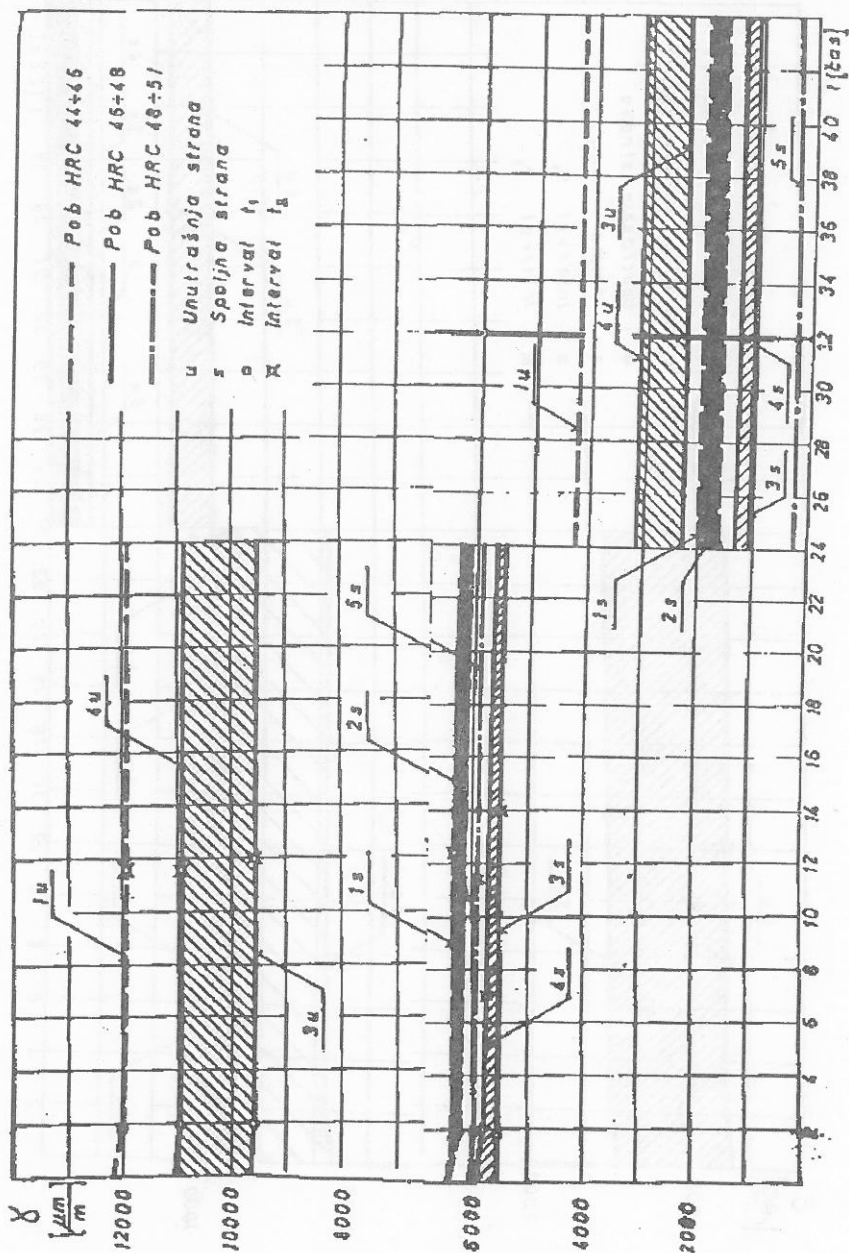
Opruge se postavljaju u specijalni pribor, vrši se balansiranje mernih kanala pri nultom opterećenju, a zatim se opterećuju do naleganja navoja na navoj. Za vreme deformacionog ojačanja, koje traje 24 časa, vrši se registrovanje merenih veličina - relativnog izduženja ϵ i ugaone deformacije γ . Posle rasterećenja blokiranih opruga tokom narednih 20 časova takođe se vrši registrovanje merenih veličina. Određivanje zaostalih napona grafo-analitičkom metodom Smirov-Aldajev vršeno je pomoću dijagrama smicanja koji se dobijaju mehaničkim ispitivanjem opružnog materijala Č 4230. Ispitivanja zatezanjem izvođeno je na epruvetama $\varnothing 10 \times 100$ koje su termički obrađene na isti način kao i opruge. Ispitivanje je izvođeno na kidalici Amseler SCBD od 30 t. Izduženja u funkciji sile merena su mehaničkim ekstenzometrom sa mernim opsegom od 4 mm a tačnost očitavanja bila je ± 0.005 mm.

3. REZULTATI ISPITIVANJA

U toku hapšenja opruge koje je trajalo 24 časa i 20 časova posle rasterećenja merena su relativna izduženja ϵ i ugaone deformacije γ sa spoljašnje i unutrašnje strane navoja opruge dok su rezultati registrovani svakih 20 minuta. Na osnovu vrlo velikog broja izmerenih vrednosti (132), metodom najmanjih kvadrata utvrđena je zakonitost promene deformacije u toku hapšenja i posle rasterećenja, što je prikazano na slikama 3 i 4. Vrednosti koeficijenta korelacije ($r > 0.9$) ukazuju na visoku korelativnost dobijenih rezultata.

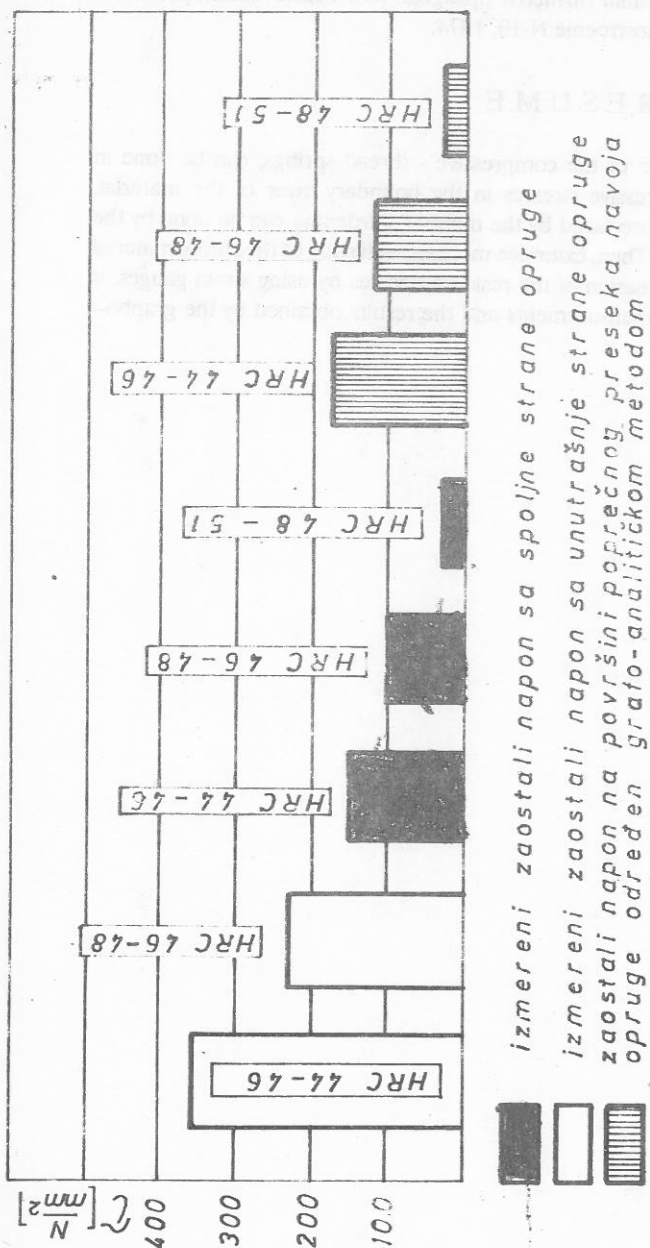


Sl. 3 Tok promene relativnog izduženja ε u toku deformacionog ojačanja i posle rasterećenja ispitivanih opruga



Sl. 4 Tok promene ugaone deformacije γ u toku deformacionog ojačanja i posle rasterećenja ispitivanih opruga

Na slici 5 uporedno su prikazani zaostali naponi dobijeni merenjem pomoću mernih traka i grafo-analitičkom metodom.



Sl. 5 Uporedne vrednosti zaostalih smicajnih napona dobijenih merenjem i grafo-analitičkom metodom

4. ZAKLJUČAK

Na osnovu rezultata ispitivanja može se zaključiti sledeće:

- Promene naponskog stanja u toku deformacionog ojačanja - hapšenja može se vrlo tačno pratiti predloženom metodom što pokazuju koeficijenti korelacije rezultata merenja;

- Zaostali naponi su mnogo veći sa unutrašnje strane nego sa spoljašnje strane navoja opruge;

- Sa povećanjem tvrdoće zaostali naponi se smanjuju;

- Veličine zaostalih napona, koje su dobijene grafo-analitičkom metodom odgovaraju zaostalim naponima sa spoljne strane navoja, a znatno su manji od zaostalih napona sa unutrašnje strane koji su dobijeni merenjem predloženom metodom pomoću mernih traka.

5. LITERATURA

(1) S.D. Ponomarev: K obosnovaniu razmerov uprugogo jdra v zanevolnntn pružinah, Izvestij visših učebnnt zavedenii - Mašinostroenie N-10, 1974.

RESUME

An increase of dynamic stiffness of the compressive - thread springs, can be done in different ways, causing residual compressive stresses in the boundary layer of the material. Determination of the residual stresses produced by the material hardening can be done by the Smirof-Adajev grapho-analytic method. Then, extensive mechanical testing of the spring material is necessary. A new method of determination of the residual stresses by using strain gauges, is presented in the paper. The results of measurements and the results obtained by the grapho-analytic method are compared.

UNIVERZITET U NOVOM SADU



FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA
INSTITUT ZA PROIZVODNO
MAŠINSTVO

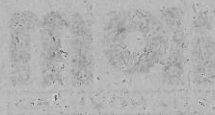
**24. SAVETOVANJE PROIZVODNOG
MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE**

Novi Sad, 16-18. septembar 1992

ZBORNİK RADOVA

SEKCIJA II

INSTITUTO AGRARIO
MARIANO



NOVE TEORIJSKE METODE POVEĆANJA POSTOJANOSTI REZNIH ALATA

Dr Vujo Gordić, Mašinski fakultet Kraljevo

Dr Vladimir Šolaja, Mašinski fakultet Beograd

Dr Dušan Vukelja, Mašinski fakultet Kragujevac

1. UVOD

Predstavljanje termodinamičkih procesa i stanja vektorskim putem, s jedne strane i njegovom primenom na model atoma, s druge strane, omogućilo je izvođenje jednačine termodinamičkog oscilatora. Iz termodinamičkog oscilatora dobijena je zakonomernost ponavljanja kritičnih temperatura na kojima rezni alat gubi svoju postojanost. Takođe, iz analize termodinamičkog oscilatora dolazi se do metode i načina uticanja na vezni materijal alata, a radi povećanja razmaka između dve susedne kritične temperature, što omogućava širi optimalni interval korišćenja reznih alata. Sem toga u radu se daje analiza pomenute jednačine, za praćenje transformacije dovedene količine energije u potencijalnu kinetičku. Značaj veličina potencijalne i kinetičke energije ogleda se u sledećem: potencijalna energija omogućuje razmicanje temperaturnog intervala između dve susedne kritične temperaturea kinetička energija ima zadatak da "troši" toplotnu energiju namehanički rad, za ubrzavanje spina elektrona. U toku procesa izrade alata, teorijski, izborom adekvatnog vezivnog materijala ili ako se termohemijskim metodama izvrši promena toplotnog kapaciteta, neadekvatnog vezivnog materijala, može se uticati na dobijanje optimalnog odnosa alat obradak vezano za habanje.

2. UVODNE NAPOMENE

Transformacija mehaničke energije u toplotu, u obradi metala rezanjem, dovodi do pojave visokih temperatura u zoni rezanja čije dejstvo nije jednoznačno. Pri obradi sa alatima od tvrdih metala, postojanost se povećava do neke granice, a zatim nastaje opadanje. Pri obradi sa drugim vrstama materijala alata takođe je bilo varijacija vezanih za postojanost. Bilo je stoga neophodno da se izučiti uticaj termičkih stanja na ponašanje alata. U odnosu na ranije izučavanje,

ovde se ovaj fenomen drugačije razmatra. Visina temperatura u zoni rezanja uzima se kao poznata / 3 /.

Pošlo se, pri tome, od najopštijeg slučaja jednačine stanja za bilo kakvo homogeno radno telo koje se definiše kao jednačina površine (termodinamička površina) u vidu

$$F(p, v, T) = 0, \quad (1)$$

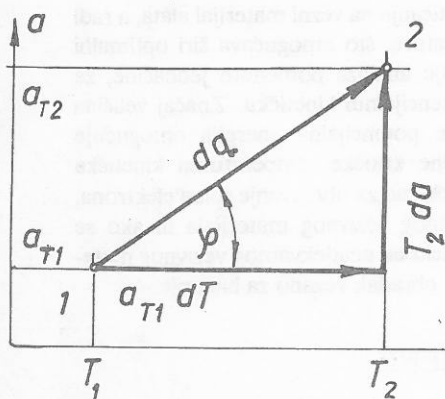
na kojoj svaka tačka, takozvana "figurativna tačka", odgovara određenom stanju radnog tela / 1 /.

Zajedno sa jednačinom (1) i orbitalnim modelom / 5,6 / (umesto molekularno kinetičkog), dobija se konzervativan rad, odnosno, mogućnost da se rad i toplotna energija izraze, umesto inegzaktim diferencijalom, egzaktim, čime se problem svodi na rešavanje diferencijalne jednačine. Nadalje, specifični toplotni kapacitet zavisi od temperature $a = f(T)$, a specifična količina toplote zavisi od specifične toplote i temperature: $q = f(a, T)$. Kako se radi o konzervativnom radu to se i količina toplote izražava egzaktim diferencijalom u obliku :

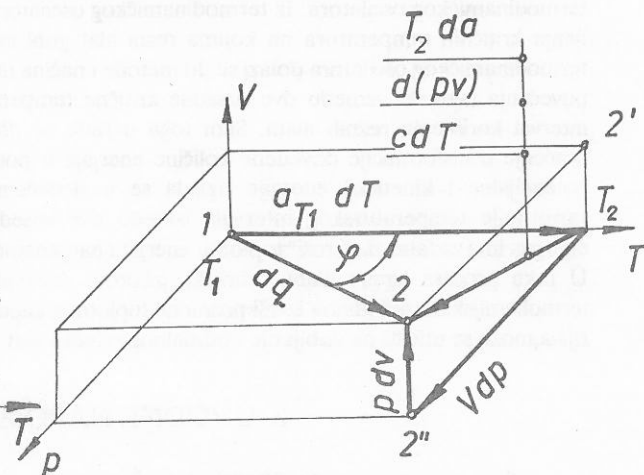
$$dq = d(aT) = a dT + T da \quad (2)$$

Grafički prikaz jednačine (2) dat je na sl.1. Sa ove slike se vidi da je jednačina (2) vektorska i ima oblik:

$$dq = d(\overrightarrow{aT}) = a_{T1} \overrightarrow{dT} + T_2 \overrightarrow{da} \quad (2a)$$



Sl.1. Grafički prikaz promene $dq = d(aT)$



Sl.2. Grafički prikaz prvog principa TD.

Slika (2) grafički prikazuje integralno jednačine (1) i (2).

Uvođenjem termodinamičkog ugla φ između vektora aT_1dT i dq , sl.1. i sl.2., ima za cilj uvođenje u korelaciju temperaturnih vektora sa zapreminskim vektorima preko relacije:

$$\operatorname{tg} \varphi = d(pv) / a_{T_1} dT \Rightarrow \varphi = \arctg d(pv) / a_{T_1} dT. \quad (3)$$

Iz slike (2) i jednačine (3) sledi izraz:

$$d(pv) = a_{T_1} dT \operatorname{tg} \varphi = cdT \quad (9)$$

$$c = a_{T_1} \operatorname{tg} \varphi \quad (9a)$$

Na osnovu jednačina (9) i slike 2 sledi relacija:

$$T_2 da = d(pv) = cdT \quad (10)$$

Uvodeći analogiju jednačinama (2) i (2a) jednačina (10) glasi:

$$T_2 \overrightarrow{da} = \overrightarrow{cdT} = \overrightarrow{d(pv)} = \overrightarrow{vdp} + \overrightarrow{pdv} \quad (11)$$

Iz trougla $22''T_2$, sl.2. vidimo da je hipotenuza $d(pv)$ isto što i cdT i $T_2 da$. Ako hipotenuzu cdT projektujemo na osu p dobijamo izraz $cpdT$, pa se izraz za cdT može pisati:

$$cdT = c_p dT + pdv, \quad (12)$$

$$\text{ili} \quad (cdT)^2 = (c_p dT)^2 + (pdv)^2$$

$$(12a)$$

odnosno:

$$\text{ili} \quad \sqrt{(c^2 - c_p^2)} dT = pdv,$$

$$c_v dT = pdv = Fdr = \gamma \frac{Mm}{r^2} dr. \quad (12b)$$

Iz jednačine (12b) izvedena je jednačina termodinamičkog oscilatora / 5 / a iz nje jednačina kvantne temperature:

$$\Delta T = \frac{1}{r_0} \cdot \frac{\gamma}{C_v} \cdot \frac{Mm}{M+m}. \quad (13)$$

3. UNUTRAŠNJA ENERGIJA I POTENCIJAL GRAVITACIONOG POLJA

Iz fizike gravitacionog polja poznato je da se pored jačine polja koja je vektorska veličina, javlja i jedna skalarna veličina koja se zove potencijal polja. U našem slučaju, kako se radi o orbitalnom sistemu, unutrašnja energija, sl.1. i 2. izaziva promenu potencijalne energije: $dq = T_2 da$, pa se na osnovu toga dovedena količina toplote može iskazati jednačinom:

$$\overrightarrow{dq} = \overrightarrow{dq_U} + \overrightarrow{dq_K} = a_{T_1} \overrightarrow{dT} + T_2 \overrightarrow{da} \quad (14)$$

Povezivanjem prethodno iznetih teorija sa postojanošću reznog alata u direktnoj je korelaciji sa prirodom vezivnog materijala [2,3,4,5,6], a njegov razmak između dve kritične temperature vezan je za jednačinu (13). Iz jednačine (13) vidimo da će DT biti veće ako je C_v manje, pa je otuda za postojanost reznog alata od posebnog ačaja specifični toplotni kapacitet $c = f(a)$, jednačina (9a). Jednom reči, razmak između dve kritične temperature definisan je unutrašnjom toplotnom energijom $dq_U = a T_1 dT$. Druga komponenta toplotne energije $dq_K = T_2 da$ predstavlja promenu potencijalne energije koja se "troši" na rad (spin elektrona plus rotacija oko centralne mase).

U obradi rezanjem proizvodi se toplotna energija dq i naš je interes da imamo rezni alat takvih osobina koji će moći da "savlada" čim veću vrednost dq . Sa slika 1. i 2. vidimo da je termodinamički ugao f , takođe od visokog značaja. Naime, rekli smo da je promena potencijala polja vezana za razmak dve susedne kritične temperature i u direktnoj je srazmeri sa C_v , jednačina (13), a C_v je u funkciji specifičnog toplotnog kapaciteta i, termodinamičkog ugla f , jednačina (9a). S druge strane. Znači, želimo alat takvih performansi koji će imati čim veći unutrašnji potencijal dq_U (veći razmak kritičnih temperatura) i što većeg "potrošača" toplotne energije dq_K (prevođenje toplotne energije u rad elektrona). Ova dva zahteva su u koliziji

U ovom trenutku tehničkog razvoja nauke, navedenim zahtevima najbolje odgovara rezni alat sa presvlakom, jer površinski sloj trpi visoku vrednost unutrašnje energije dq_U a relativno lako propušta količinu redukovane DT (smanjene) u jezgro alata gde se u povećanom obimu troši na dq_K a smanjenom na dq_U suprotno događanjima u površinskom sloju (zona presvlake).

SAŽETAK:

Postojanost reznog alata direktno je u korelaciji sa vezivnim materijalom. Teorijski, najbolji bi bio onaj vezivni materijal koji bi pokazao na sobnoj temperaturi najnižu vrednost toplotnog kapaciteta, a pri povišenim temperaturama dobije najveći prirast toplotnog kapaciteta, odnosno, dobije najveći termodinamički ugao.

ABSTRACT:

Cutting tool stability is in direct correlation with the binding material. Theoretically, the best one would be that binding material which would show at room temperature the lowest heat capacity value, while at increased temperatures would gain the greatest increase in heat capacity, respectively, would gain the greatest thermodynamic angle.

LITERATURA

1. Malić, D.: Termodinamika i termotehnika, Građevinska knjiga, Beograd, 1975.
2. Šolaja, V.: Prilog teoriji završne obrade na strugu, doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Beograd, 1972.
3. Vukelja, D.: Termodinamika rezanja, Monografija IAMA 2, Beograd, 1970.
4. Gordić, V.: Termodinamički i eksploatacijski aspekt alata za obradu metala rezanjem alatima dobijenim metalurgijom praha, doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Kragujevac, 1987.
5. Gordić, V.: Energija orbitalnih sistema, Naučna knjiga, Beograd, 1991.
6. Gordić, V., Šolaja, V., Vukelja, D.: Novi prilozi u prognozi veka trajanja reznog alata preko termalnih stanja, IV Naučno stručni skup, Novi Sad, 1990.

ISTRAŽIVANJA PROCESA NASTAJANJA STRUGOTINE PRI OBRADI NA GLODALICI

*P.Kovač, L. Šidanin, D. Milikić;
Fakultet tehničkih nauka Univerziteta u Novom Sadu,
Naučno-obrazovni Institut za proizvodno mašinstvo,
Vladimira Perića-Valtera 2, 21000 Novi Sad*

1. UVODNA RAZMATRANJA

Pretvaranje sloja materijala obradka uslovljenu dubinom rezanja d u strugotinu debljine h vrši se u prostoru koji obuhvata deo obradka u blizini reznog klina alata. Ovaj prostor predstavlja zonu rezanja, a njen položaj, oblik i granice utvrđuju se eksperimentalnim putem.....Opšti izgled zone rezanja prikazan je na slici 1. Usled dejstva reznog klina silom F i relativnom brzinom v , duž kontaktne dužine $1a$, na sloj materijala uslovljen dubinom rezanja d javljaju se u zoni rezanja naponi. Kao posledica napona u njoj javljaju se zone primarne i sekundarne deformacije /1,4,7/.

Uslovno u zoni čiju granicu predstavlja duž OB završava se proces plastične deformacije smicanja te tako deformisana zrna nastavljaju dalje kretanje brzinom V .

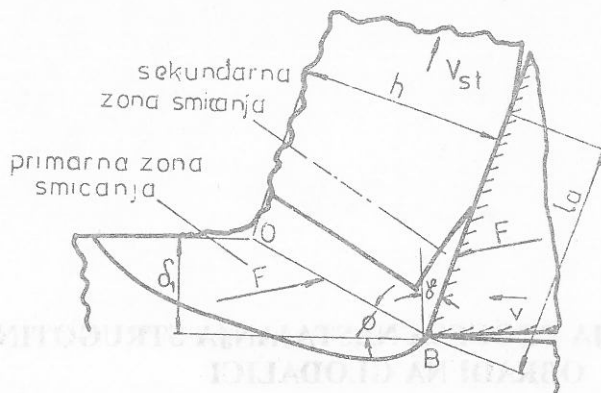
Kada je sila trenja na grudnoj površini reznog klina velika deformacija zrna se može nastaviti i posle prelaska ove granice OB. Usled toga se javlja kočioni sloj u zoni naknadne deformacije zrna. U ovoj zoni stepen plastične deformacije je čak 20 puta veći od deformacije zrna izvan nje.

Istraživanja u vezi pojave naslage na alatu su vršena u cilju upoznavanja oblika, veličine, uslova nastanka i uticaja na habanje i hrapavost obrađene površine.

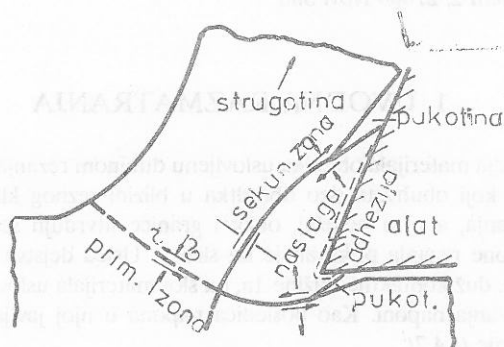
Nastajanje naslage može se objasniti kao posledica /5/:

1. adhezije na površini kontakta između obradka i alata
2. raspodele napona u strugotini (napon je niži u strugotini nego blizu granične površine)

Rezultati dobijeni pri brzom prekidu procesa obrade pokazali su da nastale naslage vrlo retko ostaju na alatu. Pored toga se mogu uočiti i pukotine koje nastaju na grudnoj i lednoj površini alata (sl.2.) /5/.



SI.1. Zone deformacije bez formiranja naslage



SI.2. Zone deformacije prilikom formiranja naslage

2. EKSPERIMENTALNA ISTRAŽIVANJA

Za dobijanje uzoraka korena strugotine, koji će poslužiti za istraživanje razvijena je posebna metoda brzog zaustavljanja procesa. To je vrlo jednostavna metoda koja bazira na lomu dela obradka usled unutrašnjeg napona u materijalu uzrokovanog silama rezanja. U tom cilju uzorci su pripremljeni tako, da kad se postigne odgovarajući odnos između brzine rezanja, pomaka i debljine sloja materijala, dolazi do loma na delu gde se nalazi koren strugotine.

| OBRADAK | C | Si | Mn | S | P | Cr | Cu | Ni |
|---------|------|------|------|-------|-------|-------|------|------|
| Č. 1730 | 0,65 | 0,22 | 0,72 | 0,029 | 0,014 | - | - | - |
| Č. 3990 | 0,16 | 0,05 | 1,18 | 0,27 | 0,01 | 0,167 | 0,38 | 0,10 |

Pripremljeni su uzorci od dva čelika čiji je hemijski sastav prikazan u tabeli 1. To su: čelik za poboljšanje Č.1730 u normalizovanom stanju i čelik za automate Č.3990. Treba naglasiti da su režimi rezanja u toku eksperimenta bili konstantni.

Pri obradi je kao alat korišćeno valjčasto čeono glodalo sa zavojnim zubima, ugla zavojnice $w = 20$, prečnika 63mm broja zuba $z = 8$. Obrada je vršena na vertikalnoj glodalici GVK-3P snage 14,5KW. Morfologija i karakterizacija mikrostrukture u korenu strugotine ispitivana je svetlosnim mikroskopom tipa Leitz i skenirg elektronskim mikroskopom (SEM) tipa JSM35 sa radnim naponom od 25 KV. Za primenu uzoraka je korišćena metodologija klasične metalografije.

Pri ispitivanju na SEM-u radi odstranjivanja efekta nabijanja elektrona i dobijanje jasnije slike sa izrazitim detaljima, uzorci su napravljeni zlatom u va-kuum naparivaču JEE4B pri vakumu od 1,33 - 25510 mbar-a i jačine struje od 26 A.

3. REZULTATI EKSPERIMENTALNIH ISTRAŽIVANJA I NJIHOVA ANALIZA

3.1. Parametri plastične deformacije strugotine

Parametri plastične deformacije strugotine određeni su na osnovu mikrofotografija uzoraka korena strugotine, dobijenim svetlosnim mikroskopom. Parametri neophodni za proračun prikazani su na slikama 3. i 4. i određeni su sledeći parametri:

- faktor sabijanja strugotine

$$\lambda = \frac{\cos(\phi - \gamma)}{\sin \phi}$$

-relativno klizanje

$$\varepsilon = \cos \frac{\gamma}{\sin \phi \cdot \cos(\phi - \gamma)} = \operatorname{ctg} \phi + \operatorname{tg}(\phi - \gamma)$$

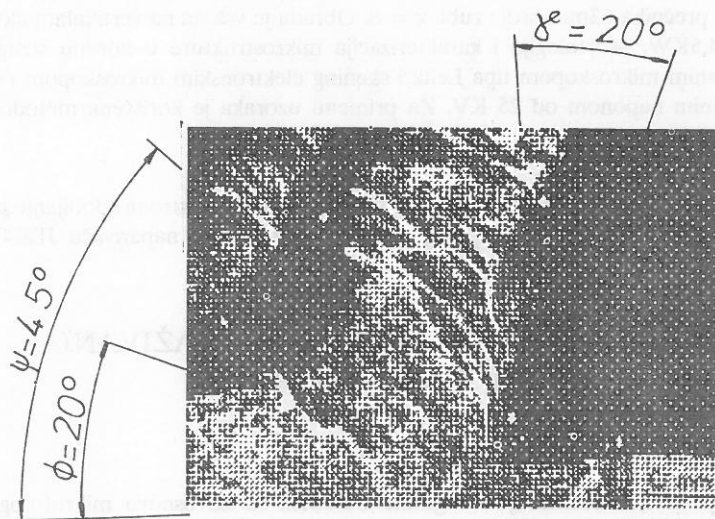
gde je:

γ - grudni ugao

ϕ - ugao ravni smicanja

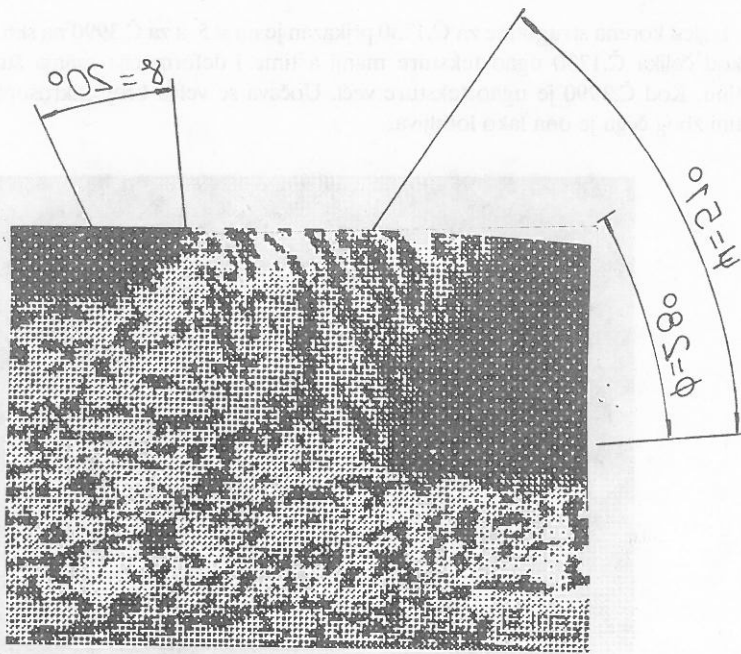
φ - ugao tekture zrna

$\lambda = 2,92$
 $V = 0,74 \text{ m/s}$
 $\lambda = 2,1 \quad e = 2,51$
 $S_z = 0,22 \text{ mm/t}$
 $e = 2,02 \quad f = 22$
 $\delta = 5,4 \text{ mm}$
 $\phi = 28^\circ$
 $\psi = 45^\circ$
 $\gamma = 20^\circ$
 $j = 51^\circ$



Sl.3. Mikroskopski snimak korena strugotine Č.1730

Na sl.3. i sl.4. se može uočiti da se linija teksture zrna nalazi pod uglom j , koji je veći od ugla smicanja f . Uz grudnu površinu alata povijanje linija teksture zrna je još veće usled naknadne plastične deformacije pod uticajem sila trenja.



Sl.4. Mikroskopski snimak korena strugotine Č.3990

3.2. Uticaj mikrostrukture na proces nastajanja strugotine

Detaljna analiza procesa nastajanja strugotine vršena je na skenirajućem elektronskom mikroskopu i uočen je uticaj sledećih parametara:

- diskontinuiteta u mikrostrukтури
- nastajanja mikrošupljina
- prslina u zoni rezanja
- stvaranja naslage u zoni rezanja.

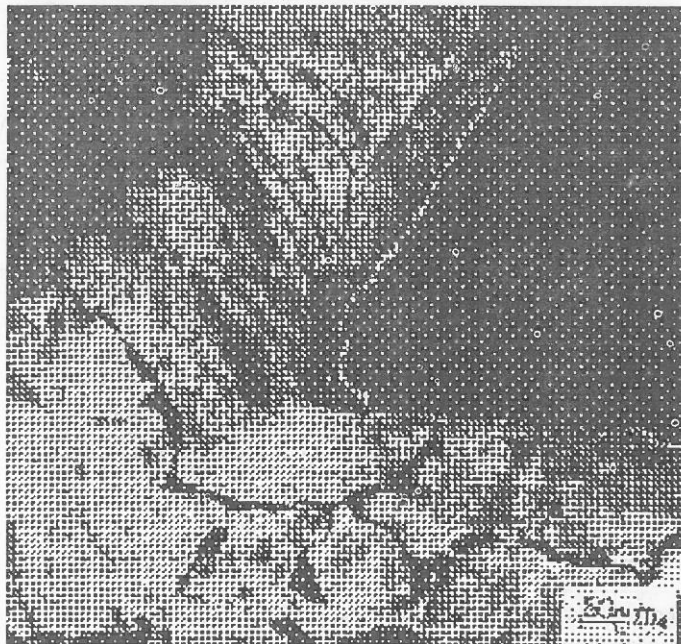
Za analizu uticaja ovih parametara na proces nastajanja strugotine korišćeni su dva čelika sa sledećim mikrostrukturnim karakteristikama:

- Č.1730 je ugljenični čelik sa 0,65%C, koji u mikrostrukтури zbog procenta ugljenika sadrži veći procenat perlita od slobodnog ferita što uslovljava veći udeo cementita (Fe C- karbid željeza). Pored perlita i slobodnog ferita prisutni su MnS nemetalni uključci sa količinom dozvoljenom za ovu vrstu čelika (po JK-skali ispod 3) - sl.3.

- Č.3990 je legirani čelik sa Mn za automate, sa povećanim sadržajem S od 0,27%. Mikrostruktura se sastoji od slobodnog ferita, gnezda perlita i povećane količine nemetalnih uključaka MnS (po JK-skali iznad 5) - sl.4.

Uticaj nemetalnih uključaka MnS na smicajnu nestabilnost je vrlo veliki. Taj uticaj se pre svega svodi na to da nemetalni uključci smanjuju noseću površinu koja se opire smicanju a možda još važnije je nastajanje koncentracije napona na graničnoj površini nemetalni uključak /metalna osnova.

Izgled korena strugotine za Č.1730 prikazan je na sl.5. a za Č.3990 na sl.6. Može se uočiti da je kod čelika Č.1730 ugao teksture manji a time i deformacija manja što daje trakastu strugotinu. Kod Č.3990 je ugao teksture veći. Uočava se veliki broj mikrošupljina i prslina u strugotini zbog čega je ona lako lomljiva.



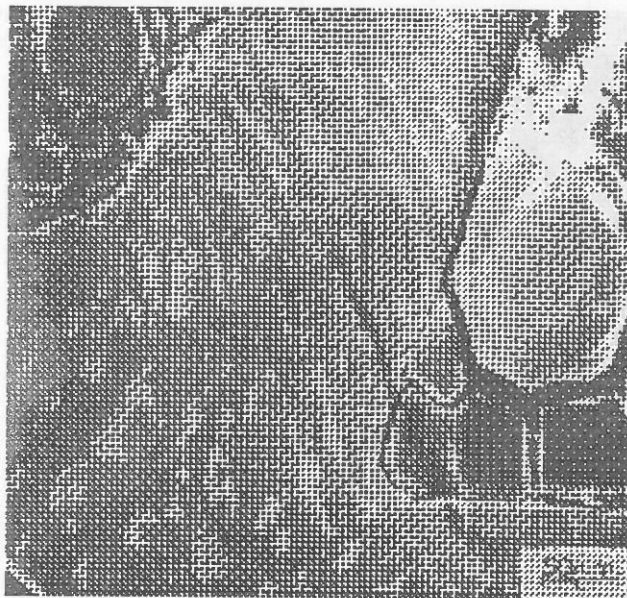
Sl.5. Koren strugotine Č.1730

Istraživanja ponašanja nemetalnih uključaka i metalne osnove pri različitim veličinama napona, pokazuje da u zavisnosti od oblika uključaka postoje dva mehanizma nastajanja mikrošupljina i mikroprslina.

Ako je uključak sferičan onda pod dejstvom napona na graničnoj površini dolazi do mehanizma dekohezije granične površine nemetalni uključak/metalna osnova tj. kidanje veza i pojave mikrošupljina sl.7. U daljem procesu iz mikrošupljine se razvija mikroprslina.

Koalescencija mikrošupljina i mikroprslina omogućava, smicajnu nestabilnost. Postoji međutim i mogućnost poništenja nastalih mikroprslina usled velikog dejstva pritisnih napona.

U slučaju da nemetalni uključak ima izduženi oblik tada pod dejstvom napona na graničnoj površini, prvo dejstvuje mehanizam loma nemetalnog uključka stvarajući više delova od tog uključka. Dalji proces se nastavlja mehanizmom dekohezije na isti način kao i kod sferičnih nemetalnih uključaka, sl.8. Nastajanje mikroprslina u zoni nastajanja strugotine su posledica velikih deformacija materijala i prisustva nemetalnih uključaka. Mikroprslina se mogu uočiti na obrađenoj površini, strugotini i naslagama.

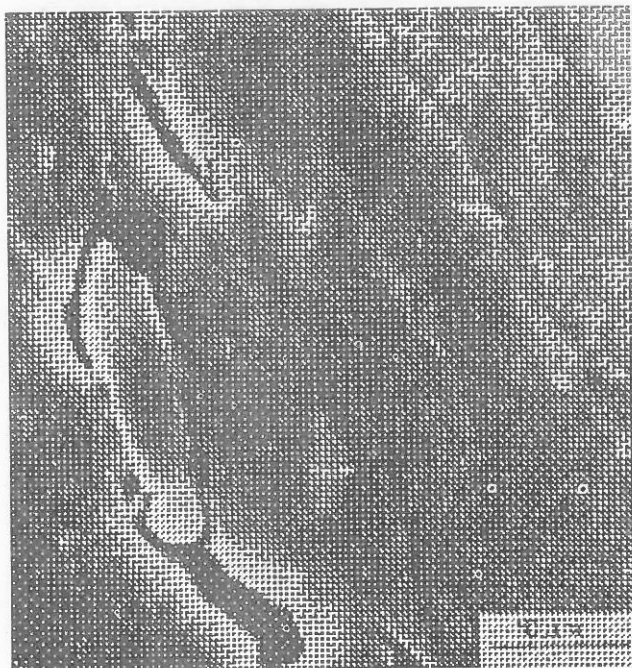


SI.6. Koren strugotine Č.3990

Analizirajući snimke korena strugotine sa naslagama može se konstatovati da je model formiranja naslage, gde se za objašnjenje fenomena naslage koristi samo mehanizam naslage je nedovoljno adekvatan.



SI.7. Sferični uključak,
mikrošupljina i ol-
rprslina



Sl. 8. Izduženi uključak i nastajanje mikroprrsline

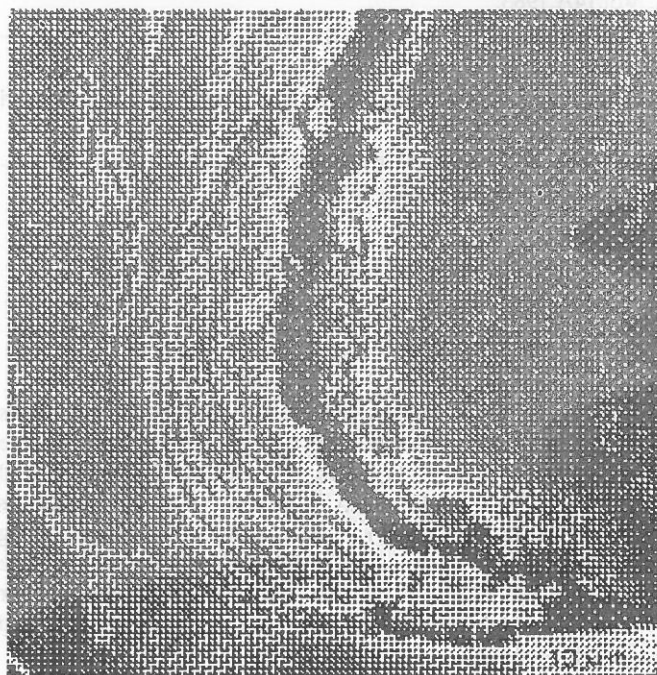
Na sl.5. i 6. se vidi da osim dejstva adhezije uz sam alat postoji iniciranje i širenje prsline ispred grudne površine i ispod ledne površine što ima značajan uticaj na formiranje i odvajanje krupnijih delova materijala. Grafički prikaz ovog modela je dat na sl.2.

Naslaga može preuzeti ulogu sečiva i usled njenog periodičnog odvajanja u obrađenoj površini može nastati udubljenje kako se to vidi na sl.5. i sl.6.

Na slikama 9. i 10. prikazane su naslage sa SEM pri velikom uvećanju. Vidi se da se naslaga sastoji iz osnovnog materijala koji je ispred vrha alata jako deformisan. Deo tog deformisanog sloja je još uvek vezan sa osnovnim materijalom a deo se već odvojio. Unutar naslage uočavaju se jako deformisani slojevi razdvojeni mikroprrslinama. Mikroprrsline se prostiru preko zrna ferita ili na graničnim površinama ferit/perlit. Usled visokih pritisaka i temperatura i smanjene površine kontakta neki slojevi su se naknadno spojili (Tj. zavarili). Treba naglasiti da se rezanje odnosno plastična deformacija u toku nastajanja strugotine vrši preko naslage te je sečivo u određenoj meri zaštićeno, što je opet povezano sa nekim mehanizmima habanja alata.



Sl. 9. Naslage Č. 1730



Sl.10. Naslage Č.3990

4. ZAKLJUČAK

Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti:

- Mikrostrukturni prilaz proučavanju plastične deformacije omogućuje određivanje parametara deformacije (ϵ i η) i zona deformacije prilikom nastajanja strugotine.
- Analiza uticaja vrste materijala obradka je ukazala da je veoma veliki uticaj mikroskrukture na proces nastajanja strugotine.
- Oblik, veličina i orijentacija nemetalnih uključaka imaju veliku ulogu u procesu plastične deformacije jer stvaraju uslove za koncentraciju napona, stvaranje mikrošupljina i mikroprslina koje olakšavaju proces nastajanja strugotine i njeno lomljenje.

LITERATURA

- /1/ Bao H., Stevenson M.G.: A Basic Mechanism for Built-up Edge Formation in Machining, Annals of the CIRP, Vol. 25/1/1976.
- /2/ Brown R.H., Luong H.S.: The Influence of Microstructure Discontinuities on Chip Formation, Annals of the CIRP, Vol.25/1/1976.
- /3/ Gvozdenac G.: Istraživanje procesa nastajanja strugotine pri bušenju i glodanju. Diplomski rad, FTN, IPM, Novi Sad, 1991.
- /4/ Hau-Bracamonte J.L., Wise M.L.H.: Austenitization of Steel during Chip Formation. Metallurgical Transactions A, Vol.14A, 1983.
- /5/ Kuzaki I., Kanji U.: The Significance of Dynamic Crack Behaviour in Chip Formation, Annals of the CIRP, Vol.25/1/1976.
- /6/ Skakun Ž.: Istraživanje procesa nastajanja strugotine. Diplomski rad, FTNIPM, Novi Sad, 1991.
- /7/ Wise M.L.H., Milović R.: Ranges of Application of Free Cutting Steels and Recommended tool materials, Materials Science and Technology, Vol.4, 1988.

INVESTIGATION OF CHIP FORMATION DURING MILLING

Summary

In analyses of the cutting process it has been assumed that a continuum mechanics approach may be adopted. This paper provides that the influence of discontinuities in the microstructure play an important role in cutting. Recent experimental results of micro-void formation in two materials are presented for machining test. The methodology adopted was based on the metallurgical approach to metal cutting, i.e. to correlate material behaviour during cutting with the underlying metallurgical phenomena occurring during chip formation. The employment of a quick-stop device rapid enough to "freeze" the cutting action was essential for analysing the microstructural changes that take place within the chip material and was used extensively for detailed metallurgical examination.

OBRAZOVANJE STRUGOTINE PRI MIKROREZANJU KERAMIKE

dr Ljubodrag Tanović, Mašinski fakultet - Beograd
Prof dr Milenko Jovičić, Mašinski fakultet - Beograd

Rezime

U radu su analizirane postojeće hipoteze o fazama formiranja strugotine kao i sopstvena hipoteza, do koje se došlo na osnovu velikog broja izvedenih eksperimenata procesa mikrorезanja rezne keramike. Velika pažnja se pridaje razvoju novonastalih prskotina od procesa mikrorезanja, kako bi se postigle što bolje karakteristike brušenog dela.

Abstract

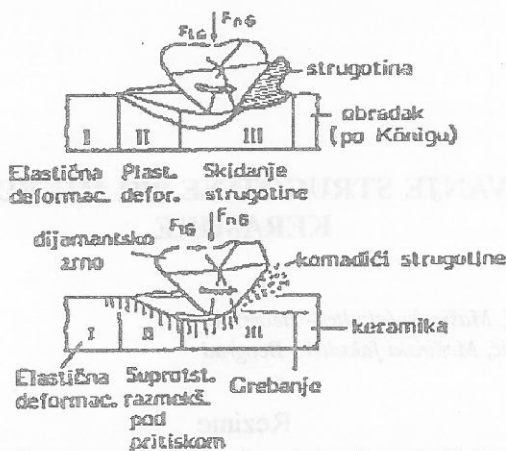
In this paper existing hypothesis are analyzed about phases in forming chips as well as own hypothesis, which is set up by a large number of realized experiments in the process of microcutting ceramics. Great attention is added to development of a newly created cracks in the process of microcutting in order to achieve the best characteristics of ground part.

ANALIZA POSTOJEĆIH HIPOTEZA

Keramički materijali zbog velike čvrstoće i krtosti, a takodje i njihove male toplotne provodnosti spadaju u teškoobradljive materijale. Procesi u zoni rezanja keramike do sada nisu potpuno objašnjeni, tako da se postavljene hipoteze o fazama formiranja strugotine međusobno razlikuju, a čak su i sporne:

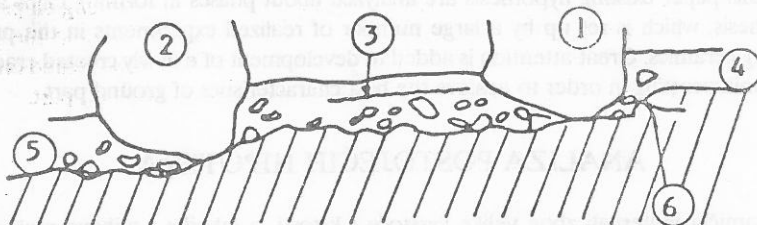
Salje E., i Mohlen H. [4 right], daju uporedan prikaz obrazovanja strugotine pri obradi metala i keramike. Po njima karakter habanja dijamantskog zrna i veziva daje osnovnu pretpostavku da pri obradi keramike proizilazi više gnječenje i "grebanje" površine nego li skidanje strugotine u klasičnom smislu (sl. 1.). Takav mehanizam obrazovanja strugotine uslovljen je velikom krtošću materijala. Po njima, kao i pri obradi metala, prodiranje dijamantskog zrna u keramici izvodi se u tri faze. Pri neznatnoj dubini prodiranja dijamantskog zrna ili

pri velikim površinama habanja zrna prevladavaju elastične deformacije. Odlučujuće, pri tome, je kontaktno naprezanje između zrna i materijala, pri kome je moguće obrazovanje strugotine. Kod HPSN keramike javlja se neravnomerno odlamanje (krzanje). Time se objašnjava, takodje, neznatna erozija veziva pri brušenju. Za razliku od HPSN, strugotina B C keramike ima oštre ivice što govori o uticaju materijala na formiranje strugotine.



Sl. 1. Uporedni prikaz obrazovanja strugotine pri obradi metala (a) i keramike (b) [4].

Inasaki I. [1], je upoređivao obradu krto i žilavog materijala dijamantskim zrnima i konstatovao, da se pri obradi krto materijala obrazuje tankodisperziona strugotina različitog oblika. Pojava tankodisperziona strugotine pri brušenju krto materijala se objašnjava obrazovanjem bočnih i koničnih prskotina, a pri tome debljina strugotine može biti veća od dubine rezanja (sl.2).



Sl.2. Model obrazovanja strugotine pri brušenju keramike [1]. (1 i 2-abrazivno zrno, 3-izlomljena strugotina obrazovana nakon prolaska po obradivanoj površini prethodnog zrna 4 - neobrađena površina, 5 - obrađena površina, 6 - obrazovane prskotine)

Hepworth, A.A. i Thompson R. [3], pretpostavljaju sličnost između mehanizma obrade (rezanjem) keramike i drugih materijala uključujući i teškoobradive legure titana i silicijuma.

Prins, J.F., smatra da u procesu obrade keramike preovladava krto odvajanje materijala pri istovremenoj pojavi elastičnih deformacija, krzanja pojedinih zrna, a takodje uspostavljanja prskotina i mikropcrskotina.

Thiel, N.W., ukazuje da samo u određenim slučajevima nastaje razaranje i krzanje keramičkih zrna, a pri pravilno upravljanoj procesu obrade preovladava krzanje zrna, što rezultira u dobijanju dobre topografije površine.

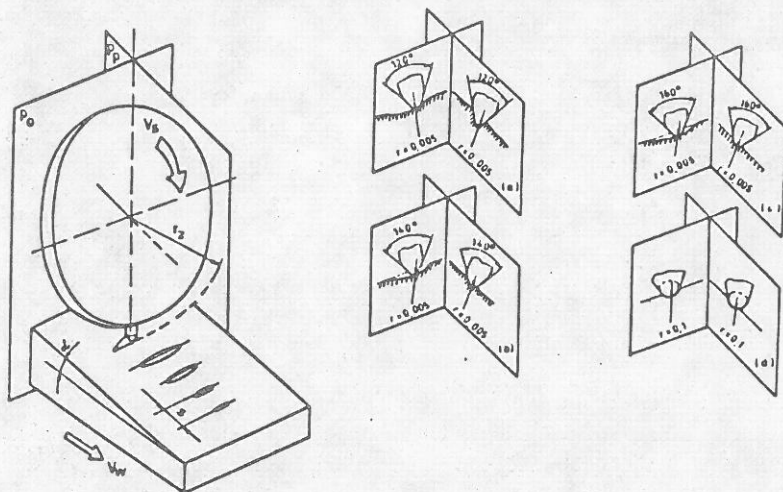
Pluta Z., polazi od toga da usled specifičnog pritiska dva pritisnuta tela dolazi do uspostavljanja naprezanja i deformacije koja obrazuje prskotine, uslovljavajući krzanje delova ili celih zrna keramike, što dovodi do krto razaranja.

Lemener A. [2], polazi od toga da keramički materijali zbog njihove velike tvrdoće i krтости spadaju u teškoobradljive materijale i da su procesi u zoni rezanja još uvek potpuno nejasni. Po njemu se model formiranja strugotine zasniva na tome, da se keramika usled povišenih temperatura u zoni rezanja omekšava, pa time i plastično deformiše i zato se kao i drugi materijali dobro obrađuje rezanjem.

Radi što kompleksnijeg izučavanja procesa u zoni kontakta abrazivno zrno - keramika izveden je eksperiment mikrorezanja keramike.

MIKROREZANJE KERAMIKE

Proces mikrorezanja je izvodjen na keramičkim reznim pločicama koje su postavljene pod uglom nagiba u odnosu na poprečno pomeranje stola (sl.3.). Dijamantsko zrno je kruto učvršćeno na dijamantski disk od legure Al na rastojanju od ose 100 mm, a nasuprot njemu je postavljen protivuteg radi balansiranja. Ispitivane su tri vrste keramika: oksidna (Al_2O_3 - CM332), oksidno - karbidna (V3,VOK 60) i nitridna (Silinit R) sa svojstvima datim u tablici 1.



Sl. 3. Šema eksperimenta procesa mikrorezanja ($V_s = 15 - 28$ m/s, $V_w = 1,4$ m/min)

Razaranje keramike pri njenoj obradi ima krto karakter, to jest, krto razaranje kristalnih faza keramike u ukupnosti se ostvaruje razdvajanjem po pojedinim kristalografskim ravnima. Granica čvrstoće keramike zavisi od verovatnoće nalaženja u obratku prskotina pogodnih za nastanak razaranja pri datoj veličini naprežanja.

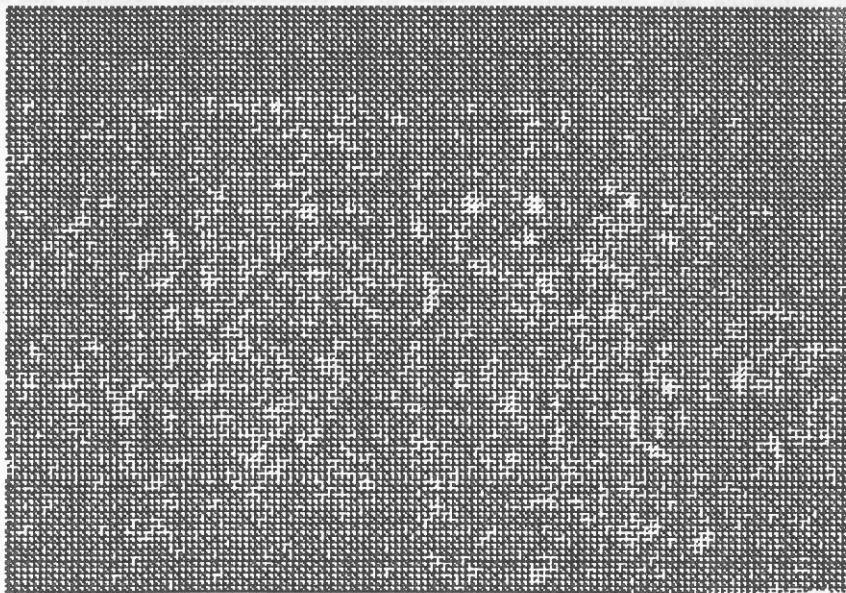
Analizom tragova mikrorezanja (sl.4.) moguće je sve nastale prskotine klasifikovati na: prodorne, radijalne (upravne zavisi od površinu i trag) i bočne (sl.5.). Ispod obrazovanog kanala nalazi se zona deformacija koja ima poluokrugli poprečni presek.

| marka rezne keramike | svojstva gustina 10^3 kg/m^3 | tvrdnoća HRA | čvrstoća na savijanje MPa | Koeficijent termičkog širenja 10^{-6} K^{-1} |
|-------------------------|--|-----------------|---------------------------------|--|
| CM332 | 3,85 | 91 | 3,0 - 3,5 | 7,9 - 8,2 |
| V3 | 4,50 | 92 - 94 | 5,5 - 6,0 | 6,0 - 6,1 |
| VOK 60 | 4,2 - 4,3 | 92 - 94 | 6,0 - 7,0 | 6,0 - 6,2 |
| Silinit R | 3,8 - 4,0 | 94 - 96 | 5,0 - 7,0 | 2,7 - 3,0 |

Tablica 1. Fizičko-mehanička svojstva obradivane rezne keramike

Nadalje, razlikuju se tri vida razaranja površinskog sloja:

a) Keramička zrna se režu, krzaju ili drobe, a pri tome dimenzije produkata drobljenja su veličine delova mikrometara,



Sl. 4. Trag nastao pri mikrorezanju keramike V3 ($2\alpha = 120^\circ$, $V_s = 15 \text{ m/s}$)

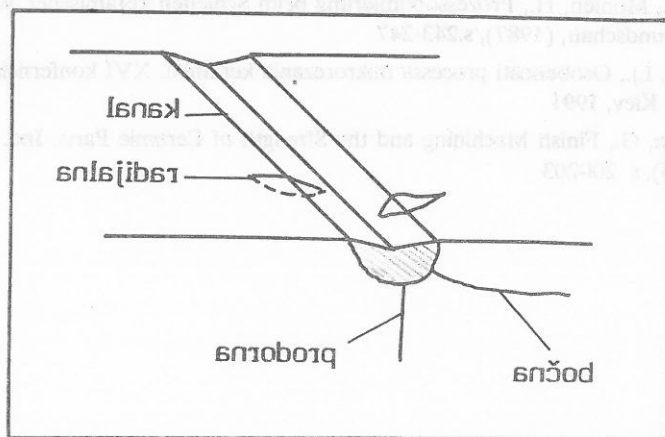
b) Nastaje izvaljivanje kristala obradivanog materijala uz konstataciju da što je više kristalne faze u strukturi materijala, time proces izvaljivanja ide intenzivnije,

c) Nastaje izvaljivanje iz veziva grupe kristala. Ovo je najnepovoljniji vid razaranja sa tačke gledišta dobijanja kvalitetne površine.

Na osnovu izvedenih ispitivanja može se konstatovati: Pri manjim dubinama rezanja nastaje trag od dijamantskog zrna koji uslovljava nastanak elastičnih, a potom plastičnih deformacija praćenih pojavom bočnih, radijalnih i prodornih prskotina manjih dimenzija. Povećanjem dubine prodiranja dijamantskog zrna dolazi do uvećanja prskotina koje se potom sjedinjavaju i uslovljavaju odlamanje materijala sa obradivane površine u vidu blokova. U ovom području uočeno je krzanje, drobljenje i izvaljivanje celih zrna keramike uslovljavajući neravnomerno krzanje duž kanala formiranog od dijamantskog zrna. Treba naglasiti da se jasno uočava područje plastičnog deformisanja praćeno pojavom prskotina i područje u kome dolazi do izvaljivanja materijala u vidu blokova. Na ispitivanim uzorcima, pri datim uslovima obrade, granična dubina prodiranja (razdvajanje navedenih područja) je varirala u intervalu 4-10 μm .

Prisustvo defekata na spoljašnjoj površini ili unutar dela može usloviti razaranje (lom) keramičkog dela. Kritična dužina prskotine ima red veličine prečnika zrna u strukturi, to jest od nekoliko mikrometara do nekoliko stotih delova mikrometra.

Naprezanje koje deluje upravno na pravac obrade, to jest pod pravim uglom u odnosu na prodorne prskotine je verovatan uzrok razaranja. S toga posebnu pažnju treba obratiti pri gruboj obradi keramičkih delova, to jest, treba izbegavati uslove obrade koji bi doveli do pojave većih prskotina unutar materijala. Saglasno Allouru A., brušenje u neadekvatnom pravcu može izazvati sniženje mehaničke čvrstoće dela i do 30%, a na račun nastalih prskotina [6].



Sl.5. Obrazovanje prskotina pri mikrorezanju keramike

ZAKLJUČAK

Analizirane su hipoteze nekih autora o fazama formiranja strugotine, kao i hipoteza do koje se došlo na osnovu velikog broja izvedenih eksperimenata procesa mikrorezanja rezne keramike.

Granična dubina prodiranja u intervalu 4-10 μ m može poslužiti kao jedan od parametara optimizacije procesa brušenja.

Treba naglasiti da se uspešna primena keramičkih delova dobija pri uslovu, kada se obrada tih delova ostvaruje od strane specijalista za keramiku, jer danas nema brzih, prostih i kvalitetnih metoda nerazarajuće kontrole koje bi ukazale na podpovršinske prskotine koje utiču na čvrstoću dela.

LITERATURA

/1/ Inasaki, I., Grinding of Hard and Brittle Materials, Ann. of CIRP, V. 36/2 (1987) s. 463-471

/2/ A., Oberflächentopographische und Festigkeit von Keramik nach der Schleifbearbeitung, Industrie Diamanten Rundschau, 23,2 (1989), s. 96-101.

/3/ Pluta, Z., Kacalak, W., Mikroskopische Untersuchung von Diamantkorn - Spanspuren auf Aluminiumoxid-Keramik, Industrie Diamanten Rundschau, vol.3., (1983), s.124-130.

/4/ Salje, E., Mohlen, H., Prozessoptimierung beim Schleifen keramischer Werkstoffe, Ind. Diamanten Rundschau, (1987), s.243-247

/5/ Tanović, Lj., Osobenosti processa mikrorezanja keramiki, XVI konferencija molodih učenih, Saopštenje, Kiev, 1991

/6/ Wilmann, G., Finish Machining and the Strength of Ceramic Parts, Ind. Diamond Review, 509 (1985), s. 201-203

PRIMENA NOVIH MATERIJALA PRI OBRADI TEŠKOOBRADLJIVIH METALA I LEGURA

*Dr Milenko Jovičić, dipl.inž.
Mašinski fakultet u Beogradu*

Rezime

Die spannende Bearbeitung von schwerzerspanbaren Werkstoffen (Cr- Ni Stähle, Ni-und Co- Legierungen) mit HSS-Werkzeugen und Hartmetalle ist nur bei niedrigen Schnittgeschwindigkeiten möglich.

In der Arbeit wird über das Zerspanen von schwerzerspanbaren Werkstoffe mit der Werkzeugen aus verbesserten und neuen Scheidwerkstoffe (beschichteten HSS-Werkzeuge, Schneidkeramik und PKB-Werkzeugen) berichtet.

1. UVOD

Najbitnija istraživanja obradljivosti pri obradi rezanjem teškoobradljivih materijala u industrijski razvijenim zemljama Istoka i Zapada izvođena su od početka šezdesetih do kraja sedamdesetih godina. Međutim problemi povećanja efikasnosti obrade rezanjem ovih materijala su i danas vrlo čest predmet istraživanja, s obzirom na stalno usavršavanje postojećih i razvoj novih materijala za rezne alate.

U radu se prikazuju neki primeri povećanja efikasnosti obrade visoko legiranih Cr-Ni čelika, Ni i Co legura (kao najčešće korišćenih teškoobradljivih materijala) primenom novih i poboljšanih materijala za rezne alate. Rad je inače deo šire publikacije, koja je u pripremi na Mašinskom fakultetu u Beogradu (Institut za proizvodno mašinstvo i kompjuterski integrisanu tehnologiju) pod naslovom "Obrada rezanjem teškoobradljivih metala i legura".

2. OSOBENOSTI TEŠKOBRADLJIVIH METALA I LEGURA I OSNOVNI ZAHTEVI U ODNOSU NA REZNE ALATE

2.1 Karakteristike teškoobradljivih metala i legura i razlozi za njihovu lošu obradljivost rezanjem

Najvažnije karakteristike teškoobradljivih metala i legura i pojave pri rezanju, koje prouzrokuju njihovu lošu obradljivost su sledeći /2, 4, 5, 6/:

(1) Usled izražene vatrootpornosti materijal obratka zadržava visoku čvrstoću i tvrdoću pri rezanju (tj. ne dolazi do omekšanja materijala pod dejstvom temperature rezanja, već se u nekim slučajevima pojavljuje i efekat ojačavanja materijala), što prouzrokuje velike vrednosti otpora rezanja i jako mehaničko opterećenje alata.

(2) U zoni rezanja se javlja visoka temperatura kao posledica utroška rada za plastično deformisanje materijala, intenzivnog trenja između radnih površina alata i materijala obratka i veoma loše toplotne provodljivosti ovih materijala (npr. kod austenitnih Cr-Ni čelika, Ni i Co-legura koeficijent toplotne provodljivosti je od 10-15 W/mK, što je za 3-5 puta manje no kod konstrukcijskih čelika).

(3) veoma je izraženo abrazivno dejstvo materijala obratka (uticaj tvrdih karbida i intermetalnih faza), usled čega nastaje intenzivno abrazivno habanje alata.

(4) Usled velike plastičnosti materijala obratka izražena je pojava formiranja naslage i zavarivanja delića strugotine na grudnoj površini i sečivu alata, radi čega se javlja intenzivno adhezivno habanje i krzanje materijala alata pri odvajanju naslage i zavarene strugotine.

(5) Pojava ojačavanja materijala u zoni rezanja i periodično stvaranje i odvajanje naslage prouzrokuju neravnomernosti u procesu rezanja i promene otpora rezanja, što prouzrokuje nastanak vibracija, dinamičko opterećenje i pojavu zamora materijala alata.

Veliko mehaničko i termičko opterećenje alata, intenzivno abrazivno i adhezivno habanje i krzanje prouzrokuju brzo zatupljenje i malu postojanost alata. To uslovljava potrebu izvođenja obrade ovih materijala pri maloj brzini rezanja, radi čega su niska proizvodnost i veliki troškovi obrade.

2.2 Osnovne karakteristike materijala alata za obradu teškoobradljivih materijala

Usled visoke temperature rezanja i jakog mehaničkog opterećenja alata, materijal alata za obradu visokolegiranih Cr-Ni čelika, Ni i Co-legura treba da poseduje sledeća svojstva: visoku toplotnu otpornost i otpornost na habanje, dobru žilavost i čvrstoću sečva, dobru toplotnu provodljivost i druga svojstva.

Radi ovih zahteva, kao materijali alata za obradu pomenutih materijala najčešće se primenjuju: brzorezni čelici sa povećanim sadržajem legirajućih elemenata (posebno kobalta) i tvrdi metali grupe K.

Takođe i novi alatni materijali poboljšanih karakteristika (posebno povećane tvrdoće i žilavosti) poslednjih godina se sa uspehom primenjuju kod obrade teškoobradljivih metala i legura. To se posebno odnosi na brzorezne čelike dobijene postupkom metalurgije praha i rezne

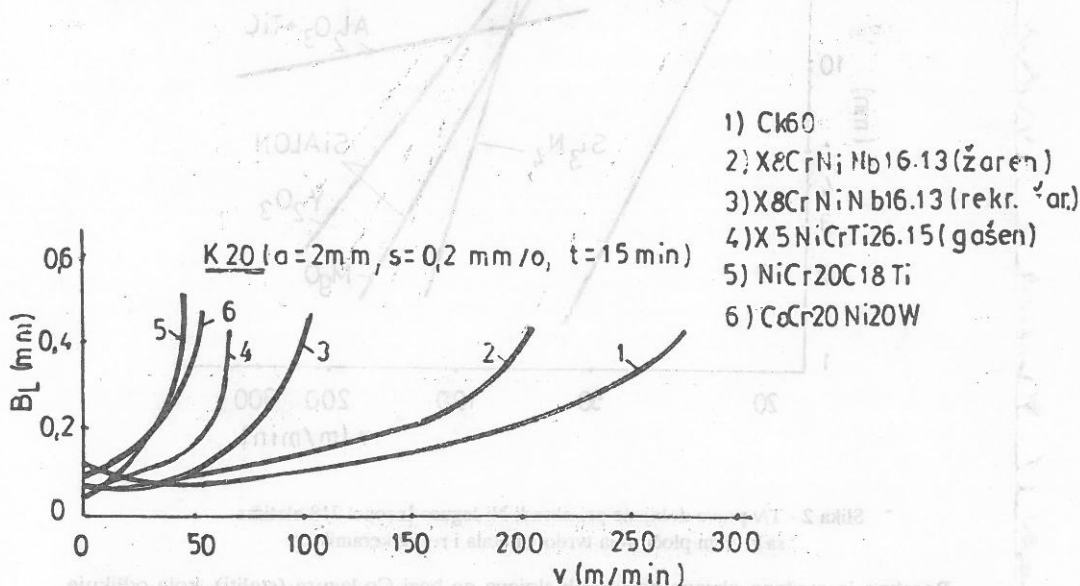
alate od brzoreznog čelika oslojene sa TiN, rezuu keramiku povećane žilavosti (mešana keramika $Al_2O_3 + TiC$, oksidna keramika ojačana vlaknima silicijumkarbida $Al_2O_3 + SiC$) i polikristalni kubni bornitrid. Naime, pri razvoju novih alatnih materijala i poboljšanju karakteristika postojećih posebna pažnja se poklanja proširenju njihove primene i na područje obrade teškoobradljivih materijala.

U nastavku će biti prikazani neki primeri uspešne primene novih i poboljšanih materijala alata kod obrade austenitnih Cr-Ni čelika i vatrootpornih Ni i Co legura struganjem, bušenjem i glodanjem.

3.PRIMENA NOVIH I POBOLJŠANIH MATERIJALA ALATA KOD OBRADJE VISOKOLEGIRANIH Cr-Ni ČELIKA, Ni i Co LEGURA

3.1 Obrada na strugu

Prema mogućoj brzini rezanja, obradljivost autenitnih Cr-Ni čelika je oko 3-5 puta, a Ni i Co-legura oko 5 puta lošija, u odnosu na obradu konstrukcijskih čelika. Kao ilustracija, na slici 1 /3/ prikazane su krive habanja po lednoj površininoža od tvrdog metala K20 u zavisnosti od brzine rezanja, dobijene pri obradi na strugu i to: konstrukcijskog čelika Ck60(1), austenitnog čelika X8CrNiNb 16.13 posle žarenja (2), austenitnog čelika X5NiCrTi 26.15 posle rekristalizacionog žarenja (3) i X5NiCrTi 26.15 posle gašenja (4), Ni-legura NiCr20Co18Ti (5) i Co legure CoCr20Ni20W (6) posle gašenja (odnosno kaljenja).

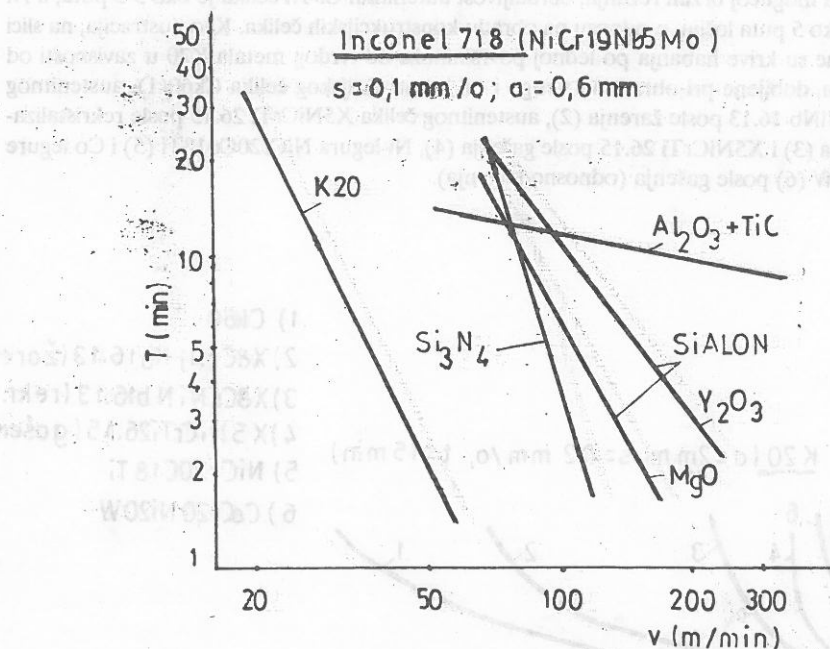


Slika 1 - Krive habanja u zavisnosti od brzine rezanja dobijene pri obradi konstrukcijskog čelika (1), austenitnih Cr-Ni čelika (2-4), Ni-legure (5) i Co-legure (6) noževima sa tvrdim metalom K20 /3/

Vidi se da je obradljivost datih Ni i Co legura približno ista, dok je obradljivost austenitnog čelika posle gašenja (kaljenja) nešto bolja. Međutim, sa povećanjem brzine rezanja habanje alata pri obradi ovih materijala se naglo povećava, tj. preporučena brzina rezanja je između 30-50m/min.

Neke vrste rezne (alatne) keramike poboljšane žilavosti omogućavaju uspešnu obradu Ni-legure pri višim brzinama rezanja, pod uslovom izvođenja obrade na mašinama povećane krutosti.

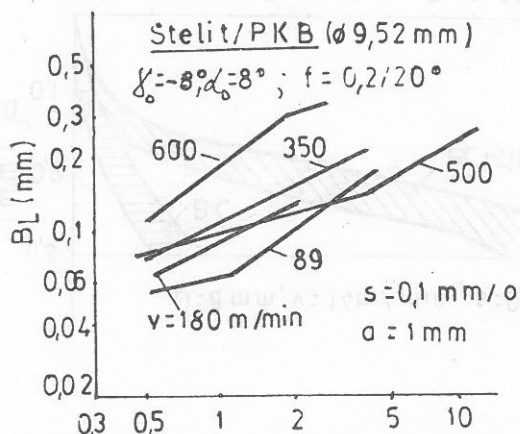
Na slici 2 /10/ date su T/v prave dobijene pri obradi Ni-legure Inconel 718 (NiCr19Nb5Mo) noževima sa reznim pločicama od tvrdog metala K20, mešane keramike $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$, silicijum nitridne keramike Si_3N_4 i SiALON (sa MgO i Y_2O_3). Vidi se da je moguća brzina rezanja za postojanost alata od 20min sledeća: pri obradi alatom sa tvrdim metalom K20 oko 25 m/min, odnosno pri obradi alatima sa reznom keramikom oko 80 m/min, što predstavlja značajno povećanje (pri manjoj postojanosti alata najveća brzina rezanja je moguća pri obradi alatom sa mešanom keramikom $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$).



Slika 2 - T/v prave dobijene pri obradi Ni-legure Inconel 718 alatima sa reznim pločicama tvrdog metala i rezne keramike

Posebno je otežana obrada navarenih slojeva na bazi Co-legura (steliti), koje odlikuje visoka vatrootpornost i otpornost na habanje. Obrada ovih materijala je moguća alatima od tvrdog metala pri maloj brzini rezanja, kao i primenom alata od supertvrdih materijala

polikristalne strukture pri znatno većoj brzini rezanja. Na slici 3 /1/ prikazane su krive habanja po lednoj površini u zavisnosti od brzine rezanja, dobijene pri obradi navarenog sloja stelita (51% Co, 24.5% Cr, 5.5% Ni, 7% Fe, 2.7% W, 7% Nb, 0.55% C) nožem sa kružnim reznim pločicama polikristalnog kubnog bornitrida (PKB). Uočava se da je u ovom slučaju optimalna brzina rezanja bila 500m/min.



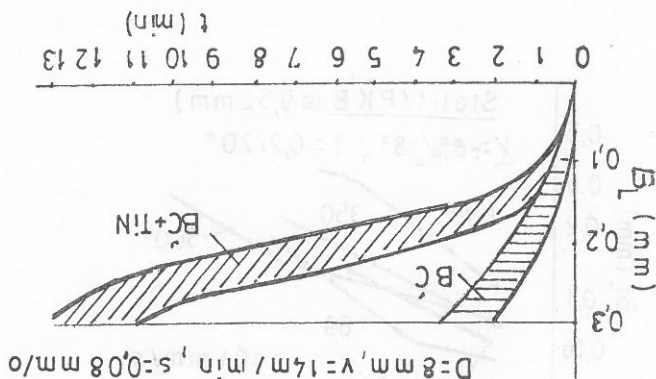
Slika 3 - Krive habanja po lednoj površini kružnih reznih pločica PKB u zavisnosti od brzine rezanja, dobijene pri obradi stelita /1/

3.2 Obrada bušenjem

Za obradu bušenjem visokolegiranih Cr-Ni čelika Ni i Co-legura preporučuje se primena burgija od brzoreznih čelika sa povećanim sadržajem kobalta, odnosno burgija od tvrdog metala i sa mehanički pričvršćenim reznim pločicama tvrdog metala. Osim toga, dobri rezultati se ostvaruju i burgijama oslojenim sa TiN, kao i alatima sa reznim pločicama od brzoreznog čelika proizvedenog postupkom metalurgije praha (BČ/MP).

U prvom slučaju povećava se potojanost alata radi veće tvrdoće površinskih slojeva kao i manje sklonosti ka lepljenju strugotine za radne površine alata, dok je u drugom slučaju radi povećane žilavosti manja sklonost ka pojavi krzanja alata.

Na slici 4 /8/ uporedno su prikazane krive habanja po lednoj površini burgija od brzoreznog čelika (BČ) i burgija oslojenih sa TiN (BČ+TiN) pri bušenju visokolegiranih Cr-Ni čelika. U drugom slučaju je ostvareno povećanje postojanosti za 470% za nove burgije, 180% posle prvog i 130% posle drugog oštrenja (u odnosu na neoslojene burgije).



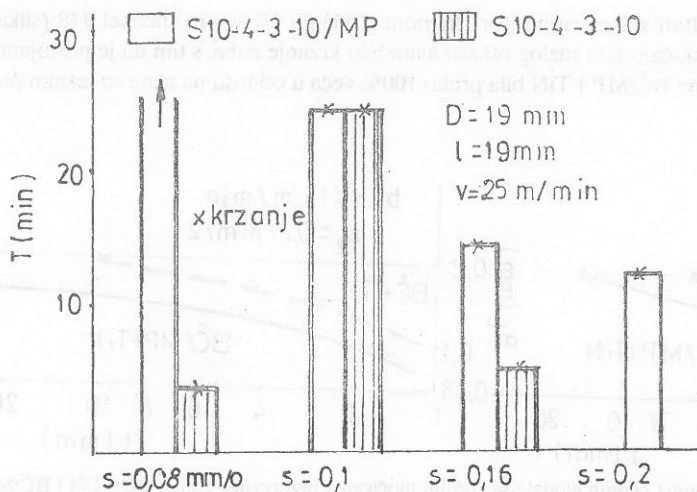
Slika 4 - Krive habanja za burgije od BČ i BČ+TiN pri bušenju Cr- Ni čelika

Na slici 5 [7] prikazane su ostvarene postojanosti burgija sa reznim pločicama od brzoreznog čelika S10-4-3-10, odnosno brzoreznog čelika proizvedenog postupkom metalurgije praha S10-4-3-10/MP pri brušenju austenitnog čelika X10CrNiMoTi18.10. Kako se vidi, u većini slučajeva posledica otkaza burgije bila je pojava krzanja sečiva (osim kod burgije od BČ/MP pri maloj vrednosti koraka s), s tim da su burgije od BČ/MP imale veću postojanost i kod veće veličine koraka s_z .

3.3 Obrada glodanjem

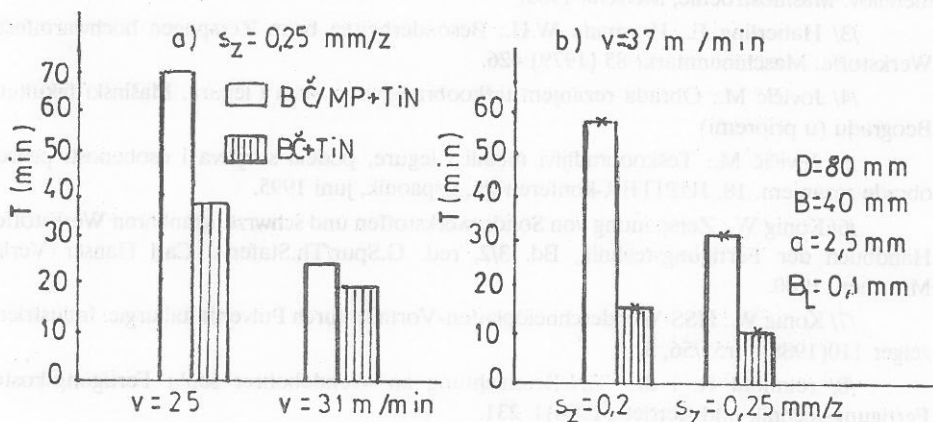
Pri glodanju autenitnih Cr-Ni čelika, Ni i Co-legure najjače dolaze do izražaja istaknute specifičnosti njihove obrade rezanjem, radi vrlo izraženog udarnog opterećenja alata i velike promene termičkog opterećenja u toku zahvata zuba glodala za materijalom obratka i njihovog kretanja van zahvata. Pri tome, kod svih postupaka obrade glodanjem prednost ima istosmerno glodanje, zbog povoljnijih uslova pri izlazu zuba glodala iz zahvata sa obratkom.

I pri obradi glodanjem teškoobradljivih materijala, povećanje efikasnosti procesa obrade se može ostvariti primenom glodala od brzoreznog čelika oslojenih sa TiN [7,9] s tim da se povoljniji efekti postižu korišćenjem brzoreznih čelika proizvedenih postupkom metalurgije praha radi njihove veće žilavosti.



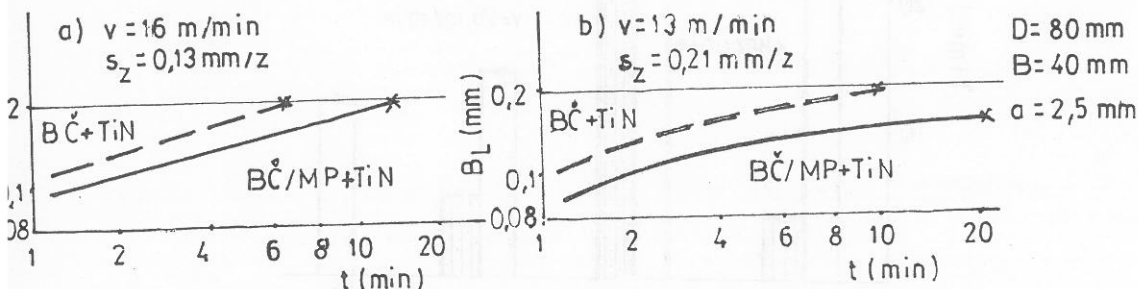
Slika 5 - Zavisnost postojanosti burgija od BČ i BČ/MP od koraka s pri bušenju austenitnog čelika X10CrNiMoTi 18.10 /7/

Na slici 6 /7/ data je zavisnost postojanosti alata pri čeonom glodanju austenitnog Cr-Ni čelika X10CrNiMoTi 18.10 glodalima sa reznim pločicama brzorezno čelika BČ+TiN i BČ/MP+TiN. Vidi se da je u svim slučajevima veća postojanost glodala sa reznim pločicama BČ/MP+TiN, i da je povoljnije za obradu izvoditi pri manjoj brzini rezanja v i većoj vrednosti koraka sz.



Slika 6 - Ostvarena postojanost glodala sa reznim pločicama brzoreznog čelika BČ+TiN i BČ/MP+TiN pri čeonom glodanju austenitnog čelika X10CrNiMoTi 18.10 /7/

Slični rezultati su ostvareni i pri čenom glodanju Ni-legure Inconel 718 (slika 7). Pri tome je i u ovom slučaju kao razlog otkaza alata bilo krzanje zuba, s tim da je postojanost alata sa reznim pločicama BČ/MP+TiN bila preko 100% veća u odnosu na alate sa reznim pločicama BČ+TiN.



Slika 7 - Krive habanja čeonih glodala sa reznim pločicama brzoreznog čelika BČ+TiN i BČ/MP+TiN pri obradi Ni-legure Inconel 718 [7]

4.LITERATURA

- /1/ Baik M.Cr.: Beitrag zur Zerspanbarkeit von Kobalthartlegierungen mit polykristallinen kubischen Bornitrid (PKB) beim Drehen. Diss., Universität Dortmund, 1988.
- /2/ Danieljan A.M. i dr.: Obrabotka rezaniem žaropročnyh stalej, splavov i tugoplavykh metallov. Mašinostroenie, Moskva, 1965.
- /3/ Haberling E., Hermann W.H.: Besonderheiten beim Zerspanen hochwarmfester Werkstoffe. Maschinenmarkt 85 (1979) 426.
- /4/ Jovićić M.: Obrada rezanjem teškoobradljivih metala i legura. Mašinski fakultet u Beogradu (u pripremi)
- /5/ Jovićić M.: Teškoobradljivi metali i legure, podela svojstva i osobnosti procesa obrade rezanjem. 18. JUPITER-konferencija, kopaonik, juni 1995.
- /6/ König W.: Zerspanung von Sonderwerkstoffen und schwärzerspanbaren Werkstoffen. Handbuch der Fertigungstechnik, Bd. 3/2, red. G.Spur/Th.Staferle. Carl Hanser Verlag, München, 1980.
- /7/ König W.: HSS-Wendeschneidplatten-Vorteile durch Pulvermetallurgie. Industrieanzeiger 110(1988) Nr55/56, 36.
- /8/ reinhold R. i dr.: TiN-Beschichtung an Wendebohrer senkt Fertigungskosten. Fertigungstechnik und Betrieb (1988)4, 231.
- /9/ Schmidt K., Verbesertes Frasen mit PVD-beschichteten Fraswerkzeugen. Werkstatt und Betrieb (1984)9, S89.
- /10/ Vigneau J., Baullanger J.J.: Behaviour of Ceramic Tools During the Machining in Ni-Base Alloys. CIRP Ann., 31 (1982)1, 35.

KOMPLEKSNO VREDNOVANJE REZNIH ALATA ZASNOVANO NA VEROVATNOSNOM PRINCIPU

*Dr SAVA St. SEKULIĆ Institut za industrijske sisteme Fakulteta tehničkih nauka, Univerziteta
u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 3, Novi Sad*

COMPLEX EVALUATION OF CUTTING TOOLS BASED ON PROBABILITY APPROACH

Abstract: In the paper the possible criterions for complex evaluation and ranking of cutting tools for caracteristical cases of comparation are exposed.

1. UVOD

Troškovi reznog alata u ukupnim troškovima obrade najčešće predstavljaju značajan izdatak, pa njihovim pravilnim izborom utičemo kako na produktivnost tako i na ekonomičnost proizvodnje.

Za obavljanje neke operacije možemo primeniti različite ili iste alate, ali od različitih proizvođača, koji se međusobno razlikuju po kvalitetu i ceni.

Da bi smo objektivno odredili ekonomsku opravdanost izbora neophodno je pratiti otkaze reznih alata na osnovu broja obrađenih obradaka na posmatranoj operaciji, pri čemu je potrebno istim vrstama alata izvršiti ponovljena opažanja otkaza. Broj opažanja mora biti $N \geq 5$, da bi se mogla izvršiti statistička obrada dobijenih vrednosti.

Kao što je poznato, u zavisnosti od veličine uzorka ispitivanje je statistički reprezentativno ukoliko je $N \geq 50$, ali se i za $5 \leq N < 50$ može odrediti funkcija raspodele otkaza (nereprezentativan uzorak).

Za tehničke sisteme, i za rezni alat, u primeni je Weibull-ova raspodela

$$F(t) = 1 - \exp \left[- (t/\eta)^\beta \right] \quad (1)$$

Parametri Weibull-ove raspodele η i β mogu se lako odrediti kada se za posmatrani broj istih alata N primene već poznate i detaljno razrađene metodologije §1, 2, 3, 4.

Kada su poznati parametri funkcije raspodele, srednje vreme bezotkaznog rada se određuje po obrascu:

$$T_{sr} = \eta \Gamma (1/\beta + 1) \quad (2)$$

Predmet ovog rada je vrednovanje reznog alata za obavljanje neke operacije zasnovano na:

1. troškovima alata po jedinici zapremine skinute strugotine,
2. produktivnosti
3. troškovima obrade, i
4. troškovima alata.

2. ODREIVANJE MATEMATIČKIH MODELA TROŠKOVA ALATA

2.1 Troškovi alata po jedinici zapremine skinute strugotine

SLUČAJ 1. - Alati koji se preoštravaju

Ako je srednje vreme bezotkaznog rada T određeno po izrazu (2), s_r cena alata C_A i broj oštrenja i_o , $A = \delta s$ - presek strugotine i v - brzina rezanja, tada troškovi alata po jedinici zapremine skinute strugotine iznose

$$U_{AV1} = C_A / A \cdot v \cdot T_{sr} (i_o + 1) \quad (3)$$

SLUČAJ 2. - Alati sa izmenljivim reznim pločicama

Ukupna cena alata sa izmenljivim reznim pločicama, do potpune amortizacije držača, iznosi

$$C_{AIP} = C_D + k C_P \quad (4)$$

(C_D - cena držača i rezervnih delova, C - cena izmenljive pločice D i $k = f/x$ - broj pločica koje se zatupe do potpune amortizacije držača, f - broj stezanja izmenljivih pločica do potpune amortizacije držača i x broj sečiva na rečnoj pločici)

U ovom slučaju troškovi alata po jedinici zapremine skinute strugotine iznose

$$U_{AV1} = (C_d + k C_p) / A \cdot v \cdot x \cdot k \cdot T_{sr} \quad (5)$$

2.1.1 PRIMENA IZVEDENIH MATEMATIČKIH MODELA U CILJU VREDNOSNOG

RANGOVANJA ALATA

Kriterijum za rangovanje prema izrazima (3) ili (5) kazuje da je viši u rang u onaj alat kojim se ostvaruju niži troškovi alata po jedinici zapremine skinute strugotine.

Mogući primeri

Primer 1. Rangovanje dva ili više istih alata koji se preoštravaju (od brzoreznog čelika ili sa zalemljenim pločicama od tvrdog metala različitih proizvođača)

U ovom slučaju je viši u rang u, odnosno bolji, onaj alat koji ima manju vrednost odnosa

$$(C_{Ai}/T_{sri}) < (C_{Ai}/T_{sri})_{II} < \dots < (C_{Ai}/T_{sri})_N \quad (6)$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, i, \dots, N; I = I, II, III, \dots, I, \dots, N$$

Primer 2. Rangovanje dva ili više alata iste namene, od različitih alatnih materijala, koji se preoštravaju (npr. alati od brzoreznih čelika i sa zalemljenim pločicama od tvrdih metala)

U ovom slučaju se postižu niži troškovi sa alatom koji ima manju vrednost

$$C_{Ai}/v_i \cdot T_{sri} \cdot (i \cdot \theta_i + 1) \quad (7)$$

pa se na osnovu toga i ranguju.

Primer 3. Rangovanje dva ili više alata sa izmenljivim reznim pločicama

Troškovi alata po jedinici zapremine skinute strugotine izračunavaju se po izrazu (5) i mešovito se ranguju. Prvi u rang u, u ovom slučaju, je onaj alat koji ima minimalne troškove po jedinici zapremine skinute strugotine.

Primer 4. Rangovanje dva ili više alata od kojih se neki preoštravaju, a ostali su sa izmenljivim reznim pločicama

Troškovi alata po jedinici zapremine skinute strugotine izračunavaju se po izrazima (3) i (5) i mešovito se ranguju tako da je, i u ovom slučaju, prvi u rang u onaj alat koji ima minimalne troškove po jedinici zapremine skinute strugotine.

2.2 Matematički modeli ukupnih troškova obrade operacije

Analiza prethodnih primera ukazuje da se rangovanje kao isključivi pokazatelj može koristiti za poređenje pojedinih alata samo pri istom režimu obrade ($A = d s = \text{const.}$ i $v = \text{const.}$). Međutim, kada se menja, npr. brzina rezanja v što je najčešći slučaj, pri poređenju alata od različitih alatnih materijala, tada rangovanje isključivo vodi računa o troškovima alata, pa optimalni izbor mora voditi računa o funkciji cilja optimizacije, npr. na osnovu ukupnih troškova obrade na posmatranoj operaciji U , a koji se sastoje iz troškova radne snage R , troškova mašine M i troškova alata, tj.

$$U_o = R + M + A \quad (8)$$

Troškovi alata koji se preostravaju iznose

$$A = (nk_1 t_z + k_2 t_2 + C_A / (i_0 + 1) t_g / T + C_{PA} / n_0) \quad (9)$$

a troškovi alata sa izmenljivim pločicama

$$A = [nk_1 + t_z + (C_d + k_{CP}) / k_x] t_g / T \quad (9')$$

Troškovi obrade za operaciju su

$$U_o = E \left[B + t_g \left(1 + \frac{t_z + G/E}{T} \right) \right] \quad (10)$$

gde je

$$B = t_p + t_m + t_{pz} + t_i = \text{const.} \quad (11)$$

$$E = (nk_1 + \frac{C_m P}{F \cdot \eta \cdot 100 \times 60}) \quad (12)$$

$$G = (k_2 t_2 + \frac{C_A}{i_0 + 1}) \quad (13)$$

Za alate koji se preostravaju, odnosno,

$$G = (C_d + k_{CP}) / k_x \quad (13')$$

za alate sa izmenljivim reznim pločicama, koji se ne preostravaju.

(t_g -glavno (mašinsko) vreme, t_z -vreme zamene alata, $t_a = t_z t_g / T$, t_m -međuvreme, t_{pz} -pripremno završno vreme po obratku, t_i -izgubljeno vreme, n -koeficijent učešća radnika ukoliko i opslužuje više mašina $n = 1 + (k_3/k_1)(N_1/N_2)$, k_1, k_2, k_3 - bruto minutni lični dohoci radnika, oštrača i stručnog radnika, N_1, N_2 - broj mašina koje opslužuje proizvodni radnik i stručni radnik, C_M -cena mašine i pribora, p -amortizaciona stopa, F -godišnji fond vremena mašine, η -koeficijent iskorišćenja mašine, $t_1 = t_2$, t_2 - vreme preostravanja alata)

Neophodno je istaći da konkretni proračuni za istu operaciju ukazuju na promenu ranga u zavisnosti od usvojenih kriterijuma.

2.3 Kompleksno vrednovanje - rejting reznog alata

U cilju određivanja kompleksnog vrednovanja reznog alata odnosno njegovog rejtinga, primenice se poznata metoda koju koriste velike kompanije kao što su Ford i General Motors, koja objedinjuje više kriterijuma.

Kao što je u uvodu navedeno vrednovanje reznog alata, za posmatranu operaciju, može biti zasnovano na:

1. troškovima alata po jedinici zapremine skinute strugotine,
2. produktivnosti odnosno glavnom (mašinskom) vremenu obrade,
3. troškovima obrade, i
4. troškovima alata.

Gore navedena vrednovanja možemo svrstati u dve grupe i to:

- troškovima i
- produktivnosti.

Ako damo svakoj grupi faktor značajnosti F_i , tako da je $\sum F_i = 1$, i onda se u prvom koraku, na osnovu rangovanja, određuje rejting R_i za svaku grupu. Zatim se u drugom koraku, na osnovu rejtinga pojedinih grupa, određuje ukupni rejting kao kompleksni pokazatelj.

Određivanje rejtinga reznog alata biće pokazano na konkretnom primeru.

U cilju kompleksnog vrednovanja reznog alata, pri uzdužnoj obradi na strugu, korišćeni su sledeći alati sa izmenljivim reznim pločicama: 1. tvrdi metal K10; 2. tvrdi metal sa prevlakom K10+TiC i 3. keramika. Materijal obradka je bio SL30 (sa lamelastim grafitom). Relevantni podaci za identifikaciju alata dati su u tablici T.1, a proračun je sproveden u tablici T.2.

T.1

| i | VRSTA PLOČICE | γ° | α° | λ° | α_r° | ϵ_r | r mm |
|---|---------------|----------------|----------------|-----------------|------------------|--------------|-----------|
| 1 | K10 | 6 | 5 | 0 | 70 | 90 | 0,8 |
| 2 | K10 + TiC | 6 | 5 | 0 | 70 | 90 | 0,8 |
| 3 | Keramika | -6 | 6 | -6 | 70 | 90 | 0,8 |

T.2.

| i | δ mm | ϵ mm | A mm ² | v m/min | T_{sr} min | U_{Av1} | t_g | G | U_o | A |
|---|----------------|------------------|------------------------|--------------|-----------------|-----------|-------|-------|-------|------|
| 1 | 2,0 | 0,25 | 0,50 | 100 | 10 | 5,55 | 4,28 | 2,78 | 10,97 | 1,58 |
| 2 | 2,0 | 0,25 | 0,50 | 150 | 20 | 7,90 | 2,51 | 11,48 | 7,19 | 1,55 |
| 3 | 2,0 | 0,16 | 0,32 | 600 | 15 | 9,31 | 0,98 | 26,82 | 4,40 | 1,81 |

Brojne vrednosti za proračun: $i = 1$, $t_p = 0,3$ min, $T_{pz} = 15$ min, $t_m = t_i = 0$, $t_z = 1$ min, $z = 1000$ kom, $C_M = 3,57 \cdot 10^6$ din, $p = 5\%$, $n = 1$, $k_1 = 0,905$ din/min, $B = 15,3$ min, $E = 1,947$, $G = F(C_p) = \text{const.}$, $C_D = 1117,85$ din, $C_{PK10} = 22,10$ din, $C_{PK10} + TiC = 91,70$ din, $C_{PKer} = 214,45$ din, $f = 80.000$, $x = 8$, $k = 10.000$.

Kako se iz tablice T.2 vidi prvi u rang u po osnovi troškova alata po jedinici zapremine skinute strugotine je alat sa pločicom od tvrdog metala K10, drugi sa pločicom od tvrdog metala sa prevlakom K10+TiC i treći sa pločicom od keramike. Međutim, po osnovi glavnog (mašinskog) vremena obrade i ukupnih troškova obrade prvi u rang u je alat sa pločicom od keramike, drugi sa prevučenom pločicom od tvrdog metala i treći sa pločicom od tvrdog metala, ali po osnovi troškova alata prvi je u rang u alat sa prevučenom pločicom od tvrdog metala, drugi sa pločicom od tvrdog metala i treći sa keramičkom pločicom.

Dalje, kao ekspertna ocena, uvode se faktori značajnosti:

$F_1 = 0,60$ za troškove i

$F_2 = 0,40$ za produktivnost.

Rejting po osnovi troškova

Usojimo podfaktore značajnosti (ekspertna ocena):

$F_{11} = 0,30$ za troškove po jedinici zapremine skunute strugotine

$F_{12} = 0,50$ za troškove obrade, i

$F_{13} = 0,20$ za troškove alata.

Na osnovu podataka iz tablice T.2 i usvojenih podfaktora F sledi 11 tablica T.3. Podaci iz tablice T.3 poslužili su za proračun rejtinga R_{e1i} (tablica T.4), iz koje su izvedeni rezultati u tablici T.5.

Rejting po osnovi produktivnosti

Izdvajanjem potrebnih podataka iz tablice T.2, a usvajanjem vrednosti F_2 , dobija se tablica T.6, na osnovu koje je izvršen proračun rejtinga u tablici T.7.

Kompleksni rejting

Kompleksni rejting po oba osnova - troškova i produktivnosti, određuje se na osnovu podataka iz tablice T.5 i T.7.

Podaci za rejting iz tablice T.5, prethodno se redukuju faktorom

$F_1 = 0,60$, pa se dobija tablica T.8. Rejting R_e po oba osnova dobija se na osnovu podataka iz tablica T.8 i T.7, kao zbir R_{e1} i R_{e2} , što je sprovedeno u tablici T.9.

Iz tablice T.9 uočava se da najveći rejting ima alat sa pločicom od keramike K, zatim sa pločicom od tvrdog metala i prevlakom K10+TiC, a na trećem mestu je alat sa pločicom od tvrdog metala K10.

| MA | K10 | K10+T1C | Z | F ₁₁ |
|------------------|-------|---------|------|-----------------|
| U _{AV1} | 5.51 | 7.90 | 8.31 | 0.30 |
| U _o | 10.97 | 7.19 | 4.40 | 0.50 |
| A | 1.58 | 1.55 | 1.81 | 0.20 |

I.4

| MA _i | | | Z | F ₁₁ | R _{eli} |
|-----------------------|------------------|-------|--------|-----------------|------------------|
| I K10 | U _{AV1} | 5.55 | 28.47 | 0.30 | 8.54 |
| | U _o | 10.97 | 14.40 | 0.50 | 7.20 |
| | A | 1.58 | 100.00 | 0.20 | 20.00 |
| | Σ | | | | 35.74 |
| Z K10+ +T1C | U _{AV1} | 7.90 | 19.52 | 0.30 | 5.89 |
| | U _o | 7.19 | 21.58 | 0.50 | 10.79 |
| | A | 1.55 | 100.00 | 0.20 | 20.00 |
| | Σ | | | | 36.67 |
| 3 I | U _{AV1} | 8.31 | 19.44 | 0.30 | 5.83 |
| | U _o | 4.40 | 41.35 | 0.50 | 20.57 |
| | A | 1.81 | 100.00 | 0.20 | 20.00 |
| | Σ | | | | 46.40 |

* % vrednost dobija se kada se minimalna vrednost iz predhodne kolone podeli sa bilo kojom u njoj i pomnozi sa 100; npr. (1.58/5.55) 100 = 28.4%

** R_{eli} = % F₁₁

| 1 | MAT. AL. | R_{o11} |
|---|----------|-----------|
| 1 | K10 | 35.74 |
| 2 | K10+T1C | 36.67 |
| 3 | K | 46.40 |

7.6

| MA | K10 | K10+T1C | K | F_2 |
|-------|------|---------|------|-------|
| t_g | 4.28 | 2.51 | 0.98 | 0.40 |

I.7

| MAT. ALATA | t_g | % | F_2 | R_{o2} |
|------------|-------|--------|-------|----------|
| K10 | 4.28 | 22.90 | 0.40 | 9.2 |
| K10+T1C | 2.51 | 39.04 | 0.40 | 15.6 |
| K | 0.98 | 100.00 | 0.40 | 40.0 |

$$* (0.98/4.28) 100 = 22.90\% \quad R_{o2} = \% F_2$$

T.8

| 1 | MAT. AL. | R_{o11} | F_1 | R_{o1} |
|---|----------|-----------|-------|----------|
| 1 | K10 | 35.74 | 0.6 | 21.44 |
| 2 | K10+T1C | 36.67 | 0.6 | 22.00 |
| 3 | K | 46.40 | 0.6 | 27.84 |

I.9

| | F_1 | K10 | K10+T1C | K |
|----------|-------|-------|---------|-------|
| R_{o1} | 0.60 | 21.44 | 22.00 | 27.84 |
| R_{o2} | 0.40 | 9.20 | 15.60 | 40.00 |
| R_o | - | 30.64 | 37.60 | 67.84 |

3. ZAKLJUČAK

Na osnovu napred izloženog može se zaključiti da je u cilju postizanja ekonamične primene reznih alata korisno izvršiti njihovo kompleksno rangovanje na osnovu sledećih kriterijuma:

- troškova alata po jedinici zapremine skinute strugotine,
- glavnog (mašinskog) vremena obrade,
- troškova obrade, i
- troškova alata,

dajući pojedinim kriterijumima određeni stepen značajnosti što zavisi od uticaja okruženja, uz napomenu da je neophodno koristiti realne podatke o troškovima radne snage mašine i alata i vremenu njegovog bezotkaznog rada dobijenog na osnovu praćenja broja obrađenih obradaka do pojave otkaza i njihovom obradom, primenjujući savremene tehnike teorije pouzdanosti.

LITERATURA

1. SEKULIĆ S., Određivanje pouzdanosti reznog alata skraćenim postupkom, Zbornik radova XVII Savetovanja proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Budva, 1983.
2. SEKULIĆ S., Metodologija za određivanje pouzdanosti reznog alata, Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, Novi Sad, 1983., 14.
3. SEKULIĆ S., Grafički postupak za određivanje pouzdanosti reznog alata zasnovan na broju obradaka obrađenih pojedinim alatima, Zbornik radova XIX Savetovanja proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Kragujevac, 1985.
4. SEKULIĆ S., Predlog načina prikupljanja podataka o postojanosti alata u proizvodnim uslovima i njihova obrada, Zbornik radova XX Savetovanja proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Proizvodne tehnologije, Beograd, 1986.
5. IVKOVIĆ B., Struktura troškova proizvodnje u obradi metala, Mašinski fakultet, Kragujevac, 1974.
6. Ford Motor Company, Quality System Standard, Q-101, 1984.
7. SEKULIĆ S., Vrednovanje reznih alata zasnovano na verovatno- snom principu, Tribologija u industriji, god. XIV, br 1, 1992.

TEMPERATURA REZANJA PRI VISOKOUČINSKOM BRUŠENJU

Milikić D., Drobnjak V., Kovač P., Gostimirović M.
Fakultet tehničkih nauka Univerziteta u Novom Sadu,
Naučno-obrazovni Institut za proizvodno mašinstvo,
Vladimira Perića-Valtera 2, 21000 Novi Sad

1. UVODNA RAZMATRANJA

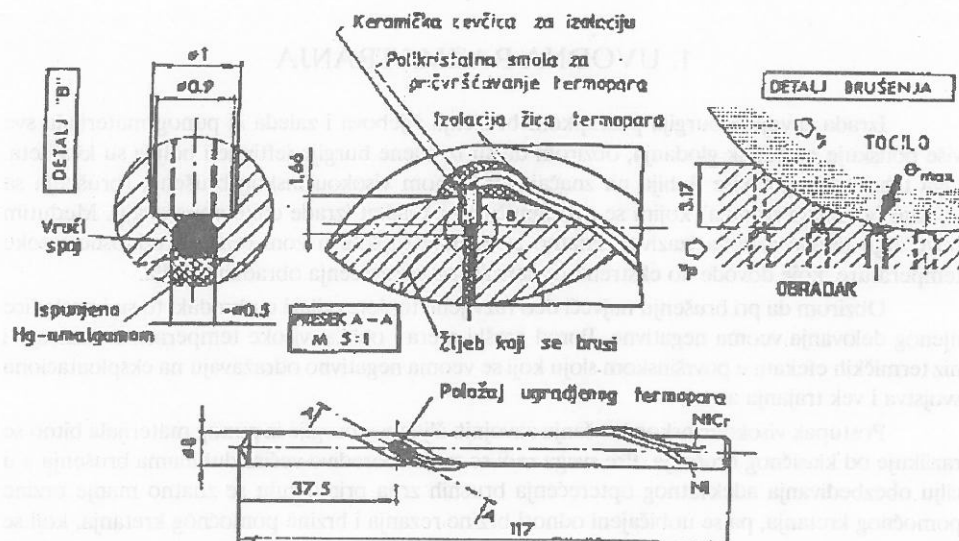
Izrada zavojnih burgija postupkom brušenja žljebova i zaleđa iz punog materijala sve više potiskuje postupak glodanja, obzirom da su izrađene burgije jeftinije i boljeg su kvaliteta. Ova tehnologija još više dobija na značaju primenom visokoučinskog brušenja (brušenja sa velikim brzinama rezanja) kojim se ekonomičnost i kvalitet izrade dalje povećavaju. Međutim povećanje brzine rezanja izaziva i znatno povećanje toplote u zoni rezanja, odnosno visoke temperature, koje dovode do ekstremnog termičkog opterećenja obradka i tocila.

Obzirom da pri brušenju najveći deo razvijene toplote odlazi u obradak, to su i posledice njenog delovanja veoma negativne. Pored greški mera i oblika, visoke temperature izazivaju i niz termičkih efekata u površinskom sloju koji se veoma negativno odražavaju na eksploataciona svojstva i vek trajanja alata.

Postupak visokoučinskog brušenja zavojnih žljebova burgije iz punog materijala bitno se razlikuje od klasičnog brušenja. Pre svega radi se sa neuporedivo većim dubinama brušenja a u cilju obezbeđivanja adekvatnog opterećenja brusnih zrna primenjuju se znatno manje brzine pomoćnog kretanja, pa se uobičajeni odnosi brzine rezanja i brzine pomoćnog kretanja, koji se koriste kod klasičnog brušenja, ovde u opšte ne mogu primeniti. Prema tome, ovo brušenje se u principu izvodi sa velikim dubinama rezanja, malim brzinama pomoćnog kretanja i velikim brzinama rezanja. Ovakvi parametri brušenja, kao što je poznato, pogoduju razvoju visokih temperatura rezanja i svih štetnih posledica koje one nose sa sobom. Zbog toga se sa pravom može tvrditi da je razvijena toplota ključni problem postupka izrade zavojnih žljebova i zaleđa burgije brušenjem iz punog materijala oko koga se koncentrišu sva istraživanja na ovom području.

2. MERENJE TEMPERATURA U ZONI REZANJA

Merenje temperatura u zoni rezanja izvršeno je pomoću minijaturnih termoelemenata ugrađenih u opitne uzorke-zavojna burgija f 8 mm, obzirom da sva dosadašnja ispitivanja pokazuju da ova merna metoda daje najbolje rezultate. Uzimajući u obzir sve relevantne parametre vezane za ovakvo merenje temperatura, odabrali smo standardni termoelementat NiCr-Ni (DIN 437 10) koji omogućava merenje temperatura do 1200°C. Zbog veoma velikog broja opitnih uzoraka u koje su ugrađeni ovakvi termoelementi, odlučili smo da njihovu izradu izvršimo u sopstvenim laboratorijama uz strogu kontrolu kvaliteta. Termoelementi su bili ugrađeni u prethodno izrađen jedan žleb zavojne burgije na način kako je to prikazano na slici 1. Kao što pokazuju detalji sa slike, ovim merenjima se dobijaju maksimalne temperature u zoni kontakta tocilo-obradak, kao i vremenski tok njenog delovanja u površinskom sloju žljeba burgije. Registrovanje izmerenog termonapona, odnosno odgovarajućih temperatura, vršeno je na foto-papiru osetljivog svetlosnog oscilografa.



Slika 1. Prikaz uzorka sa ugrađenim termoelementom

3. USLOVI PRI EKSPERIMENTALNIM ISPITIVANJIMA

Eksperimenti merenja temperatura u zoni rezanja sprovedeni su pod uslovima koji se inače koriste u redovnoj proizvodnji u firmi "Fabrika reznog alata" u Čačku, uz variranje nekih uticajnih parametara. Svi eksperimenti su sprovedeni na standardnoj zavojnoj burgiji f 8mm (DIN 338) od molibden-volframovog brzoreznog čelika Č.7680 DIN S 6-5-2, na kome je termička obrada varirana u dosta širokim granicama. Postupak kaljenja je izveden o sa temperatura od 1200,1210 i 1220°C u termalnom kupatilu na o520°C, da bi se pri svakoj od njih varirao određeni broj otpuštanja po 1 čas na temperaturi od 560°C. Tako je kod o temperature od 1200C radeno bez otpuštanja, sa dva tri i sa očetiri otpuštanja; kod temperature od 1210°C sa dva, tri i sa očetiri otpuštanja, a kod temperature od 1220°C sa dva i četiri otpuštanja. Postignuta tvrdoća uzoraka bila je u granicama 64-66 HRc. Ove varijacije termičke obrade izvršene su sa ciljem da se utvrdi uticaj mikrostrukture na visinu temperatura rezanja, kao i da se eliminišu moguće greške termičke obrade.

Kao alat za brušenje korišćeno je točilo normalnog korunda firme TYROLIT-Austrija, čije karakteristike su sadržane u njegovoj oznaci: 90A100Q4BH. Pri brušenju je korišćeno ulje za hlađenje SYNGRID 600 firme SANOKO OYL - Belgija, koje je pod pritiskom od 8 bara dovođeno kroz dve bočne mlaznice sa protokom od 120 l/min.

Eksperimenti rezanja su sprovedeni na automatskoj brusilici za žljebove tip: AF-3 18P firme CERFER - Italija, koja se inače koristi u redovnoj proizvodnji ovih alata. Mašina raspolaže samo sa jednim brojem obrtaja glavnog vretena koji iznosi 2600 o/min. Uzimajući u obzir prečnik točila od 400 mm, brzina rezanja je iznosila 54,45 m/s i nije se mogla varirati u ovim eksperimentima.

Dubina rezanja je u ovim eksperimentima bila određena dimenzijama profilnog žljeba zavojne burgije. Za burgiju Ø 8mm najveća dubina žljeba, odnosno najveća dubina rezanja, iznosila je 3,17 mm i razume se nije mogla biti varirana.

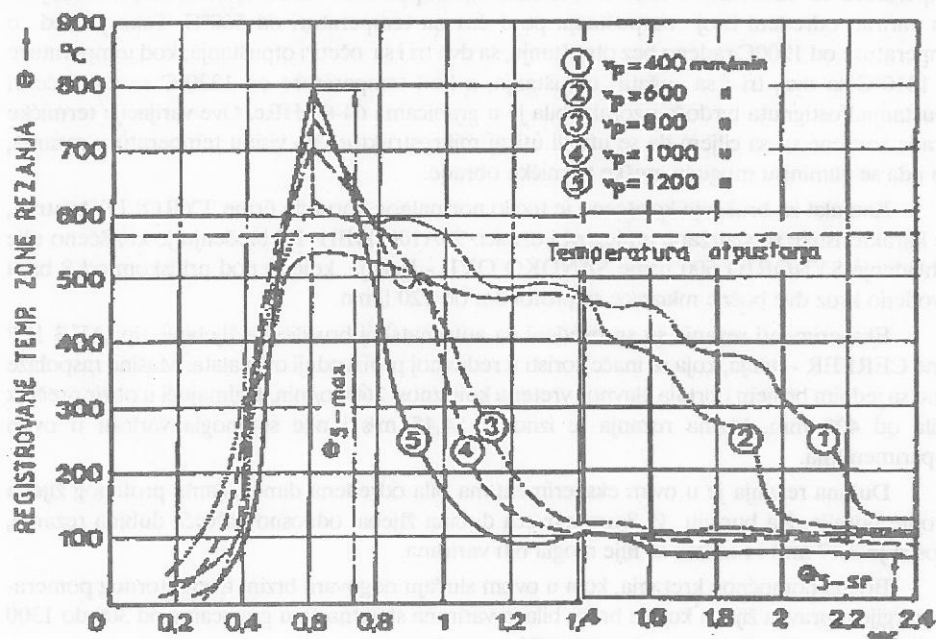
Brzina pomoćnog kretanja, koja u ovom slučaju odgovara brzini translatornog pomera nja burgije u pravcu žljeba koji se brusi, bila je varirana stepenasto u granicama od 300 do 1300 mm/min što su dopuštale mogućnosti korišćene mašine.

4. REZULTATI MERENJA TEMPERATURA U ZONI REZANJA I NJIHOVA ANALIZA

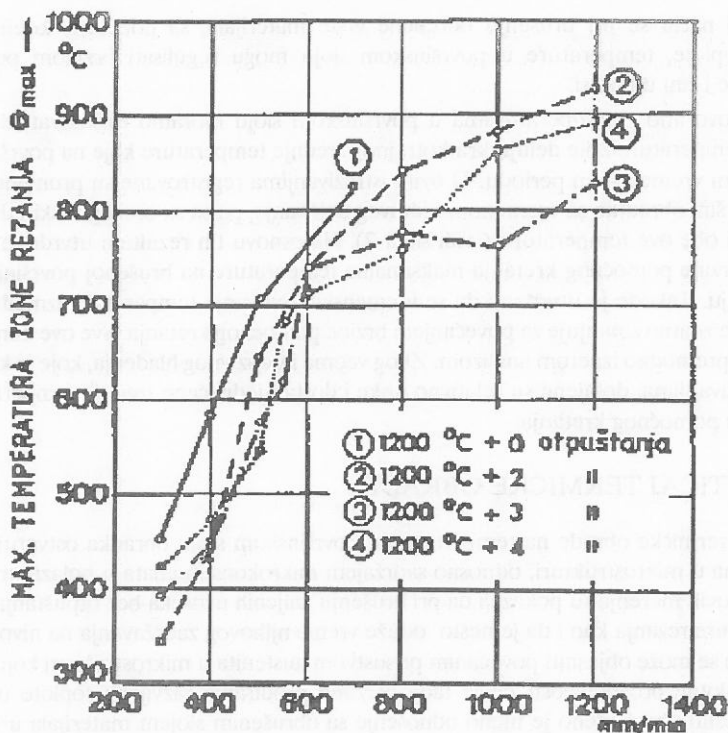
Eksperimentalni deo istraživanja sproveden je u firmi FRA - Čačak na brižljivo pripremljenim uzorcima za merenje temperatura u zoni rezanja, a pod uslovima datim u prethodnoj tački. Variranjem termičke obrade uzoraka i brzine pomoćnog kretanja pri brušenju zavojnog žljeba, dobijena su 72 dijagrama na kojima su registrovane promene temperatura rezanja sa vremenom njihovog delovanja. Radi ilustracije na slici 2 su prikazani dijagrami promene temperatura rezanja koje su registrovane sa ugrađenim termoparom (vidi detalj na slici 1) za različite brzine pomoćnog okretanja pri brušenju uzoraka kaljenih sa temperature od 1200C bez otpuštanja.

Koristeći slične dijagrame sa kojih su uzete maksimalne temperature koje su registrovane u zoni rezanja, sačinjen je dijagram na slici 3. Na njemu je prikazana promena maksimalnih temperatura u zoni rezanja u zavisnosti od brzina pomoćnog kretanja za različite režime termičke obrade.

Na osnovu ovako dobijenih rezultata izvršena je svestrana analiza uticaja brzina pomoćnog kretanja i režima termičke obrade na veličinu i tok temperatura u zoni rezanja.



Slika 2. Promena temperatura rezanja sa vremenom pri brušenju uzoraka kaljenih sa temperature od 1200°C bez otpuštanja



Slika 3. Promena max. temperature u zoni rezanja u zavisnosti od brzine pomoćnog kretanja za različite režime termičke obrade

4.1. UTICAJ BRZINE POMOĆNOG KRETANJA

Uticaj brzine pomoćnog kretanja na temperature rezanja se temelji na sledećoj analizi promena koje nastaju u zoni rezanja.

Povećanje brzine pomoćnog kretanja obradka dovodi do povećanja debljine strugotine koju rezu brusna zrna, pa u vezi s tim i do povećanja rada deformacije i trenja, odnosno toplote rezanja. Istovremeno se povećava dužina kontakta zrna sa obradkom, odnosno broj zrna u zahvatu (broj elementarnih toplotnih izvora), što takode vodi povećanju toplote rezanja. Veća dužina kontakta zrna ima za posledicu i duže delovanje elementarnih toplotnih izvora, pa razvijena toplota može da prodre dublje u materijal obradka. Takode se povećava površina rezanja (po- vršina kontakta tocilo - obradak) preko koje razvijena toplota iz zone rezanja "otiće" u obradak. Koji deo ovako nastale toplote u zoni rezanja će preći u površinski sloj obradka, a koji će otići sa obrušenim materijalom, zavisi od sledeća tri faktora:

- brzine pomoćnog kretanja obradka, tj. brzine kretanja izvora toplote po površini obradka;
- koeficijenta provođenja toplote materijala obradka i
- vrste sredstva za hlađenje i podmazivanje i uslova njihove primene

Na taj način se pri brušenju određene vrste materijala, sa poznatim koeficijentom provođenja toplote, temperature u površinskom sloju mogu regulisati brzinom pomoćnog kretanja, što se i čini u praksi.

Kad govorimo o temperaturama u površinskom sloju moramo razlikovati dve vrste: maksimalne temperature koje deluju kratkotrajno i srednje temperature koje na površinski sloj deluju u dužem vremenskom periodu. U ovim istraživanjima registrovane su promene temperatura na površini obradka sa vremenom njihovog delovanja, pa se sa oscilografskih dijagrama mogu odrediti obe ove temperature (vidi sliku 2). Na osnovu tih rezultata utvrđeno je da sa povećanjem brzine pomoćnog kretanja maksimalne temperature na brušenoj površini rastu, a srednje opadaju. Takođe je utvrđeno da se vremensko delovanje temperatura između maksimalne i srednje znatno smanjuje sa povećanjem brzine pomoćnog kretanja. Sve ove konstatacije su u skladu sa prethodno iznetom analizom. Zbog veoma intenzivnog hlađenja, koje je korišćeno pri ovim istraživanjima, dobijene su relativno niske i dosta ujednačene srednje temperature pri svim brzinama pomoćnog kretanja.

4.2. UTICAJ TERMIČKE OBRADKE

Uticao termičke obrade na temperature u površinskom sloju obradka ostvaruje se pre svega razlikama u mikrostrukturi, odnosno sadržajem mikrokonstituenata u polaznom materijalu. Rezultati ovih merenja su pokazali da pri brušenju kaljenih uzoraka bez otpuštanja nastaju veće temperature rezanja kao i da je nešto oduže vreme njihovog zadržavanja na nivou većem od 560°C. Ovo se može objasniti povećanim prisustvom austenita u mikrostrukturi koji utiče na smanjenje toplotne provodljivosti pa je tada otežano prodiranje razvijene toplote u dubinu obradka, odnosno obezbeđeno je njeno odnošenje sa obrušenim slojem materijala u kome se ona zadržava. Osim toga visoka žilavost austenita zahteva više uloženog mehaničkog rada za rezanje, zbog povećanja otpora klizanja, što rezultira i višim temperaturama rezanja.

U skladu sa napred iznetim, u ovim istraživanjima izmerene su nešto veće maksimalne temperature kod kaljenih uzoraka bez otpuštanja, dok broj otpuštanja posle kaljenja (2, 3 ili 4) ne pokazuje sasvim jasne tendencije ka smanjenju maksimalnih temperatura u zoni rezanja (slika 3). Veći uticaj temperatura kaljenja (1200, 1210 i 1220°C na visinu i tok temperatura rezanja takođe nije uočen.

4.3. PROVERA STANJA POVRŠINSKOG SLOJA OBRADKA

U cilju provere izmerenih temperatura rezanja sprovedena su sledeća ispitivanja stanja materijala u površinskom sloju žljeba burgije:

- metalografsko ispitivanje mikrostrukture u tri karakteristična preseka tela burgije (vrh, sredina, izlaz žljeba);
- merenje mikrotvrdoće, takođe u tri karakteristična preseka kao i prethodno;
- merenje zaostalih unutrašnjih naprezanja na izlasku točila iz žljeba burgije i
- utvrđivanje prisustva mikropukotina u žlebu burgije metodama magnetofluksa i penetranta.

Rezultati svih ovih ispitivanja su pokazali veoma dobro slaganje sa tokom i veličinom izmerenih temperatura. Pri ovome se može konstatovati da su neke izmerene temperature bile

dovoljno visoke da izazovu promene u površinskom sloju, ali su te promene izostale zbog kratkoće vremena njihovog delovanja, jer se nisu mogli razviti difuzioni procesi, kao što su rastvaranje sekundarnih karbida u čvrstom rastvoru, ukрупnjavanje postojećih karbidnih čestica i dr.

Ova ispitivanja su takođe pokazala da je završetak zavojnog žljeba burgije kritično mesto na kome se najviše ispoljavaju svi defekti u površinskom sloju.

5. ZAKLJUČCI

Na osnovu opsežnih istraživanja, čiji su rezultati samo delimično prikazani u ovom radu mogu se doneti sledeći zaključci:

1. Korišćena metoda za merenje, odnosno registrovanje temperature sa vremenom rezanja, pokazala se veoma pogodnom za praćenje temperaturskih promena u površinskom sloju pri visokoučinskom brušenju.

2. Povećanjem brzine pomoćnog kretanja povećava se jačina toplotnog izvora u zoni rezanja, ali se istovremeno smanjuje vreme njegovog delovanja na obrađenoj površini. Zbog suprotnog delovanja ta dva faktora, visina temperatura u površinskom sloju prvenstveno zavisi od koeficijenta provođenja toplote materijala obradka. Kako se u ovom slučaju radi o visokolegiranom alatnom čeliku kod koga je koeficijent provođenja toplote (na temperaturi od 400°C) za cca 2 puta manji nego kod ugljeničnog čelika, to su i izmerene temperature za približno toliko puta manje. U vezi sa ovom konstatacijom može se pretpostaviti da su maksimalne temperature na površini kontakta tocilo - obradak znatno veće od izmerenih što upućuje na zaključak da se toplotno opterećenje brusnih zrna, koja se stalno zagrevaju i hlade, može posmatrati kao vrlo jak dinamički proces sa štetnim posledicama.

3. Niže temperature pri brušenju ostvaruju se kod kaljenih i višestruko otpuštenih burgija. U tom smislu najpovoljniji tehnno-ekonomski rezultati za korišćeni Č.7680 dobijaju se pri termičkoj obradi koja se sastoji od trostepenog predgrevanja, o o kaljenja na 1200°C u termalnom kupatilu na 520°C i odpuštanja o 2x1 sat na 560°C .

4. Sve promene u površinskom sloju (sekundarno zakaljenje i otpuštanje, pad mikrotvrdoće, zaostala unutrašnja naprezanja i mikropukotine) koje su u neposrednoj vezi sa temperaturama rezanja, znatno su veće na izlasku tocila iz žljeba nego na bilo kom drugom mestu burgije. To je razumljivo, obzirom da u tom položaju tocilo menja smer kretanja, pa je delovanje toplotnog izvora na površinu žljeba dugotrajno i bez mogućnosti efikasnog hlađenja.

6. LITERATURA

1. Drobňak V.: Toplotni učinki pri izdelavi špiralnih svedrov pri brušenju v polno. Disertacija, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana, 1984.
2. Koonig W., Dedrichs M.: Temperaturmessungen und arbeitsergebnisse beim Flachs Schleifen. Industrie-Anziger 96 (1974), Nr. 38.
3. Milikić D.: Temperaturen beim Schleifen-Entwicklung, Messung und Einfluss auf Schleif ergebnisse.3. Schleiftechnische Fachsagung, Magdeburg 14-15. Dez.1989.
4. Milikić D., Kovač P., Rvović M.: Prilog određivanju kontaktnih temperatura pri ravnom brušenju. 19.Savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Kragujevac, sept.1985.
5. Werner G., Dedrichs M.: Spanbildungsprozess und Temperaturbeeinflussung des Werkstoffstücks beim Schleifen, Industrie-Anziger, 94 (1972), Nr.98.

Milikić D., Drobňak V., Kovač P., Gostimirović M.

CUTTING TEMPERATURE DURING HIGH EFFICIENCY GRINDING

Manufacturing of twist drills by means of high - efficiency grinding operations is Widely applied in up-to-date practice. By makin an effort to attain the productivity as high as possible, the primary and secondary motion speeds are increased which neccessarily results in high cutting temperature generation. The authors of this paper have analysed cutting temperature generation during twist drill production by means of high-efficiency grinding operations with an accent on cutting temperature measyrement. This paper covers a detailed analysis of an effect of secondary motion speed and heat-treatment condition on both the ammount and course of cutting temperature and also the faults in the surface layer generated as a result of their effect.

UTICAJ TEHNOLOGIJE IZRADE NA TAČNOST ODVALNIH GLODALA

V. Šimon, Tehnološki fakultet Univerziteta u Novom Sadu

1. UVOD

"Geometrijski vek" odvalnih glodala, tj. mogućnost preoštravanja zubaca glodala po njihovoj grudnoj površini uz zadržavanje zahtevane tačnosti glodala, umnogome zavisi od tehnologije izrade glodala, a u prvom redu od načina podbrusivanja zubaca. U ovom radu ispitan je uticaj parametara podbrusivanja na promenu profila zubaca glodala nakon određenog broja preoštravanja glodala. Pri tome, tretirana su odvalna glodala za izradu cilindričnih evolventnih, hupčanika i pužastih točkova različitih tipova pužastih parova, kao što su arhimedov, evolventni, konvolutni, sa pužem kružnog aksijalnog profila, odnosno sa pužem, brušenim točilom pravolinijskog profila. Podbrusivanje glodala je vršeno sa koturastim, lončastim odnosno prstastim točilom. Dokazano je, da sa pravilnim izborom parametara podbrusivanja zubaca moguće je znatno poboljšati tačnost odvalnih glodala.

Ova oblast je veoma slabo zastupljena u svetskoj literaturi. Mogu se navesti samo radovi pod rednim brojevima od /1/ do /7/, koji se bave ovom problematikom.

2. OSNOVE METODE ZA ANALIZU TAČNOSTI PODBRUSIVANJA ODVALNIH GLODALA

a) Profil točila za podbrusivanje zubaca odvalnih glodala

Geometrija i kinematika podbrusivanja zubaca odvalnih glodala sa lončastim točilom prikazana je na slici 1. Ista relativna kretanja su i pri podbrusivanju zubaca sa prstastim točilom. Za određivanje odgovarajućeg profila koturastog, lončastog, odnosno prstastog točila koriste se sledeći uslovi:

1. Vektor normale površine boka zubaca u tačkama rezne ivice zubaca glodala, $\vec{n}_g^{(g)}$ mora presecati osu tocila. Ovaj uslov iskazan je jednačinom:

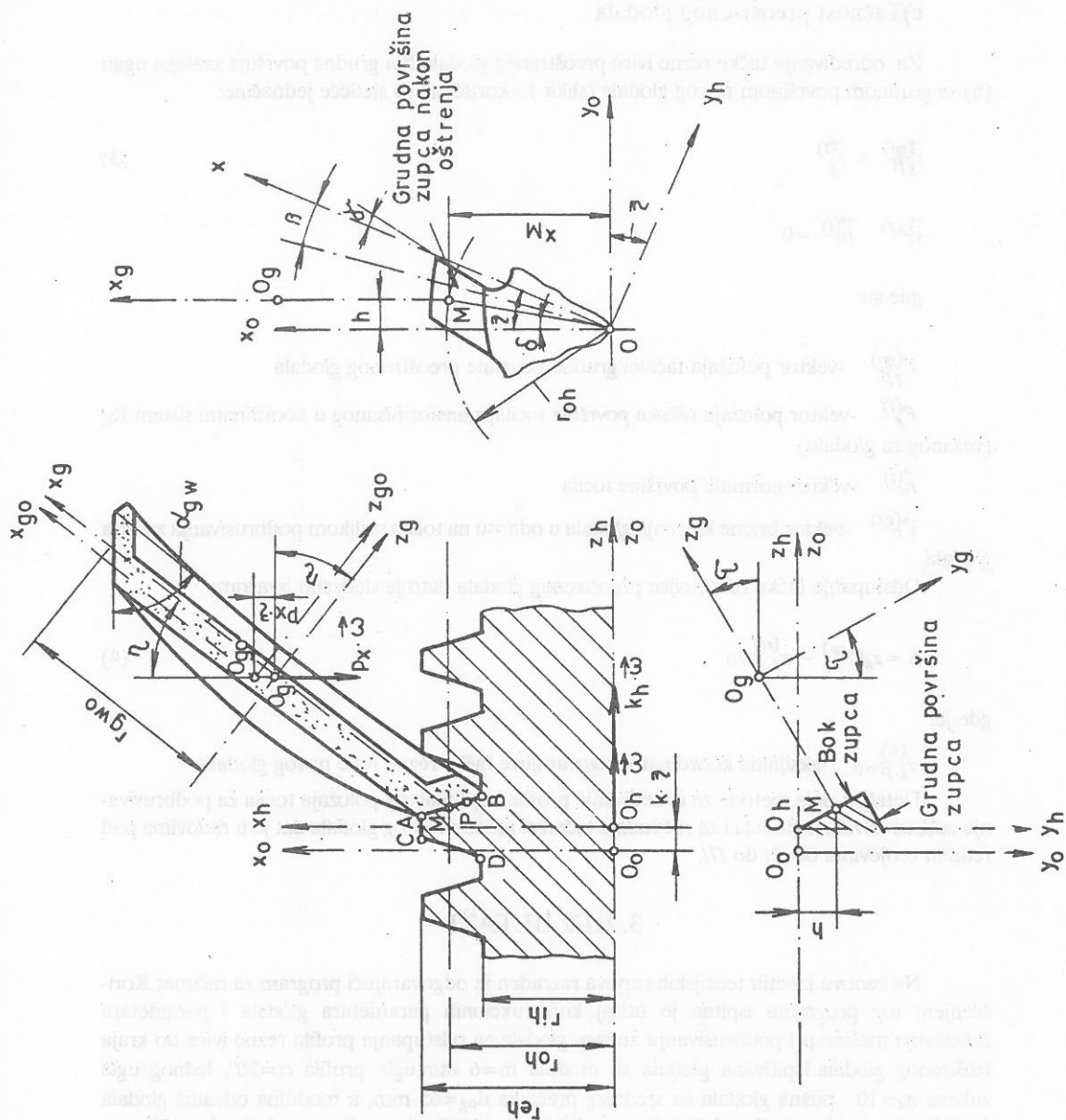
$$\vec{c}_g \cdot \vec{n}_g^{(g)} = 0 \quad (1)$$

2. U istim tačkama rezne ivice zubaca, vektor normale površine zubaca mora biti upravan na relativnu brzinu kretanja tocila u odnosu na glodalo. Matematička interpretacija tog uslova je:

$$\vec{v}_g^{(t,g)} \cdot \vec{n}_g^{(g)} = 0 \quad (2)$$

b) Optimalne vrednosti parametara podbrusivanja odvalnih glodala

Ispitivanja su pokazala, da u slučaju podbrusivanja zubaca glodala točilom čija osa zaklapa sa osom glodala ugao koji odgovara uglu uspona zavojne površine zubaca glodala ($\tau = \omega_0 g$) $T = Oog$, gubi se tačnost glodalsa nakon njegovog preoštravanja po grudnoj površini, tj. menja se ugao profila i debljina zubaca. U cilju zadržavanja tačnosti koju poseduje novo glodalo, neophodno je odrediti optimalan položaj tocila prilikom podbrusivanja zubaca. S obzirom, da u slučaju koturastog i lončastog tocila postoje samo tri tehnološka parametra za umeštanje tocila: izmicanje (h) i uglovi (τ) i (η) (slika 1.), a u slučaju prstastog tocila izmicanje (h) i ugao nagiba tocila (τ_p), nije moguće dobiti u potpunosti identičan profil rezne ivice novog i preoštravog glodala (za to bi bio potreban beskonačan broj parametara umeštanja tocila), ali se može obezbediti isti ugao nagiba spojne prave krajnjih tačaka profila i ista debljina zupca novog i preoštravog glodala. Znači, razlikuju se profili rezne ivice novog i preoštravog glodala, ali kao što će se iz kasnije prezentiranih rezultata videti, ta odstupanja su u granicama propisanih tolerancija odvalnih glodala. Matematička interpretacija uslova optimalnog položaja tocila pri podbrusivanju zubaca glodala daje sistem od 16 jednačina sa istim brojem nepoznatih. S obzirom na karakter, taj sistem jednačina rešava se iterativnim postupkom.



Slika 1. Geometrija i kinematika podbrusivanja zuba odvalnih glodala sa lončastim točilom

c) Tačnost preoštrene glodala

Za određivanje tačke rezne ivice preoštrene glodala, čija grudna površina zaklapa ugao (b) sa grudnom površinom novog glodala (slika 1.), korišćene su sledeće jednačine:

$$\vec{r}_{g\beta}^{(gp)} = \vec{r}_g^{(t)} \quad (3)$$

$$\vec{v}_t^{(gt)} \cdot \vec{n}_t^{(t)} = 0$$

gde su:

$\vec{r}_{g\beta}^{(gp)}$ -vektor položaja tačaka grudne površine preoštrene glodala

$\vec{r}_g^{(t)}$ -vektor položaja tačaka površine tocila, transformisanog u koordinatni sistem K_g (vezanog za glodalo)

$\vec{n}_t^{(t)}$ -vektor normale površine tocila

$\vec{v}_t^{(gt)}$ -vektor brzine kretanja glodala u odnosu na točilo prilikom podbrusivanja zubaca glodala

Odstupanje tačke rezne ivice preoštrene glodala dato je sledećim izrazom:

$$\Delta = z_{g\beta}^{(n)} - z_g^{(n)} = 0 \quad (4)$$

gde je:

$z_{g\beta}^{(n)} = 0$ -aksijalna koordinata odgovarajuće tačke rezne ivice novog glodala.

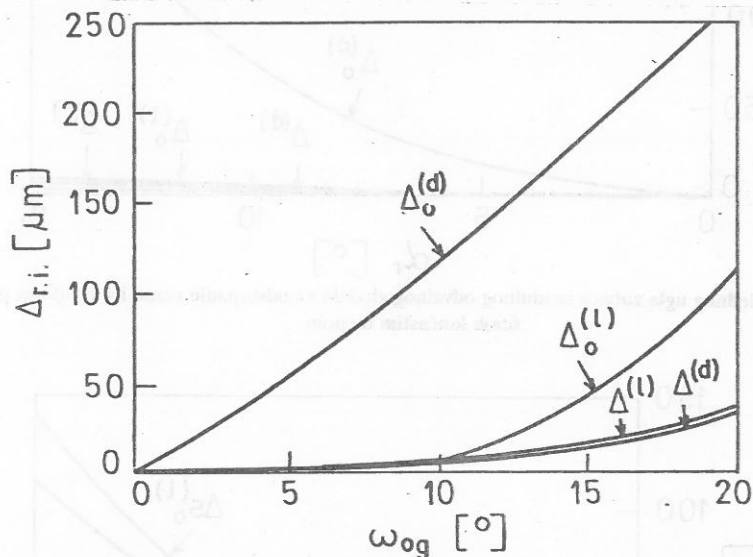
Detaljan opis metode za određivanje profila i optimalnog položaja tocila za podbrusivanje zubaca odvalnih glodala i za računanje tačnosti preoštravanja glodala dat je u radovima pod rednim brojevima od /4/ do /7/.

3. REZULTATI

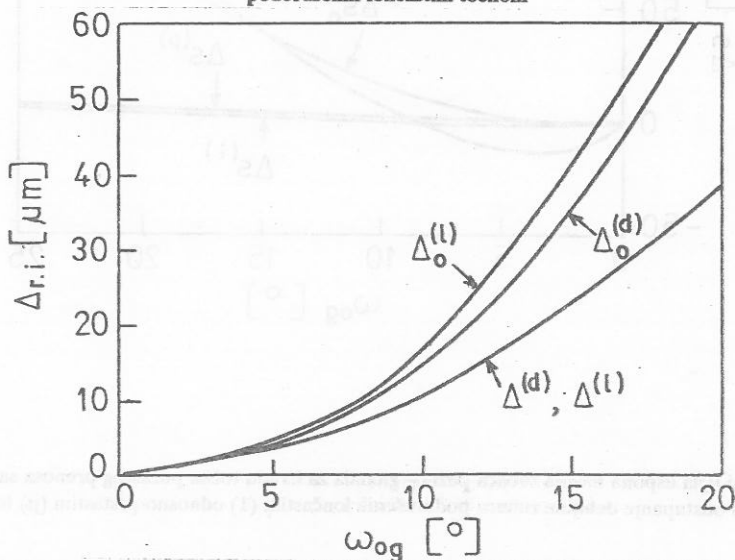
Na osnovu iznetih teorijskih osnova razrađen je odgovarajući program za računar. Korišćenjem tog programa ispitan je uticaj konstrukcionih parametara glodala i parametara umeštanja mašine pri podbrusivanju zubaca glodala, na odstupanja profila rezne ivice do kraja izoštrene glodala. Ispitivana glodala su modula $m=6$ mm, ugla profila $\alpha=20^\circ$, lednog ugla zubaca $\alpha_r=10^\circ$, pužna glodala su srednjeg prečnika $d_{og}=65$ mm, a modulna odvalna glodala prečnika $d_{og}=110$ mm. Zupci glodala su podbrušeni sa lončastim točilom prečnika $d_{lt}=100$ mm, odnosno prstasti točilom srednjeg prečnika $d_{pto}=9$ mm.

Deo dobijenih rezultata prikazan je na slikama 2. do 5. Pri tome, sa $\Delta_{r.i.}$ obeležena su maksimalna odstupanja rezne ivice do kraja izoštrene glodala, i to $\Delta_o^{(d)}$ i $\Delta_o^{(l)}$ odstupanja desnog odnosno levog boka zupca (na slici 1. ti bokovi obeleženi su sa \overline{AB} odnosno \overline{CD}), pod-

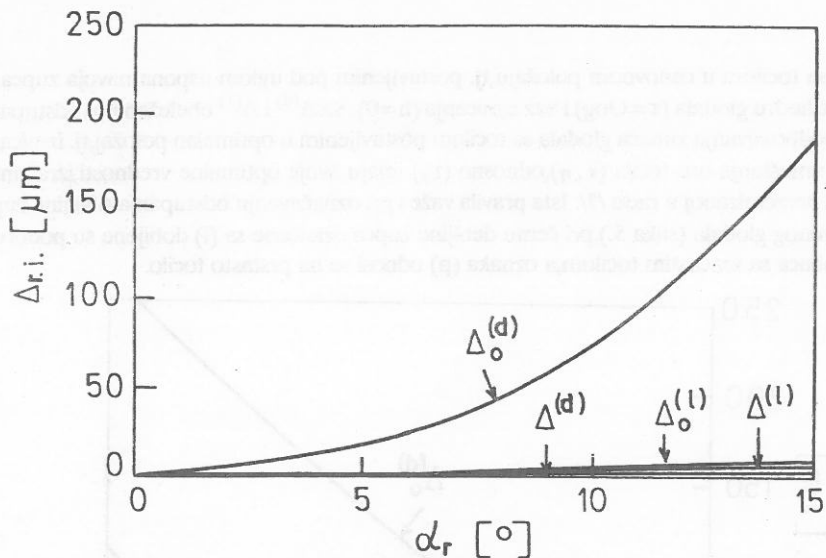
brušenog sa točilom u osnovnom položaju, tj. postavljenim pod uglom uspona navoja zupca na srednjem cilindru glodala ($\tau=0^\circ$) i bez izmicanja ($h=0$). Sa $\Delta^{(d)}$ i $\Delta^{(l)}$ obeležena su odstupanja za slučaj podbrusivanja zubaca glodala sa točilom postavljenim u optimalan položaj, tj. izmicanje h i uglovi umeštanja ose točila (τ, η), odnosno (τ_p) imaju svoje optimalne vrednosti, izračunate po metodi prezentiranoj u radu [7]. Ista pravila važe i pri označavanju odstupanja debljine zupca Δ_s preoštreanog glodala (slika 5.), pri čemu debljine zupca označene sa (l) dobijene su podbrusivanjem zubaca sa lončastim točilom, a oznaka (p) odnosi se na prstasto točilo.



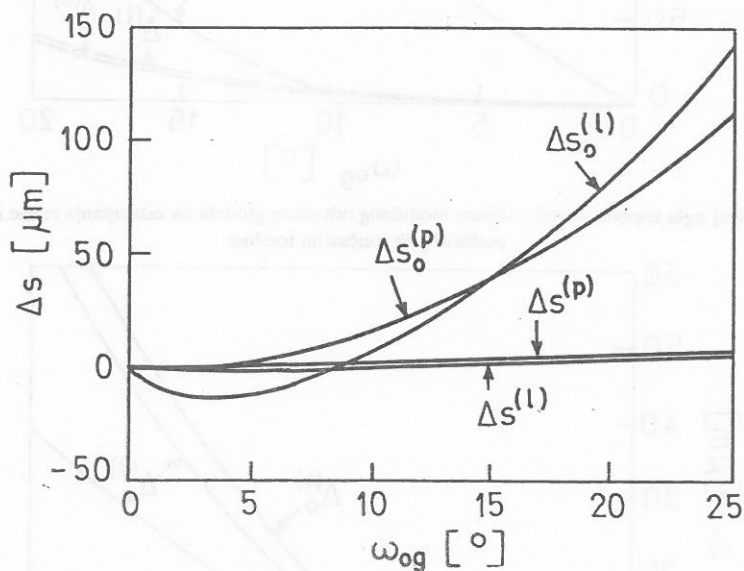
Slika 2. Uticaj ugla uspona navoja zubaca modulnog odvalnog glodala na odstupanja rezne ivice zubaca podbrušanih lončastim točilom



Slika 3. Uticaj ugla uspona navoja zubaca modulnog odvalnog glodala na odstupanja rezne ivice zubaca podbrušanih prstastim točilom



Slika 4. Uticaj lednog ugla zubaca modulnog odvalnog glodala na odstupanje rezne ivice zubaca podbrušenih lončastim tocilom



Slika 5. Uticaj ugla uspona navoja zubaca pužnog glodala za izradu točka pužastog prenosa sa brušenim pužem na odstupanje debljine zubaca podbrušenih lončastim (l) odnosno prstastim (p) tocilom

Na osnovu rezultata ispitivanja mogu se izvesti sledeći zaključci:

1. Ugao uspona navoja zubaca odvalnih glodala ima veliki uticaj na odstupanja rezne ivice preoštrene glodala (slike 2. i 3.). Nešto manjeg uticaja je ledni ugao zubaca (slika 4.).

2. U slučaju podbrusivanja zubaca sa točilom u osnovnom položaju, odstupanja su mnogo veća pri brušenju sa lončastim točilom (slika 2.) nego ako se obrada vrši prstastim točilom (slika 3.). Međutim, postavljanjem točila u optimalan položaj, odstupanja su približno ista.

3. Sa postavljanjem točila u optimalan položaj može se postići konstantna debljina zubaca po celoj aktivnoj dužini zupca (slika 5.).

Nameće se kao glavni zaključak, da sa postavljanjem točila u optimalan položaj pri podbrusivanju zubaca, znatno se povećava tačnost preoštrene odvalnog glodala.

4. LITERATURA

/1/ W. Dianlong and Nanxun, "The Principle of Accurate Relief Grinding Hob", Int. Conf. on Gearing, Zhengzhou, 1988., Proceedings pp. 255-258.

/2/ Z. Shusen and J. Dayou, "Profile Design and Sharpened Error Compensation of Gear Hobs", Int. Conf. on Gearing, Zhengzhou, 1988., Proceedings pp. 279-284.

/3/ Y. Nakano, H. Kato, S. Hasegawa, H. Oka, M. Owa, and Y. Kajitori, "Relief Grinding of Hob for Toothed Workpiece Having Arbitrary Profile", First Int. Conf. on New Manufacturing Technology, Chiba, 1990., Proceedings pp. 329-334.

/4/ V. Simon, "Compyter Aided Design of Hobs for Gear Manufacture of the Worm Gear Drive with Ground Worm", 20th Int. Machine Tool Design and Research Conf., Birmingham, 1979., Proceedings pp. 275-288.

/5/ V. Simon, "Grinding Wheel Profile for Hob Relief Grinding", Journal of Mechanical Design, Trans. ASME, Vol. 104, 1982., pp 734-742.

/6/ V. Simon, "Compyter Aided Manufacturing of High Precision Hobs", Int. Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 28, 1988., pp. 443-452.

/7/ V. Simon, "Improvements in Hob Precision", XII.th Conf. on Machine Tools, Budapest, 1992.

INFLUENCE OF HOB MANUFACTURING ON HOB PRECISION

The influence of machine setting for hob tooth relief grinding on the precision of the resharpened hob is investigated. Involute gear hobs and hobs for manufacturing gears of different types of worm gear drives are investigated. The hob teeth are relief ground by conical, dished, or pencil type grinding wheels. By using the corresponding computer program, the influence of hob lead angle and relief angle of teeth on the errors of the resharpened hob is determined. On the basis of the obtained results the conclusion can be made, that by the introduction of the optimal values of machine setting parameters, the tooth profile errors and the tooth thickness error of the resharpened hob are considerably reduced.

UTVRDJIVANJE KORELACIONIH VEZA PARAMETARA REZANJA U OBRADI CILINDRIANIKA ODVALNIM GLODANJEM

DETERMINATION OF THE CUTTING PARAMETERS RELATIONSHIPS DURING CILINDRICAL GEAR HOBBING

Vlastimir Pejić, FTN Institut za proizvodno mašinstvo Novi Sad
Bogdan Sovilj,***

REZIME

Definition and analysis of basic correlation relationships between cutting process parameters in the modern production conditions present elements for manufacturing process optimisation and control.

In the paper correlation relationship between parameters determined through the experimental data, with maximal support of computer, is solid base for optimisation and control of manufacturing process in hobbing milling cylindrical gears is presented.

Polynomial approximation of wear curves is very reliable, because of very high values of correlation coefficients, but polynomial approximation of arc-radii arithmetic roughness must be determined for more experimental points.

* *Pejić, ing. maš. ing.*
** *dr. Sovilj Bogdan, docent*

1. UVOD

Zavisnost ulaznih i izlaznih parametara obradnog procesa nemaju karakter funkcionalnih zakona, veke procese određenog stepena korelativnosti.

Utvrđivanje korelacionih veza parametara rezanja, uz maksimalnu podršku računara, (statistička obrada podataka, polinomna aproksimacija krivih, crtanje krivih habanja, i dr.) predstavlja solidnu podlogu za optimizaciju i upravljanje obradnim procesom u obradi cilindričnih zupčanika odvalnim glodanjem.

Kako se u praksi pojave retko pokoravaju funkcionalnim zakonima, problem se svodi na definisanje korelacionih zavisnosti između pojedinih obeležja posmatranog skupa. Korelativnost pojedinih obeležja je u stvari mera njihove stohastičke zavisnosti.

Osnovni problem analitičkog reprezentovanja korelacione zavisnosti je izbor opšteg oblika bazne funkcije korelacione veze. Izbor se najčešće vrši preko atlasa funkcija. Iz game poznatih funkcija bira se ona koja najbolje odgovara eksperimentalnim podacima.

Parametri izabrane bazne funkcije mogu se odrediti na osnovu više kriterijuma. Najčešće u upotrebi je:

- kriterijum srednje kvadratne aproksimacije i
- kriterijum "min-max" aproksimacije.

Kod ovih aproksimacija kriterijum za određivanje konstanti svodi se na minimizaciju merne greške. Da bi se uspostavile osnovne korelacione veze potrebno je sagledati sve informacije bitne za analizu procesa.

U procesima rezanja te informacije odnose se na lat, predmet obrade, SHP, i dr., odnosno: Obradak: cilindrični zupčanik sa pravim zubima

- geometrijske, tribološke i druge karakteristike alata,
- strukturne, mehaničke i druge karakteristike predmeta obrade,
- podmazujuće, rashladne i druge karakteristike SHP, i
- gubitke energije i mase pri određenim uslovima obrade.

2. EKSPERIMENTALNA ISPITIVANJA

Plan i uslovi izvođenja eksperimenta

Utvrđivanje pouzdane funkcije stanja u laboratorijskim uslovima izvršeno je primenom metode modelskog ispitivanja i savremenim metodama matematičke statistike zasnovane na višefaktornom eksperimentu.

Planirano je izvođenje sedam eksperimenata za obradu alatima bez prevlake. Četiri eksperimenta predstavljaju sami za sebe mnogofaktorni kompleks 2^2 i mogu biti izraženi u obliku vrhova kvadrata, dok se za tri eksperimenta odnose na ponavljanje u centralnoj tački kvadrata, zbog procene tačnosti eksperimenta. (tabela 1a.).

Ispitivanja su izvedena u laboratoriji Instituta za proizvodno mašinstvo, Fakulteta tehničkih nauka, pri sledećim uslovima:

* Obradak: cilindričanik sa pravim zubima

| | |
|--------------------------|-----------------------|
| - modul | $m_n = 5 \text{ mm}$ |
| - broj zuba: | $z_2 = 32$ |
| - dužina venca zupčanika | $l_v = 32 \text{ mm}$ |
| - ugao dodirnice | $\alpha = 20^\circ$ |
| - materijal zupčanika | Č 4321 |

** Alat: jednozubo odvalno glodalo izradjeno u PDS Fabrika menjača Hrasnica, kao model integralnog odvalnog glodala

| | |
|-------------------------------------|------------------------|
| - prečnik odvalnog glodala | $D_g = 125 \text{ mm}$ |
| - broj hodova | $z_1 = 1$ |
| - broj žljebova po obimu od.glodala | $n_i = 15$ |
| - materijal | Č 6980 |

*** Mašina: Odvalna glodalica MODUL-ZFWZ-250X5A proizvođača WE STAR-KSTROM- Anlagenbau, Karl-Marx-Stadt, DDR.

Pri ovim ispitivanjima, kao sredstvo za hlađenje i podmazivanje je korišćeno ulje TEXACO CLERTEX-D JUS B.H3.526.

Prema postavljenom modelu određivanja regresionih funkcija brzina i korak su bili promenljivi, a aksijalno pomeranje konstantno za sve eksperimente i iznosilo je $a_p = 1,0 \text{ mm}$.

Merenje širine pojasa habanja na lednim površinama je vršeno na univerzalnom alatnom mikroskopu, a zatim fotografisano sa fotografskim aparatom postavljenim na alatni mikroskop pomoću dodatih elemenata, uz primenu specijalnog osvetljenja.

Merenje hrapavosti obradene površine na kompjuterizovanom mernom uređaju TALLYSURF 6 u mernoj laboratoriji Mašinskog fakulteta u Kragujevcu.

3. Utvrđivanje korelacionih veza: habanje - vreme rezanja - kvalitet obradene površine

Za obradu cilindričanika alatima od BČ bez prevlake, definisane su sledeće korelacione zavisnosti u obliku polinoma trećeg stepena:

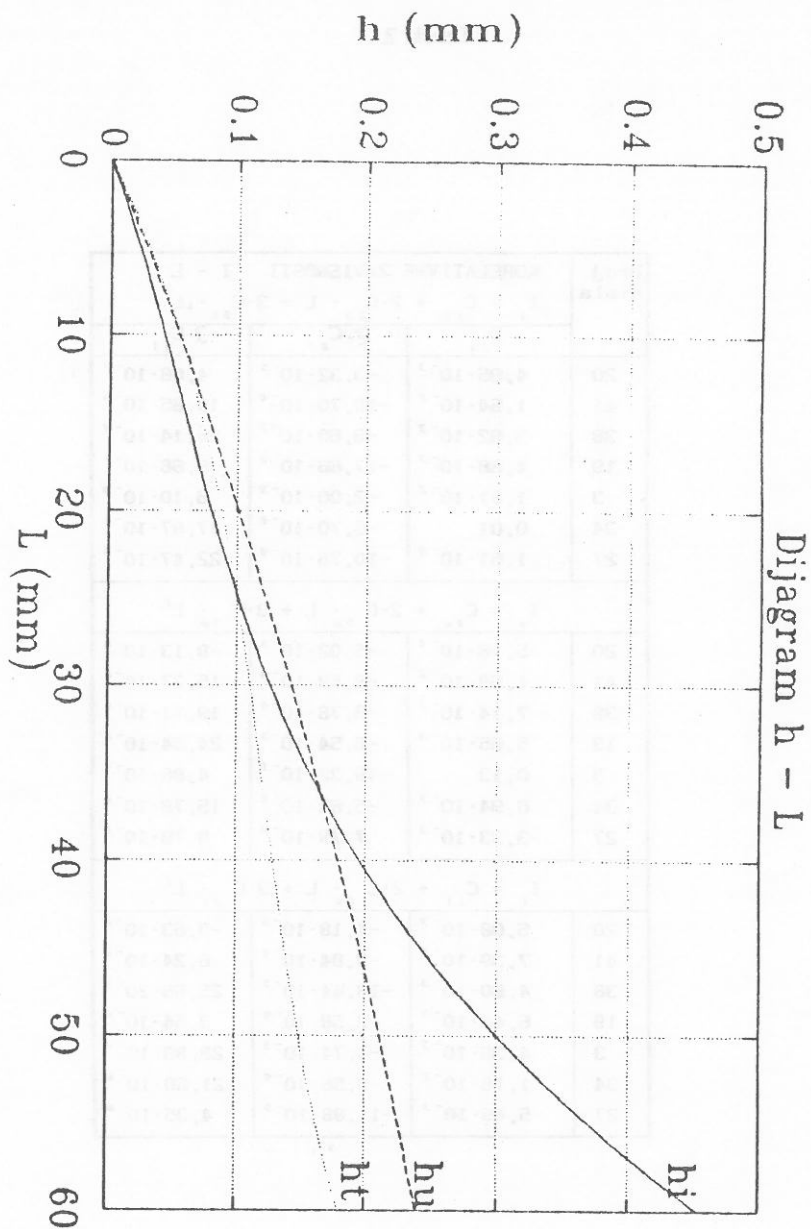
- parametara habanja h_1 , h_u , h_i i dužine obradnog venca zupčanika - tab. 1, sl. 3.1.
- intenziteta habanja alata i dužine obradnog venca zupčanika - tab. 2. i sl. 3.2.
- srednjeg aritmetičkog odstupanja profila i dužine ob. venca zupčanika - tab. 3 i sl. 3.3.
- srednjeg aritmetičkog odstupanja profila i parametara habanja - tab. 4 i sl. 3.4.

Tabela 1.

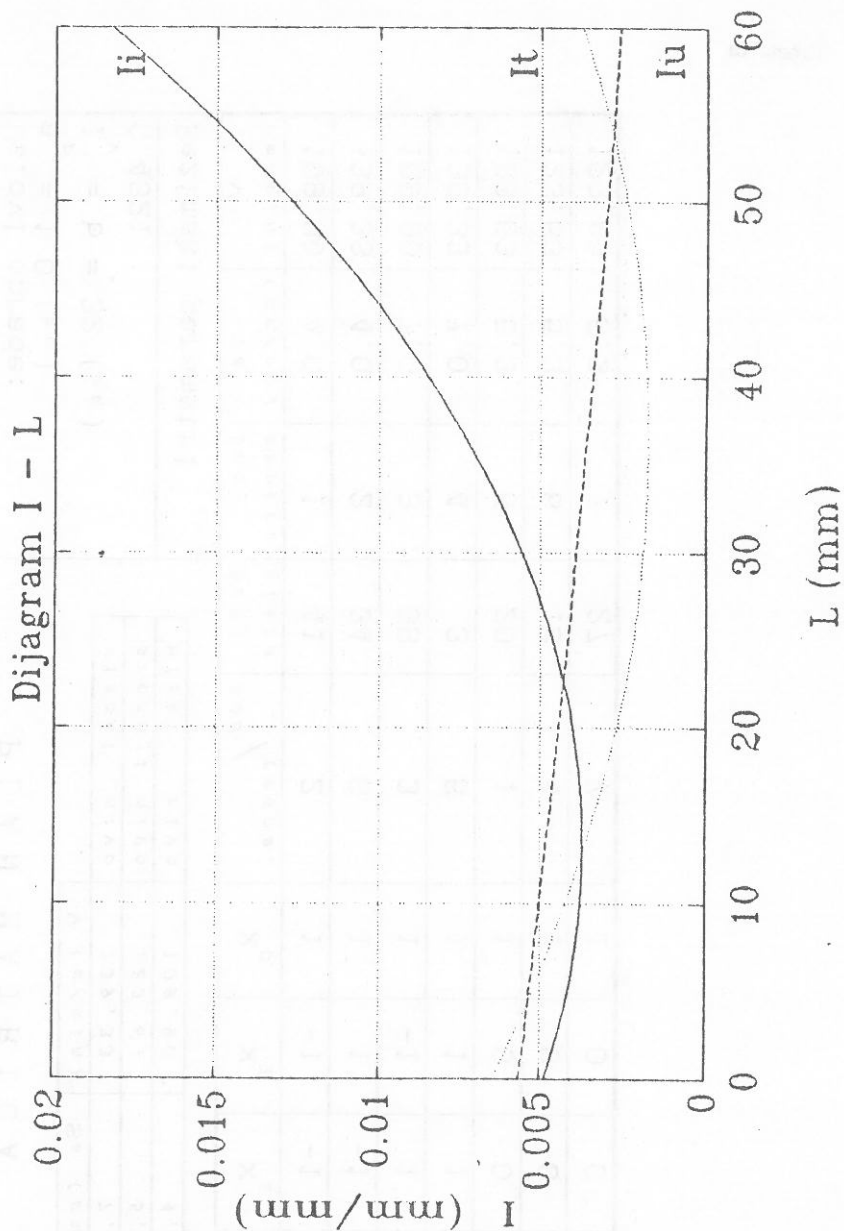
| Broj alata | KORELATIVNE ZAVISNOSTI $h - L$ $h_i = C_{1i} \cdot L + C_{2i} \cdot L^2 + C_{3i} \cdot L^3$ | | | Koeficijent korelacije r | Standardno odstupanje σ |
|--|--|-----------------------|-----------------------|-------------------------------|-----------------------------------|
| | C_{1i} | C_{2i} | C_{3i} | | |
| 20 | $4,95 \cdot 10^{-3}$ | $-1,66 \cdot 10^{-5}$ | $1,36 \cdot 10^{-7}$ | 0,9999 | 0,00230 |
| 41 | $1,54 \cdot 10^{-2}$ | $-5,35 \cdot 10^{-4}$ | $6,65 \cdot 10^{-6}$ | 0,9935 | 0,01800 |
| 38 | $3,92 \cdot 10^{-3}$ | $-3,30 \cdot 10^{-5}$ | $9,38 \cdot 10^{-7}$ | 0,9989 | 0,00951 |
| 19 | $4,86 \cdot 10^{-3}$ | $-8,83 \cdot 10^{-5}$ | $2,22 \cdot 10^{-6}$ | 0,9995 | 0,00998 |
| 3 | $1,81 \cdot 10^{-2}$ | $-1,00 \cdot 10^{-3}$ | $1,70 \cdot 10^{-5}$ | 0,9957 | 0,06335 |
| 34 | 0,01 | $-3,35 \cdot 10^{-4}$ | $5,99 \cdot 10^{-6}$ | 0,9961 | 0,02013 |
| 27 | $1,61 \cdot 10^{-2}$ | $-5,38 \cdot 10^{-4}$ | $7,49 \cdot 10^{-6}$ | 0,9999 | 0,00191 |
| $h_u = C_{1u} \cdot L + C_{2u} \cdot L^2 + C_{3u} \cdot L^3$ | | | | | |
| 20 | $5,18 \cdot 10^{-3}$ | $-2,51 \cdot 10^{-5}$ | $-2,71 \cdot 10^{-6}$ | 0,9741 | 0,00305 |
| 41 | $1,58 \cdot 10^{-2}$ | $-4,76 \cdot 10^{-4}$ | $5,09 \cdot 10^{-6}$ | 0,9851 | 0,02376 |
| 38 | $7,14 \cdot 10^{-3}$ | $-3,39 \cdot 10^{-4}$ | $6,57 \cdot 10^{-6}$ | 0,9910 | 0,06018 |
| 19 | $5,65 \cdot 10^{-3}$ | $-3,27 \cdot 10^{-5}$ | $8,18 \cdot 10^{-6}$ | 0,9936 | 0,01728 |
| 3 | 0,13 | $-9,66 \cdot 10^{-3}$ | $1,62 \cdot 10^{-4}$ | 0,9924 | 0,61076 |
| 34 | $6,94 \cdot 10^{-3}$ | $-2,81 \cdot 10^{-4}$ | $5,26 \cdot 10^{-6}$ | 0,9963 | 0,01314 |
| 27 | $-3,33 \cdot 10^{-3}$ | $3,89 \cdot 10^{-4}$ | $2,93 \cdot 10^{-6}$ | 0,9807 | 0,09190 |
| $h_t = C_{1t} \cdot L + C_{2t} \cdot L^2 + C_{3t} \cdot L^3$ | | | | | |
| 20 | $5,08 \cdot 10^{-3}$ | $-2,09 \cdot 10^{-5}$ | $-1,21 \cdot 10^{-6}$ | 0,9888 | 0,01872 |
| 41 | $7,39 \cdot 10^{-3}$ | $-1,92 \cdot 10^{-4}$ | $2,08 \cdot 10^{-6}$ | 0,9885 | 0,01302 |
| 38 | $4,80 \cdot 10^{-3}$ | $-9,22 \cdot 10^{-5}$ | $8,56 \cdot 10^{-7}$ | 0,9997 | 0,00214 |
| 19 | $6,44 \cdot 10^{-3}$ | $-1,29 \cdot 10^{-4}$ | $1,18 \cdot 10^{-6}$ | 0,9991 | 0,00458 |
| 3 | $4,36 \cdot 10^{-3}$ | $-2,37 \cdot 10^{-5}$ | $9,63 \cdot 10^{-7}$ | 0,9969 | 0,01076 |
| 34 | $1,16 \cdot 10^{-2}$ | $-4,76 \cdot 10^{-4}$ | $7,20 \cdot 10^{-6}$ | 0,9994 | 0,00447 |
| 27 | $5,49 \cdot 10^{-3}$ | $-8,94 \cdot 10^{-5}$ | $1,45 \cdot 10^{-6}$ | 0,9999 | 0,00021 |

Tabela 2

| Broj alata | KORELATIVNE ZAVISNOSTI I - L | | |
|--|--|------------------------|-----------------------|
| | $I_i = C_{1i} + 2 \cdot C_{2i} \cdot L + 3 \cdot C_{3i} \cdot L^2$ | | |
| | C_{1i} | $2 \cdot C_{2i}$ | $3 \cdot C_{3i}$ |
| 20 | $4,95 \cdot 10^{-3}$ | $-3,32 \cdot 10^{-3}$ | $4,08 \cdot 10^{-7}$ |
| 41 | $1,54 \cdot 10^{-2}$ | $-10,70 \cdot 10^{-4}$ | $19,95 \cdot 10^{-6}$ |
| 38 | $3,92 \cdot 10^{-3}$ | $-6,60 \cdot 10^{-5}$ | $28,14 \cdot 10^{-7}$ |
| 19 | $4,86 \cdot 10^{-3}$ | $-17,66 \cdot 10^{-5}$ | $6,66 \cdot 10^{-6}$ |
| 3 | $1,81 \cdot 10^{-2}$ | $-2,00 \cdot 10^{-3}$ | $5,10 \cdot 10^{-3}$ |
| 34 | 0,01 | $-6,70 \cdot 10^{-4}$ | $17,97 \cdot 10^{-6}$ |
| 27 | $1,61 \cdot 10^{-2}$ | $-10,76 \cdot 10^{-4}$ | $22,47 \cdot 10^{-6}$ |
| $I_u = C_{1u} + 2 \cdot C_{2u} \cdot L + 3 \cdot C_{3u} \cdot L^2$ | | | |
| 20 | $5,18 \cdot 10^{-3}$ | $-5,02 \cdot 10^{-3}$ | $-8,13 \cdot 10^{-8}$ |
| 41 | $1,58 \cdot 10^{-2}$ | $-9,52 \cdot 10^{-4}$ | $15,27 \cdot 10^{-6}$ |
| 38 | $7,14 \cdot 10^{-3}$ | $-6,78 \cdot 10^{-4}$ | $19,71 \cdot 10^{-6}$ |
| 19 | $5,65 \cdot 10^{-3}$ | $-6,54 \cdot 10^{-5}$ | $24,54 \cdot 10^{-8}$ |
| 3 | 0,13 | $-19,32 \cdot 10^{-3}$ | $4,86 \cdot 10^{-4}$ |
| 34 | $6,94 \cdot 10^{-3}$ | $-5,62 \cdot 10^{-4}$ | $15,78 \cdot 10^{-6}$ |
| 27 | $-3,33 \cdot 10^{-3}$ | $7,78 \cdot 10^{-4}$ | $8,79 \cdot 10^{-6}$ |
| $I_t = C_{1t} + 2 \cdot C_{2t} \cdot L + 3 \cdot C_{3t} \cdot L^2$ | | | |
| 20 | $5,08 \cdot 10^{-3}$ | $-4,18 \cdot 10^{-3}$ | $-3,63 \cdot 10^{-8}$ |
| 41 | $7,39 \cdot 10^{-3}$ | $-3,84 \cdot 10^{-4}$ | $6,24 \cdot 10^{-6}$ |
| 38 | $4,80 \cdot 10^{-3}$ | $-18,44 \cdot 10^{-5}$ | $25,68 \cdot 10^{-7}$ |
| 19 | $6,44 \cdot 10^{-3}$ | $-2,58 \cdot 10^{-4}$ | $3,54 \cdot 10^{-6}$ |
| 3 | $4,36 \cdot 10^{-3}$ | $-4,74 \cdot 10^{-5}$ | $28,89 \cdot 10^{-4}$ |
| 34 | $1,16 \cdot 10^{-2}$ | $-9,56 \cdot 10^{-4}$ | $21,60 \cdot 10^{-6}$ |
| 27 | $5,49 \cdot 10^{-3}$ | $-17,88 \cdot 10^{-5}$ | $4,35 \cdot 10^{-6}$ |



Sl. 3.1. Krive habanja jednozubnog odvalnog glodala bez prevlake
za jednu eksperimentalnu tačku (alat br. 19)



Sl. 3.2 Krive intenziteta habanja jednozubog odvalnog glodala bez prevlake za jednu eksperimentalnu takog odstupanja profila u jednu eksperimentalnu tačku (alat br. 19)

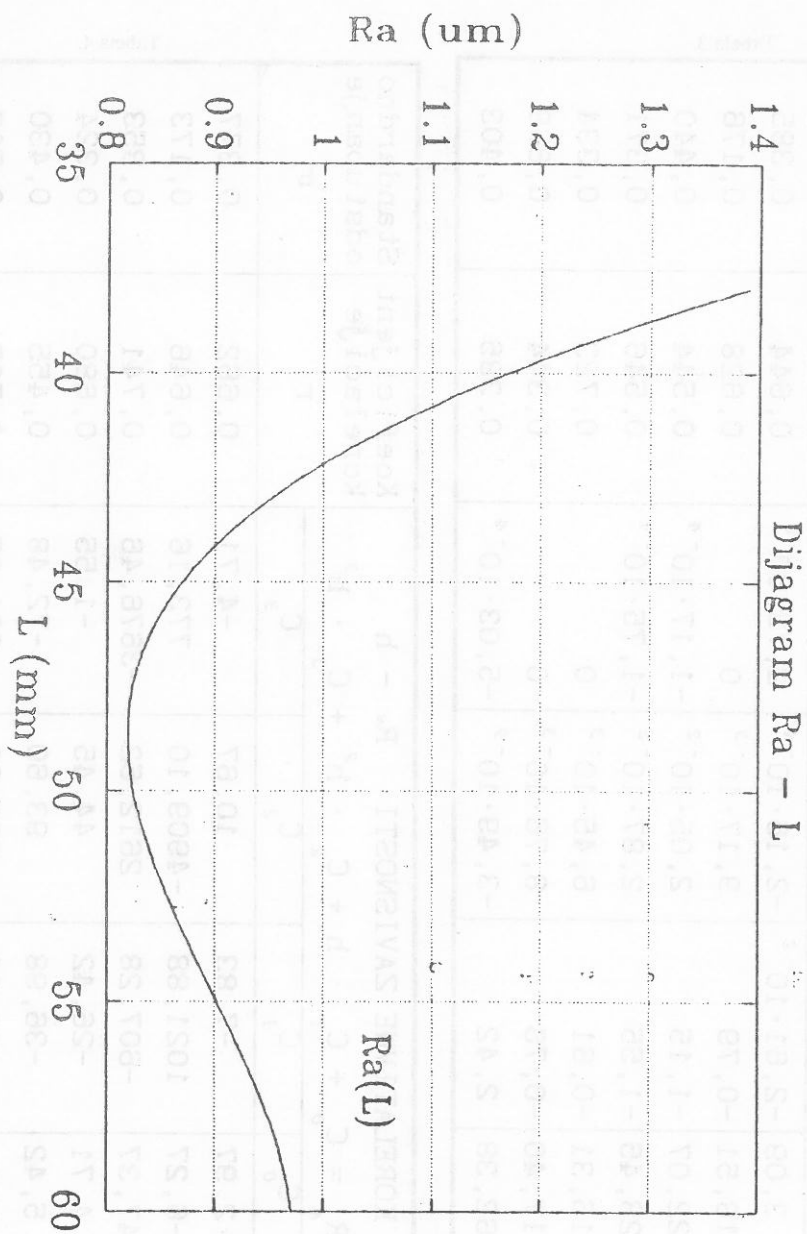
| Uslovi obrade: | | | | P L A N M A T R I C A | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|------------------|----------------------|-----------------------|---|-------|-------|-------|-------|--|---|--|----------------------|-----------------------|--------|------|--------|-----|---------|------|--------|-----|-------|------|--------|-----|
| $a_p = 1,0 \text{ (mm)}$ | | | | <table><tr><th colspan="2">V</th><th>$V \text{ (mm/min)}$</th><th>$S_a \text{ (mm/ob)}$</th></tr><tr><td>visoki</td><td>nivo</td><td>139,33</td><td>7,0</td></tr><tr><td>srednji</td><td>nivo</td><td>123,63</td><td>5,3</td></tr><tr><td>niski</td><td>nivo</td><td>109,90</td><td>4,0</td></tr></table> | | | | | | V | | $V \text{ (mm/min)}$ | $S_a \text{ (mm/ob)}$ | visoki | nivo | 139,33 | 7,0 | srednji | nivo | 123,63 | 5,3 | niski | nivo | 109,90 | 4,0 |
| V | | $V \text{ (mm/min)}$ | $S_a \text{ (mm/ob)}$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| visoki | nivo | 139,33 | 7,0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| srednji | nivo | 123,63 | 5,3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| niski | nivo | 109,90 | 4,0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| $l_v = b = 32 \text{ (mm)}$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Č.4321 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Režimski parametri | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| V (mm/min) | S_a (mm/ob) | Broj exper. | Broj alata | Kod / redos. | X_0 | X_1 | X_2 | L_n | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 109,90 | 4,0 | 1 | 41 | 2 | 1 | -1 | -1 | 40,0 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 139,33 | 4,0 | 2 | 34 | 6 | 1 | 1 | -1 | 32,0 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 109,90 | 7,0 | 3 | 38 | 3 | 1 | -1 | 1 | 39,5 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 139,33 | 7,0 | 4 | 3 | 5 | 1 | 1 | 1 | 32,0 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 123,63 | 5,3 | 5 | 20 | 1 | 1 | 0 | 0 | 43,0 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 123,63 | 5,3 | 6 | 19 | 4 | 1 | 0 | 0 | 40,0 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 123,63 | 5,3 | 7 | 27 | 7 | 1 | 0 | 0 | 26,0 | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Tabela 3.

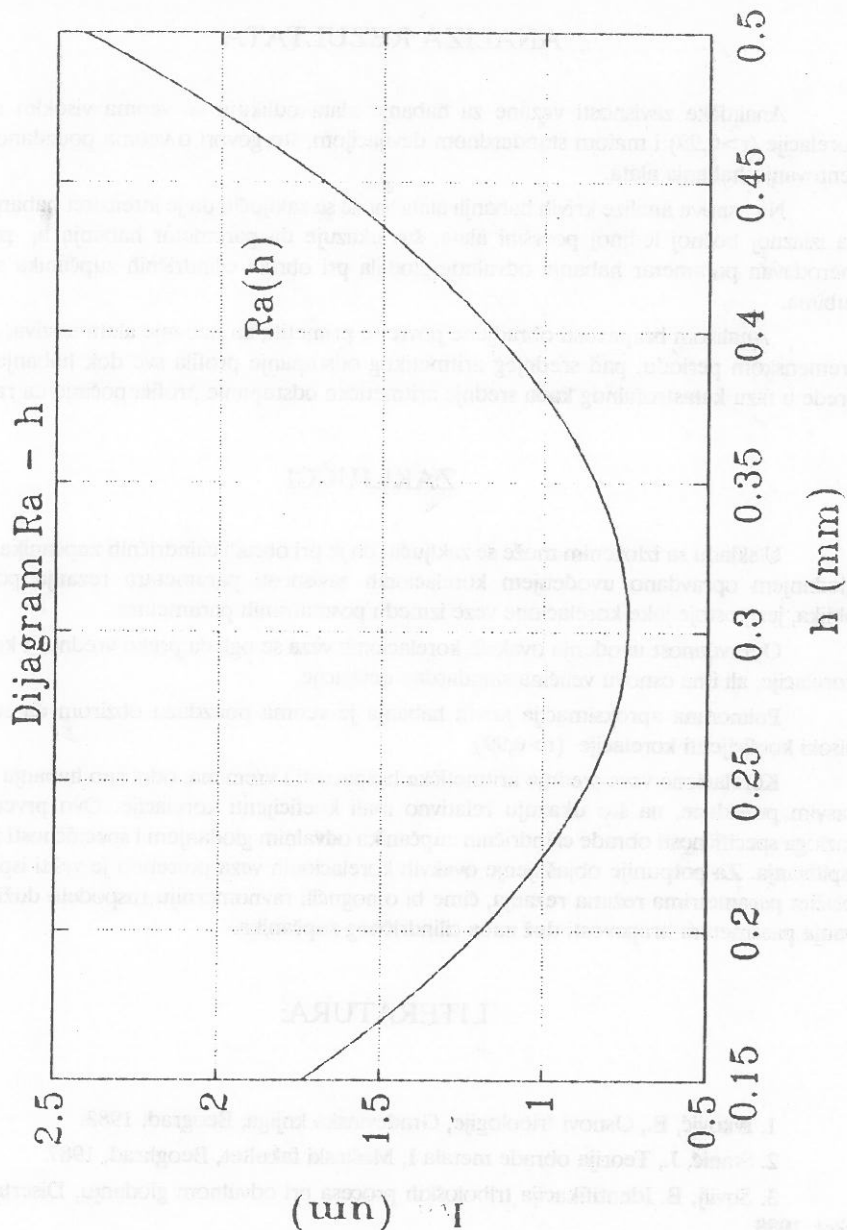
| Broj alata | KORELATIVNE ZAVISNOSTI $R_a - L$ $R_a = C_0 + C_1 \cdot L + C_2 \cdot L^2 + C_3 \cdot L^3$ | | | Koeficijent korelacije r | Standardno odstupanje σ |
|---------------|---|-----------------------|-----------------------|----------------------------------|--------------------------------------|
| | C_0 | C_1 | C_2 | C_3 | |
| 20 | 3,09 | $-2,61 \cdot 10^{-2}$ | $-2,16 \cdot 10^{-4}$ | $2,72 \cdot 10^{-6}$ | 0,385 |
| 41 | 18,51 | -0,79 | $9,17 \cdot 10^{-3}$ | 0 | 0,176 |
| 38 | 22,07 | -1,15 | $2,05 \cdot 10^{-2}$ | $-1,17 \cdot 10^{-4}$ | 0,440 |
| 19 | 28,45 | -1,55 | $2,87 \cdot 10^{-2}$ | $-1,75 \cdot 10^{-4}$ | 0,371 |
| 3 | 15,31 | -0,61 | $6,45 \cdot 10^{-3}$ | 0 | 0,334 |
| 34 | 17,40 | -0,76 | $8,76 \cdot 10^{-3}$ | 0 | 0,669 |
| 27 | -62,38 | 2,42 | $-3,49 \cdot 10^{-9}$ | $-5,03 \cdot 10^{-4}$ | 0,403 |

Tabela 4.

| Broj alata | KORELATIVNE ZAVISNOSTI $R_a - h$ $R_a = C_0 + C_1 \cdot h + C_2 \cdot h^2 + C_3 \cdot h^3$ | | | Koeficijent korelacije r | Standardno odstupanje σ |
|---------------|---|---------|----------|----------------------------------|--------------------------------------|
| | C_0 | C_1 | C_2 | C_3 | |
| 20 | -2,97 | -7,83 | 10,67 | -4,71 | 0,377 |
| 41 | -6,27 | 1021,88 | -4909,10 | 773,16 | 0,173 |
| 38 | 47,37 | -607,28 | 2612,52 | -3676,46 | 0,353 |
| 19 | 4,71 | -26,42 | 44,45 | -1,55 | 0,324 |
| 3 | 5,42 | -36,98 | 93,60 | -72,48 | 0,430 |
| 34 | 17,43 | -183,04 | 679,23 | -831,25 | 0,506 |
| 27 | 38,66 | -283,66 | 697,34 | -552,01 | 0,296 |



Slika 3.3. Promena srednjeg aritmetičkog odstupanja profila u zavisnosti od dužine obrađenog venca zupčanika za jednu eksperimentalnu tačku (alat br. 19)



Slika 3.4. Promena srednjeg aritmetičkog odstupanja profila u zavisnosti od habanja jednozubog odvalnog glodala bez prevlake za jednu eksperimentalnu tačku (alat br. 19)

ANALIZA REZULTATA

Analitičke zavisnosti vezane za habanje alata odlikuju se veoma visokim stepenom korelacije ($r > 0,99$) i malom standardnom devijacijom, što govori o veoma pouzdanom reprezentovanju habanja alata.

Na osnovu analize krivih habanja alata može se zaključiti da je intenzitet habanja najveći na izlaznoj bočnoj ledjnoj površini alata, što ukazuje da parametar habanja h_i predstavlja merodavan parametar habanja odvalnog glodala pri obradi cilindričnih zupčanika sa pravim zubima.

Analizom hrapavosti obradjene povre se primetiti, da habanje alata izaziva, u jednom vremenskom periodu, pad srednjeg aritmetikog odstupanje profila sve dok habanje alata ne prede u fazu katastrofalnog kada srednje aritmetičko odstupanje profila počinje da raste.

ZAKLJUČCI

U skladu sa izloženim može se zaključiti da je pri obradi cilindričnih zupčanika odvalnim glodanjem opravdano uvođenjem korelacionih zavisnosti parametara rezanja polinomnog oblika, jer postoje jake korelacione veze između posmatranih parametara.

Opravdanost uvođenja ovakvih korelacionih veza se ogleda preko vrednosti koeficijenta korelacije, ali i na osnovu veličina standardne devijacije.

Polinomna aproksimacija krivih habanja je veoma pouzdana obzirom da su dobijeni visoki koeficijenti korelacije ($r > 0,99$).

Korelacione veze srednje aritmetičke hrapavosti i vremena, odnosno habanja alata nisu sasvim pouzdane, na što ukazuju relativno mali koeficijenti korelacije. Ovo prvenstveno iz razloga specifičnosti obrade cilindričnih zupčanika odvalnim glodanjem i specifičnosti modelskih ispitivanja. Za potpunije objašnjenje ovakvih korelacionih veza potrebno je vršiti ispitivanja sa blažim parametrima režima rezanja, čime bi omogućili ravnomerniju raspodelu dužina ocenjivanja parametara hrapavosti duž zuba cilindričnog zupčanika.

LITERATURA:

1. Ivković, B., Osnovi tribologije, Građevinska knjiga, Beograd, 1983.
2. Stanić, J., Teorija obrade metala I, Mašinski fakultet, Beograd, 1987.
3. Sovilj, B. Identifikacija triboloških procesa pri odvalnom glodanju, Disertacija, Novi Sad, 1988.
4. Sovilj, B., Vukelić, M., Pejić, V., i dr., Uticaj režima rezanja na postojanost oslojenih odvalnih glodala u modelskim uslovima, YUTRIB'92, Kragujevac, 1991.
5. Todić, B., Utvrđivanje korelativnih veza parametara rezanja kao podloge za razvoj ekspertnih sistema u obradi struganjem, Magistarski rad, Kragujevac, 1991.

ODREDJIVANJE PARAMETARA OBRADLJIVOSTI PRI BUŠENJU POLIMERNIH KOMPOZITNIH MATERIJALA OJAČANIH UGLJENINIM VLAKNIMA

*Sanja Janković, dipl.in., asistent-pripravnik
Dr Miloš Glavonjić, dipl. inž., docent
Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu*

1. UVOD

Početkom tridesetih godina ovog veka su se kompozitni polimerni materijali visoke čvrstoće (PKMV) koristili za izradu sekundarnih delova, na primer avionskih obloga. Sve više se širi oblast primene PKMV u tehnici, zbog poboljšanih fizičko-mehaničkih svojstava ovih materijala, kao što su visoka zatezna čvrstoća, otpornost na zamor, krutost, sposobnost prigušenja vibracija i mala težina. Danas se PKM ojačani ugljeničnim vlaknima primenjuju za izradu primarnih komponenata.

2. SPECIFIČNOSTI PROCESA BUŠENJA POLIMERNIH KOMPOZITNIH MATERIJALA OJAČANIH UGLJENIČNIM VLAKNIMA

Pri procesu bušenja PKM ojačanih ugljeničnim vlaknima mora se voditi računa o graničnim uslovima koji se razlikuju od onih poznatih iz teorije obrade metala rezanjem (2): - Kompozitni materijali se mogu rezati samo u ograničenom temperaturnom opsegu. Iako ugljenična vlakna mogu da izdrže više temperature, ne preporučuje se obrada pri temperaturama koje su više od temperature očvršćavanja matrice. - Zbog male vrednosti koeficijenta provodnosti toplote matrice, slabo je odvođenje toplote iz zone rezanja. - Različiti temperaturni koeficijenti linearnog širenja epoksi matrice (izrazito pozitivan) i ugljeničnog vlakna (neznatno negativan), potpomažu nastajanje sopstvenih naprezanja, što otežava tačnost merenja. Prečnik otvora posle bušenja može biti manji od prečnika alata. - Abrazivno dejstvo ugljeničnih vlakana ograničava mogućnost izbora alatnog materijala. - Primena sredstva za hladjenje izaziva

promenu fizičko-mehaničkih svojstava materijala, zato što PKM ojačani ugljeničnim vlaknima absorbuju vlagu.

Mehanika obradljivost PKMV znatno zavisi od svojstava vlakana, tj. od strukture vlakana. Ugljenična vlakna pokazuju karakter krto g loma, pod dejstvom opterećenja istezanja, smicanja i savijanja, zato što se sastoje od aksijalno orijentisanih medjusobno isprepletenih grafitnih slojeva traka, koje ne obezbeđuju mehanizam klizanja (2),(4).

3. USLOVI ZA IZVODJENJE EKSPERIMENTA

Ispituju se funkcije obradljivosti i M pri bušenju, definisane jednačinama (1)-(2), u zavisnosti od primarnih faktora obrade

$$F_3 = C_F D^{x_1} S^y \quad (1)$$

$$M = C_m D^{x_2} S^y \quad (2)$$

Za dobijanje numeričkih vrednosti parametara obradljivosti, koji su sadržani u funkciji aksijalnog otpora pri bušenju (1), i parametara obradljivosti, x_1 , y_1 koji su sadržani u funkciji momenta bušenja (2), kao osnovni metod ispitivanja se koristi metod dvofaktornog ortogonalnog plan eksperimenta.

U toku izvođenja eksperimenta se ne menjaju geometrijski elementi burgije, uslovi i elementi režima obrade, osim primarnih faktora (prečnika alata D i koraka s), čije su vrednosti varirane

$$D_{\min} = 3.9\text{mm}, \quad D_{sr} = 4.4\text{mm}, \quad D_{\max} = 5.0\text{mm}$$

$$i \ s_{\min} = 0.05\text{mm/o}, \quad s_{sr} = 0.087\text{mm/o} \quad i \quad s_{\max} = 0.15\text{mm/o}$$

Eksperimenti su izvedeni pri sledećim uslovima i režimu obrade:

A. Obradak: - Jednosmerni kompozitni materijal na osnovu epoksi matrice ojačan ugljeničnim vlaknima - T300/F263. Zapreminski sadržaj vlakana 60,5 % . -Dimenzije obratka su 250 x 49 x 2 mm.

B. Alat: - Monolitna burgija od tvrdog metala K10. Proizvodja alata IAT (Industrija alata Trebinje).

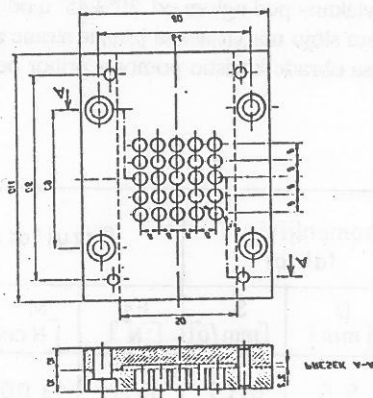
C. Mašina: - Obradni centar HBG80-ILR, snage 15 kW, sa kontinualnom promenom broja obrtaja u opsegu $n = 25 - 3550$ o/min i brzine pomoćnog kretanja u opsegu $V_s = 0.1 + 2000$ mm/min.

D. Reim obrade: - Brzina rezanja $v = 43$ m/min - Bez upotrebe sredstva za hlađenje

Kompozitni materijal se postavlja u pomoćni pribor koji je pričvršćen uz dinamometar. Za ovo ispitivanje je konstruisan pomoćni pribor (slika 1) i izradjen od legure aluminijuma. Moment bušenja i aksijalni otpor bušenja se mere pomoću električnog dvokomponentnog dinamometra, koji radi na principu piezoelektrnog efekta, KISTLER - tip 9271A. Dinamome-

tar je preko dva kapacitivna pojačavača KISTLER - tip 5007, povezan sa analognim pokazivačima KISTLER - tip 5511, na kojima se očitavaju vrednosti aksijalnog otpora i momenta bušenja. Istovremeno se pravi zapis na fotopapiru sa direktnim razvijanjem na dnevnoj svetlosti) posredstvom pisača sa osetljivim galvanometrom HONEYWELL-VISICORDER OSCILLOGRAPH Model 906 C, kao i na x-y pisaču.

Slika 1. Pomoćni pribor



4. REZULTATI EKSPERIMENTA

Rezultati eksperimentalnih ispitivanja su dati u tabeli 1., tj. u planu eksperimenta. Matematičkom obradom eksperimentalnih rezultata regresionom analizom) je određena funkcija aksijalnog otpora pri bušenju

$$F_3 = 4.9888 D^{2.253} S^{0.4064} \quad [N] \quad (3)$$

i funkcija momenta bušenja

$$M = 0.2303 D^{2.8358} S^{0.3243} \quad [Ncm] \quad (4)$$

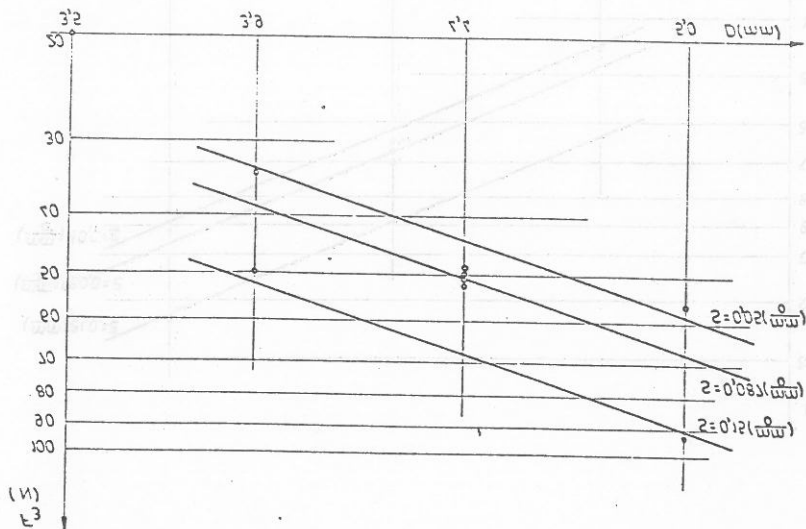
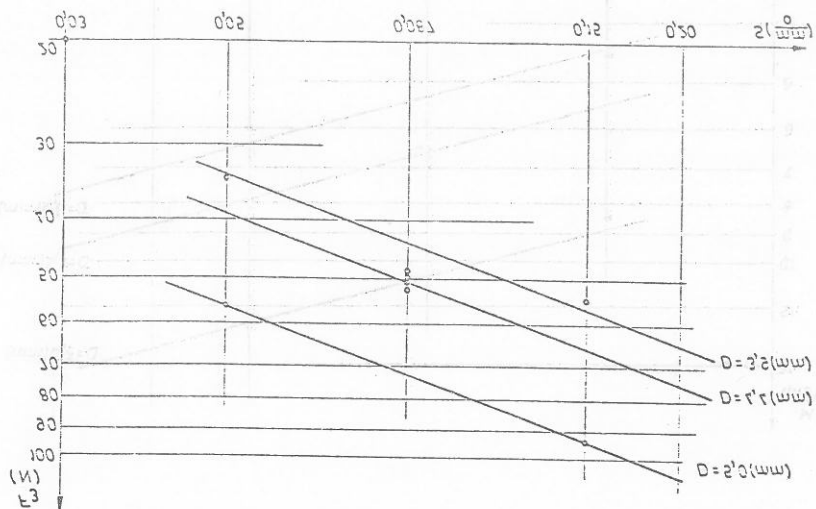
za date uslove i elemente režima obrade.

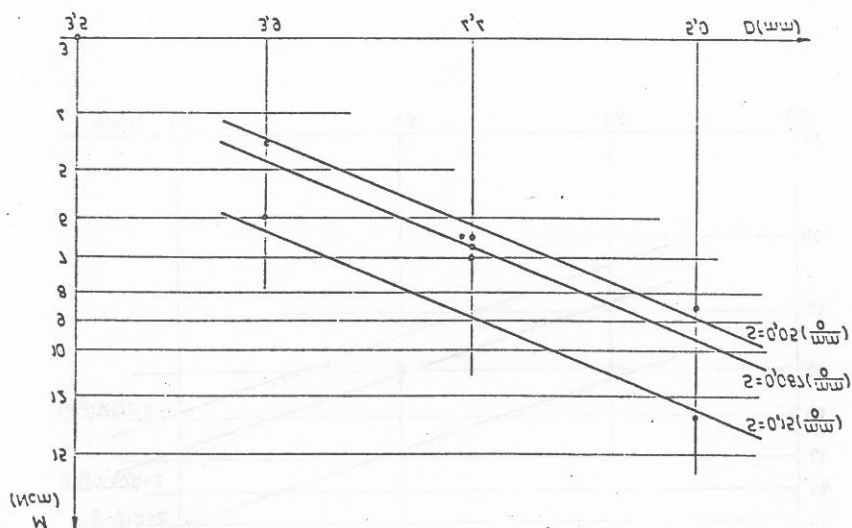
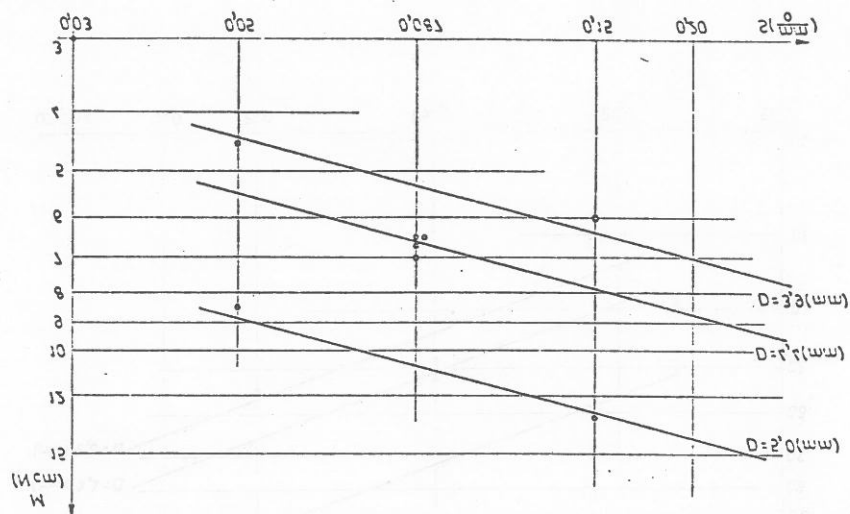
Disperzionom analizom eksperimentalnih rezultata je proverena adekvatnost modela i utvrđjena signifikantnost parametara modela. Dijagrami zavisnosti aksijalnog otpora F_3 i momenta bušenja M od koraka s i prečnika D za date uslove ispitivanja, su dati u dvostrukom logaritamskom sistemu na slici 2. Po intenzitetu najveći uticaj na moment bušenja i na aksijalni otpor pokazuje prečnik alata. Vrednosti sila su više nego za red veličina manje od onih koje se javljaju pri bušenju metala, zato što ovi materijali pokazuju nisku otpornost prema pritisnom i smicajnom opterećenju. Međutim, i ovako relativno male vrednosti sila rezanja znatno utiču na tačnost obrade.

Oštećenje materijala, pre svega na površinskim slojevima PKM ojačanog ugljeničnim vlaknima, pri procesu bušenja predstavlja osnovni kriterijum kvaliteta. U toku izvođenja eksperimenta došlo je do rasprskavanja i drobljenja površinskog sloja materijala, sa ulazne strane alata. Kao kriterijum kvaliteta obradjene površine se usvaja maksimalna širina oštećenja površinskog sloja normalnog na osu alata. Pri bušenju otvora burgijom prečnika $D = 3,9$ mm, širina oštećenja $b\alpha = 0,8$ mm. Može se zapaziti da do ovih oštećenja dolazi pri pritisnom opterećenju ugljeničnih vlakana pod uglom od $30^\circ + 45^\circ$ u odnosu na pravac orijentacije vlakana u matrici. Na površinskom sloju materijala sa izlazne strane alata, nisu javili površinski defekti, zato što se u toku procesa obrade koristio pomoćni pribor odgovarajuće konstrukcije.

TABELA 1.

| Redni broj | Promenljivi faktor | | Rezultati merenja | | | |
|------------|--------------------|----------|--------------------|---------|---------------|-------------|
| | D [mm] | S [mm/o] | F ₃ [N] | M [Ncm] | $y = \ln F_3$ | $y = \ln M$ |
| 1 | 5,0 | 0,15 | 93,0 | 13,00 | 4,533 | 2,565 |
| 2 | 4,4 | 0,087 | 49,0 | 6,50 | 3,892 | 1,872 |
| 3 | 5,0 | 0,05 | 56,0 | 8,50 | 4,025 | 2,140 |
| 4 | 4,4 | 0,087 | 50,5 | 6,75 | 3,922 | 1,910 |
| 5 | 4,4 | 0,087 | 52,0 | 7,00 | 3,951 | 1,946 |
| 6 | 3,9 | 0,15 | 50,0 | 6,00 | 3,912 | 1,792 |
| 7 | 3,9 | 0,05 | 34,0 | 4,50 | 3,526 | 1,504 |
| 8 | 4,4 | 0,087 | 50,0 | 6,50 | 3,912 | 1,872 |





Slika 2. Teorijski dijagrami zavisnosti aksijalnog otpora F i momenta bušenja M od koraka s i prečnika D sa tačkama rezultata merenja pri bušenju kompozitnog materijala T300/F263

5. ZAKLJUAK

Promena vrednosti elemenata režima obrade, geometrije i materijala alata pri procesu bušenja, utiče na raspodelu opterećenja, prema pravcu i intenzitetu, du reznih ivica što utiče na kvalitet obrade u pogledu pojave oštećenja površinskih slojeva. Zbog toga bi pri bušenju PKM ojačanog ugljeničnim vlaknima trebalo koristiti modifikovan pomoćni pribor, koji bi na gornjoj ploči imao ugrađene vodeće čaure. Materijal alata, tvrdi metal K10 je pogodan za obradu PKM ojačanog ugljeničnim vlaknima, zato što se odlikuje visokom čvrstoćom ivice i toplotnom postojanošću. Elementi režima obrade, korak s i brzina rezanja v , obezbeđuju dobar kvalitet obradjene površine. Postoje preporuke da se pri bušenju PKM ojačanog ugljeničnim vlaknima koriste veće brzine rezanja ($v=250\text{m/min}$).

6. LITERATURA

[1] Janković, M.S.: Obradljivost polimernih kompozitnih materijala ojačanih ugljeničnim vlaknima, XVIII JUPITER konferencija, 14. jugoslovenski simpozijum NU-ROBOTI-FTS, Kopaonik, 1992

[2] Koenig, W. et.al.; Heintze, A.; Okcu, F.: New Developments in Drilling and Contouring Composites Containing Kevlar Aramid Fibre; Vortrag, Proc. of 5th Intl. Sampe Conf., Montreaux, 12-14 June, 1984, Vol.2

[3] Koenig, W.; Grass, P.: Bohrung Fraeswerkzeuge fuer faserverstaerkte Kunststoffe, VDI-Z (1986) Nr 3, 71-75

[4] Koenig, W.; Grass, P.: Quality Definition and Assessment in Drilling Fibre Reinforced Thermosets, Annals of the CIRP Vd. 38/1/1989, p. 119-124

[5] Stanić, J.; Kalajdžić, M.; Kovačević, R.: Merna tehnika u tehnologiji obrade metala rezanjem, Beograd, 1983.

SUMMARY

In the use of Carbon Fibre Reinforced Plastics it is often necessary to machine the components, for example to make holes. The machining of Carbon Fibre Reinforced Plastics differs in many respects from metal working. The material behaviour not only is inhomogeneous, but also dependent on fibre and matrix properties and fibre orientation. The forces depend on cutting parameters and their behaviour is similar to the one known from metal machining. However, the absolute values of forces are on a lower order of magnitude. Since drilling for Carbon Fibre Reinforced Plastics is mainly finishing operations, the quality achieved is of some interest. The classification of drilling results is very often carried out by visual inspection.

POMAK KOD BUŠENJA VIŠESTEPENIH OTVORA U JEDNOJ OPERACIJI

Zoran Kočović, dipl.ing.

saradnik LOLA Institut, Kneza Višeslava 70a, 11030 Beograd

FEED RATE IN MULTISTEP HOLES BOHRING IN SINGLE MODE OPERATION ABSTRACT:

During machining of multistep holes it can be provide a lot of cylindrical and conic surfaces with different diameters and surface finishing during the one motion of the tool. This operation can be involved by one tool in variable tooling condition during axial motion, for which it is necessary to be defined optimal values of feed rate for machining condition provide. It can be shown relationship of the parameters which are applied on the nominal feedrate between hard metal insert geometry, surfaces which can be machined and needed machined surface quality.

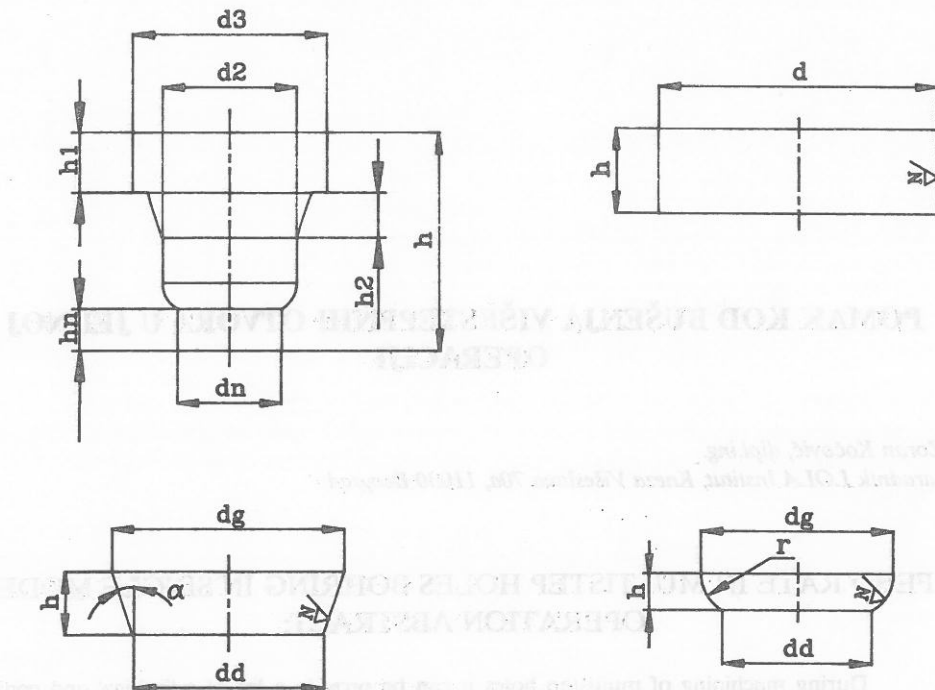
UVOD

Pod složenim otvorom podrazumeva se onaj otvor koji se sastoji iz više uzastopnih otvora različitih prečnika ili konusa, pri čemu se prečnici ili kosine, po mogućstvu sužavaju odozgo nadole. Gornjom stranom podrazumeva se ona strana koja će biti prva u kontaktu sa alatom.

ANALIZA SLOŽENOG OTVORA

Otvor složene geometrije možemo načelno podeliti na pojedine etape već poznatih geometrijskih i tehnoloških oblika. Tako, jedan teoretski otvor složene konture možemo dekonponovati na sledeće tipove površina (Sl. 1):

Svaka od ovih površina definisana je svojim geometrijom, kao i parametrima kvaliteta površine.



Slika 1

- tip 1 cilindrične površine
- tip 2 konične površine
- tip 3 torusne površine

Tip 1 predstavlja cilindričnu površinu. Ova površina je definisana, osim oznake kvaliteta površine i tolerancijom nazivne mere, i još :

- d - prečnikom otvora
- h - dubinom otvora.

Tip 2 predstavlja koničnu površinu. Ova površina je definisana, takođe, osim oznake kvaliteta površine i tolerancije nazivne mere, i još:

- dg - gornjim prečnikom
- dd - donjim prečnikom
- h - dubinom otvora.

Rupa se uvek posmatra odozgo na dole, tako da je dgdd. Ugao konusa se izražava kao:

$$\alpha = \arctan((dg-dd)/2h)$$

Tip 3 predstavlja torusnu površinu. Ova površina je definisana oznakom kvaliteta površine i tolerancijom nazivne mere i još:

- dg - gornjim prečnikom
- dd - donjim prečnikom
- r - radijusom zaobljenja
- h - dubinom otvora

Kod koničnih površina, uzimaju se one površine koje se dobijaju postavljanjem pločica pod određenim uglom, i čija je dužina jednaka maksimalnoj dozvoljenoj dužini rezne ivice pločice od tvrdog materijala.

Kod torusnih površina, slično kao i kod konusnih površina, razmatraju se one površine koje se dobijaju radijusom same pločice od tvrdog metala.

ODREĐIVANJE MERODAVNOG KORAKA

Pretpostavlja se, što je u praksi češći slučaj, da su zahtevi za kvalitetom obrađene površine rupe (otvora) isti na čitavo dubini. U slučajevima da pojedine deonice zahtevaju znatno bolji kvalitet obrađene površine od ostalih delova rupe, onda se ta deonica obrađuje na zajednički kvalitet površine, pa se tek naknadno u posebnim operacijama ona obrađuje na zahtevani kvalitet.

Dubine rezanja (bušenja) određuju se u zavisnosti od potrebne klase hrapavosti površine koju treba zadovoljiti (Sl. 2). Ako se buši iz punog materijala moguća su dva pristupa bušenju:

- prethodno izbušiti na meru koja će kasnijom obradom zadovoljiti traženi kvalitet površine;
- prilikom komponovanja alata za ovakvu operaciju predvideti pločicu od tvrdog metala koja će ostvariti traženi kvalitet.

| Klasa hrapavosti površine | Preporučene dubine rezanja |
|---------------------------|----------------------------|
| Fina N5; N6 | 0.5 - 2 mm |
| Srednja N7; N8; N9 | 2 - 4 mm |
| Gruba N10; N11; N12 | 4 - 10 mm |

Slika 2.

Za svaku od ovih površina, prema zadatom kvalitetu i prethodno određenoj dubini rezanja, bira se iz datoteke pločica, odgovarajuća pločica od tvrdog metala. Za svaku pojedinačnu površinu (tip površine) određuje se korak na osnovu izraza:

$$s = (8 \cdot r \cdot Rz / 1000)^{1/2}$$

$$s = (r \cdot Rz / 125)^{1/2}$$

gde su:

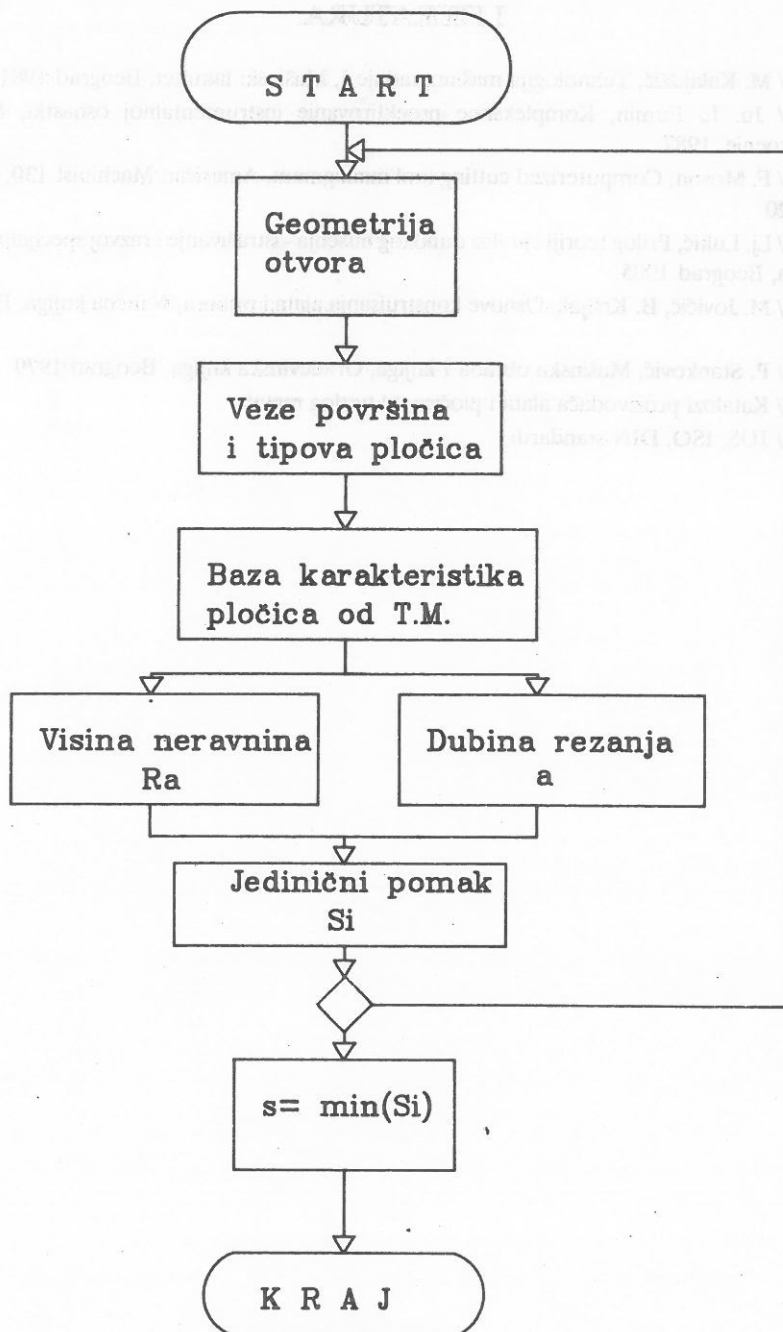
- Rz - visina grebena neravnina (mm)
- r - poluprečnik zaobljenja vrha rezne ivice (mm)
- s - korak (mm/o)

Kao merodavan korak se uzima minimalna vrednost koraka sračunatih za pojedine tipove površina, tj:

$$s = \min(s_1, s_2, s_3, \dots, s_n)$$

U procesu određivanja koraka rezanja potrebno je izvršiti funkcionalno povezivanje i pretraživanje nekoliko baza. To povezivanje se odvija sledećim tokom:

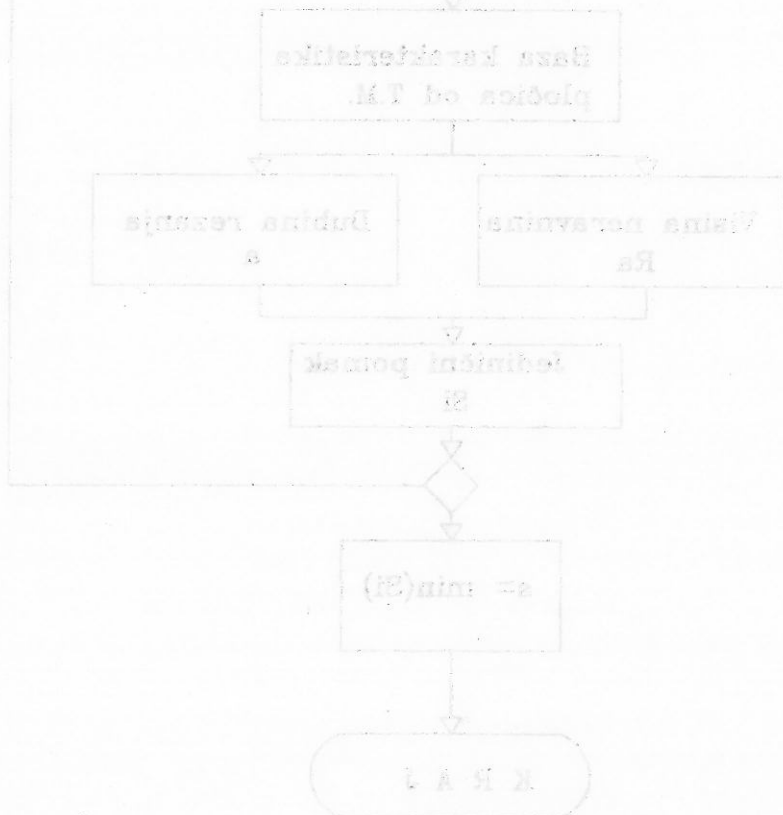
- nakon definisanja geometrije rupe (otvora), izvrši se podela na tipove površina.
- iz datoteke veza površina i tipova pločica odrede se svi mogući tipovi pločica koji mogu obraditi određeni tip površine.
- iz baze pločica od tvrdog metala, za prethodno određene tipove pločica, pronalaze odgovarajuće pločice, koje će obezbediti sve tehnološke uslove obrade datih površina.
- na osnovu traženog kvaliteta obrađene površine i preračunate dubine rezanja određuje pomak za svaku pojedinu deonicu složenog otvora. (sl.3)
- kao merodavni pomak uzima se minimalna vrednost pojedinačnih pomaka.



Slika 3.

LITERATURA:

- /1/ M. Kalajdžić, Tehnologija mašinogradnje I, Mašinski fakultet, Beograd 1981
- /2/ Ju. L. Fumin, Kompleksnoe proektirovanie instrumentalnoj osnastki, Moskva, Mašinstroenie, 1987
- /3/ F. Moson, Computerized cutting tool managment, American Machinist 130, 1986, 5, pp 105-120
- /4/ Lj. Lukić, Prilog teoriji i praksi dubokog bušenja - istraživanje i razvoj specijalnih alata, disertacija, Beograd 1985
- /5/ M. Jovičić, B. Kršljak, Osnove konstruisanja alata i pribora, Naučna knjiga, Beograd, 1984
- /6/ P. Stanković, Mašinska obrada I knjiga, Građevinska knjiga, Beograd 1979
- /7/ Katalozi proizvođača alata i pločica od tvrdog metala
- /8/ JUS, ISO, DIN standardi



MOGUĆI PRILAZI PRAĆENJU HABANJA ALATA MERENJEM PRIRAŠTAJA OTPORA REZANJA

Mr Bogdan Nedić, dipl. inž. Mašinski fakultet, Kragujevac
Mr Branko Tadić, dipl. inž. Mašinski fakultet, Kragujevac
Mr Zvonko Đorđević, dipl. inž. Mašinski fakultet, Kragujevac

UVOD

U cilju stvaranja osnova za upravljanje procesima obrade metala rezanjem na Mašinskom fakultetu u Kragujevcu se u okviru većeg broja magistarskih i doktorskih radova vrše obimna laboratorijska ispitivanja. Dobijeni rezultati se koriste za popunjavanje baza podataka u Tribološkom informacionom sistemu TIS-u. Rezultati laboratorijskih ispitivanja zajedno sa rezultatima iz istraživanja u proizvodnim uslovima treba da posluže za formiranje odgovarajućih ekspertnih sistemi u pojedinim vrstama obrade.

Oblast u kojoj se u poslednje vreme posebno vrše mnogobrojna ispitivanja odnosi se na utvrđivanje korelativnih veza između otpora rezanja i habanja alata. Ovako dobijene zavisnosti treba da stvore osnovu za indirektno praćenje habanja alata i upravljanje procesom obrade, kao i za razvoj upravljačkih sistema i elemenata za adaptivno upravljanje obradnim procesima.

U radu je analiziran deo rezultata koji se odnose na obradu bušenjem.

PROGRAM I USLOVI ISPITIVANJA

Obrada bušenjem čiji su rezultati ispitivanja analizirani u ovom radu je izvedena u sledećim uslovima:

- alat: zavojna burgija sa MK drškom JUS K.D3.022, prečnika 8 mm, materijal alata Č7680 (HSS), materijal predmeta obrade: Č1221, režimi obrade: brzina rezanja $v=25,1$ m/min, korak $s=0,112$ mm/o i dubina bušenja $L=24$ mm, SHP je UBA-5 sa koncentracijom 4% i protokom 1 l/min, mašina: radijalna bušilica 2N55 (SSSR), snage 10 KW,

MATEMATIČKI MODEL

Visoka korelativnost otpora rezanja i habanja alata kao i podudarnost oblika krivih habanja i krivih porasta otpora rezanja u toku vremena obrade omogućava razvoj matematičkog modela za upravljanje procesom obrade pomoću praćenja promene otpora rezanja.

Osnovna jednačina za analizu navedenih parametara procesa obrade rezanjem koja se sa visokim koeficijentom korelacije može koristiti, a koja je predložena od autora ovog rada je:

$$g - g_p = A_1 (T - T_p) + A_2 (T - T_p)^2,$$

odnosno:

$$g - g_0 = \Delta g_p + A_1 (T - T_p) + A_2 (T - T_p)^3,$$

gde su:

- g - analizirani parametar,
- g_p - vrednost analiziranog parametra u prevojnoj tački krive,
- g_0 - vrednost analiziranog parametra u početnoj tački ($T = 0$),
- g_p - priraštaj analiziranog parametra u prevojnoj tački ($g_p = g_p - g_0$),
- T_p - vreme rezanja do prevojne tačke i
- A_1 - intenzitet promene analiziranog parametra u prevojnoj tački.

Pošto statistička obrada rezultata metodom najmanjih kvadrata nije lako moguća sa ovakvom jednačinom, za obradu rezultata se koristi jednačina u obliku polinoma trećeg stepena:

$$g = C_0 + C_1 T + C_2 T^2 + C_3 T^3.$$

Nakon dobijanja zavisnosti u ovom obliku, odgovarajućim transformacijama dolazi se do razvijenog oblika koji dalje služi za analizu. Kod krive habanja $h(T)$ konstanta C_0 je jednaka nuli ($C_0 = 0$).

Na osnovu prethodno definisane krive, izraz za krivu habanja alata ima oblik:

$$h - h_p = A_1 \cdot (T - T_p) + A_2 \cdot (T - T_p)^3$$

gde su:

- h_p - pohabanost alata u prevojnoj tački,
- T_p - vreme obrade do prevojne tačke i
- A_1 - intenzitet habanja u prevojnoj tački.

Koristeći isti izraz dolazi se do krive porasta otpora rezanja u obliku:

$$\Delta F_i = F_i(t) - F_{i0} = F_{ip} + G_1 \cdot (T - T_p) + G_2 \cdot (T - T_p)^3$$

gde su:

- F_{i0} - vrednost otpora rezanja za nov alat ($h_i < 0,05$ mm),
- F_{ip} - porast otpora rezanja do prevojne tačke,
- T_p - vreme obrade do prevojne tačke i

REZULTATI ISPITIVANJA

Habanje alata je praćeno preko više parametara, od kojih je za parametar habanja zavojne burgije usvojena pohabanost h_1 , na rastojanju 0,3 mm od ruba burgije. Na osnovu eksperimentalnih ispitivanja obradom rezultata merenja predloženim matematičkim modelom

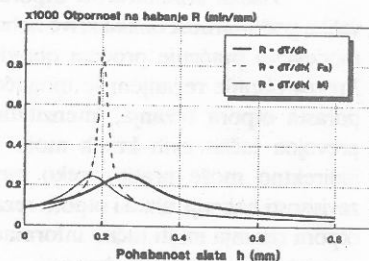
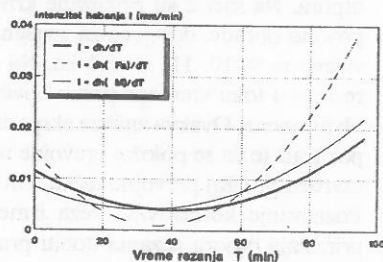
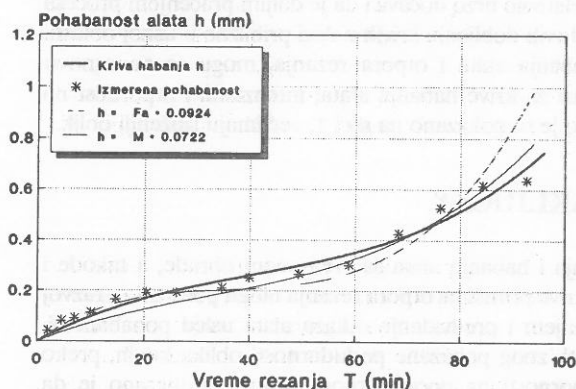
dobiju se kriva habanja i krive priraštaja otpora rezanja (momenta rezanja M i aksijalne sile $F1$) u sledećem obliku:

$$h - 0,261 = 0,004 \cdot (T - 40,305) + 1,5310^{-6} \cdot (T - 40,305)^3$$

$$M - 41,36 = 2,434 + 0,054 \cdot (T - 32,417) + 0,00002 \cdot (T - 32,417)^3$$

$$F1 - 121,567 = 2,21 + 0,012 \cdot (T - 35,2) + 0,00004 \cdot (T - 35,2)^3$$

Može se pokazati da se kriva habanja veoma uspešno može predstaviti pomoću krive priraštaja otpora rezanja slika 1. U ovom slučaju pretpostavljeno je da je ta veza linearna, mada je kroz radove /1/, /2/, /3/ pokazano da ta veza nije linearna, i predložen je matematički oblik ove zavisnosti $F_i(h)$. Na istoj slici prikazane su krive intenziteta i otpornosti na habanje dobijene na osnovu rezultata merenja porasta otpora rezanja. Ono što se je pokazalo kroz mnogobrojna ispitivanja a što treba ovde posebno istaći je da je položaj prevojne tačke kod svih analiziranih parametara habanja alata i otpora rezanja, uvek približno isti.



Slika 1.

Utvrđivanjem činjenice da prevojna tačka karakteriše proces obrade (habanje alata i priraštaj otpora rezanja) u mnogome doprinosi daljem razvoju matematičkih modela za definisanje i praćenje procesa habanja alata. Praćenjem porasta otpora rezanja i uočavanjem položaja prevojne tačke omogućava se predviđanje daljeg toka razvoja procesa. To proističe iz poznavanja oblika krive intenziteta promene otpora rezanja i otpornosti na promenu otpora rezanja u toku vremena. Krive su simetrične u odnosu na prevojnu tačku.

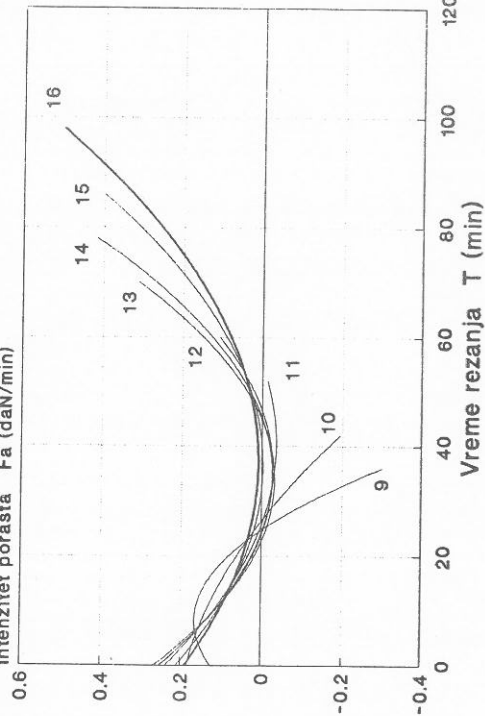
Da bi se sa uspehom pratio procesa obrade rezanjem i vršilo predviđanje habanja i postojanosti alata preko praćenja povećanja otpora rezanja potrebno je izvršiti veoma veliki broj eksperimentalnih ispitivanja. Kao što je eksperimentima utvrđeno da do otkaza alata dolazi najčešće kada pohabanost alata pređe kritičnu pohabanost koja iznosi 0,3 - 0,4 mm, tako je i u ovom slučaju potrebno utvrditi kada do otkaza alata dolazi. Potrebno je utvrditi koji je to apsolutni ili procentualni porast otpora rezanja kada se mora zaustaviti proces rezanja i to za svaki konkretni slučaj obrade.

Pri obradi metala rezanjem osnovni problem za praćenje habanja je skidanje alata iz nosača, i merenje pohabanosti na mikroskopu. Korišćenjem merenja priraštaja otpora rezanja ovaj problem se u mnogome eliminiše. Do krivih koje imaju isti oblik kao krive intenziteta i otpornosti na habanje se može doći kontinualnim praćenjem priraštaja otpora rezanja u toku obrade. Osnova za ovo se nalazi u prikazanoj podudarnost oblika krivih habanja i krivih priraštaja otpora. Na slici 2 su prikazane krive intenziteta i otpornosti na porast otpora rezanja tokom procesa obrade, dobijene za izvršena eksperimentalna ispitivanja. Obrada rezultata merenja je vršena sa 9, 10, 11, ... tačkama. Na ovaj način omogućena je analiza promene porasta otpora rezanja u toku vremena preko krivih intenziteta i otpornosti, a takođe i predviđanja daljeg toka tih promena. Ovakva analiza eksperimentalno izmerenih vrednosti habanja alata i porasta otpora pokazala je da se položaj prevojne tačke relativno brzo uočava i da je daljim praćenjem procesa utvrđen položaj prevojne tačke. On se kod svih dobijenih krivih nalazi približno u uskoj oblasti. Poznavanje korelativnih veza između habanja alata i otpora rezanja, mogu se na osnovu priraštaja otpora rezanja dobiti pravi izrazi za krive habanja alata, intenziteta i otpornost na habanje. Ove zavisnosti nisu linearne, kako je to pokazano na slici 1, već imaju složeniji oblik.

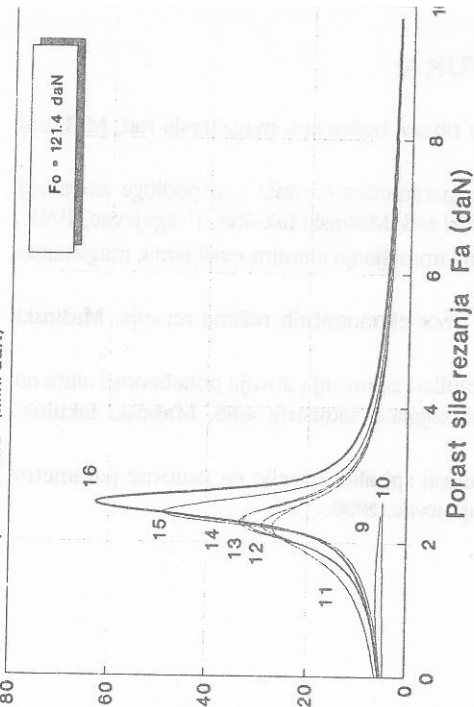
ZAKLJUČAK

Visoka korelativnost otpora rezanja i habanja alata sa vremenom obrade, a takođe i velika podudarnost oblika krive habanja i krive priraštaja otpora rezanja mogu poslužiti za razvoj modela za praćenje procesa obrade rezanjem i predviđanje otkaza alata usled pohabanosti. Proces obrade rezanjem je moguće pratiti, zbog pokazane podudarnosti oblika krivih, preko porasta otpora rezanja, intenziteta i otpornosti na porast otpora rezanja. Pokazano je da prevojna tačka ovih krivih može predstavljati proces habanja alata i da se habanje alata indirektno može pratiti preko merenja povećanja otpora rezanja. Poznavanje korelativne zavisnosti habanja alata i otpora rezanja moguće je, u toku procesa obrade, merenjem priraštaja otpora rezanja imati tačnu informaciju o pohabanosti alata i predvideti njegovu postojanost za usvojeni kriterijum pohabanosti.

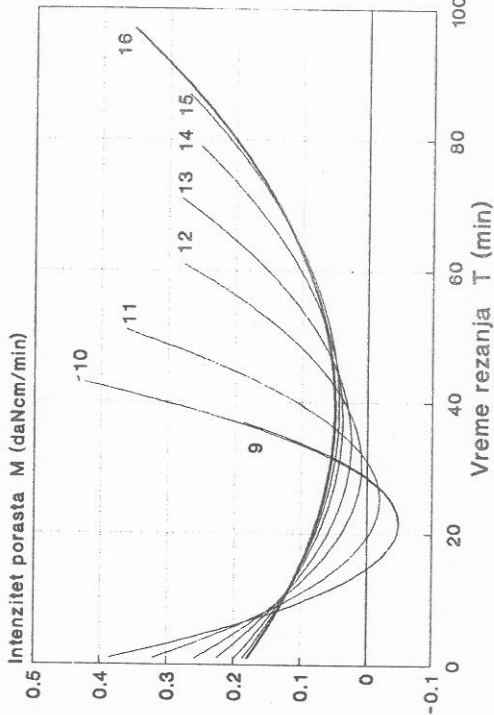
Intenzitet porasta F_a (daN/min)



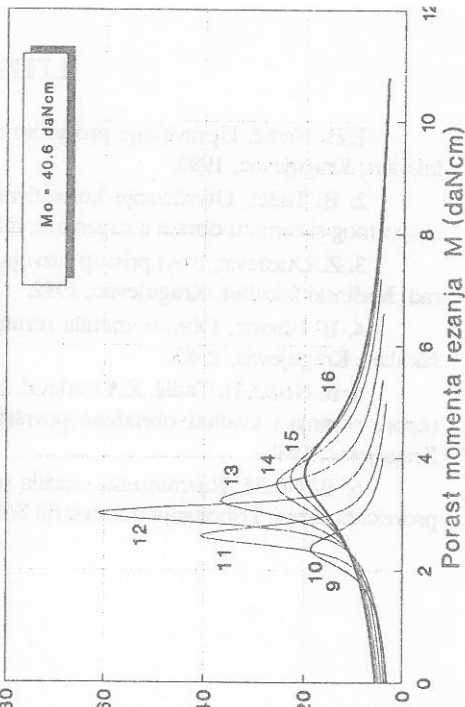
Otpornost na porast sile (min/daN)



Intenzitet porasta M (daNcm/min)



Otpornost na porast momenta (min/daNcm)



LITERATURA:

1. B. Nedić, Upravljanje procesom obrade otvora bušenjem, magistarski rad, Mašinski fakultet, Kragujevac, 1992.
2. B. Tadić, Utvrđivanje korelativnih veza parametara rezanja kao podloge za razvoj ekspertnog sistema u obradi struganjem, magistarski rad, Mašinski fakultet, Kragujevac, 1991.
3. Z. Đorđević, Novi pristup razvoju sistema upravljanja alatnim mašinama, magistarski rad, Mašinski fakultet, Kragujevac, 1992.
4. B. Ivković, Obrada metala rezanjem - izbor ekonomičnih režima rezanja, Mašinski fakultet, Kragujevac, 1985.
5. B. Nedić, B. Tadić, Z. Đorđević, Neki rezultati ispitivanja uticaja pohabanosti alata na otpore rezanja i kvalitet obrađene površine, Tribologija u industriji 4/88, Mašinski fakultet, Kragujevac, 1988.
6. B. Nedić, Razmatranje uticaja pohabanosti spiralne burgije na osnovne parametre procesa bušenja, Tribologija u industriji 3/90, Kragujevac, 1990.

UTICAJ POHABANOSTI ALATA NA KVALITET OBRADENE POVRŠINE

B. Tadić, D. Karović, B. Nedić, S. Milutinović
Mašinski fakultet u Kragujevcu

1. Uvod

U toku rezanja alat je neprekidno izložen različitim vidovima habanja, pri čemu se procesi habanja u nekom momentu toliko intenziviraju da je dalja obrada alatom nemoguća. Naime, smatra se da je alat u tom momentu izgubio rezna svojstva, odnosno zatupio se, pa je isti potrebno preoštriti ili zameniti. Poznavanje trenutka zatupljenja alata ima višestruki značaj. U literaturi postoji veći broj poznatih kriterijuma na osnovu kojih se određuje trenutak zatupljenja alata. Od svih poznatih kriterijuma (Tejlorov, Šlezingerov, kriterijum norme parametra habanja i dr.) sa stanovišta praktične primene uzimajući u obzir savremene uslove obrade (obrada izmenjivim pločicama, velike brzine rezanja, nepouzdati i neponovljivi parametri habanja alata...) tehnološki kriterijumi dobijaju sve veći značaj. Ovi kriterijumi vezani su za ograničenja u smislu dozvoljene hrapavosti obrađene površine, dozvoljenog odstupanja mera i oblika i dr., zahtevaju poznavanje određenih parametara, na primer: parametar hrapavosti. Međutim, kontinualno praćenje parametara hrapavosti obrađene površine zahteva dosta složene upravljačke i merne lance, što svakako umanjuje praktičnu primenu ove metode pri upravljanju obradnim procesima.

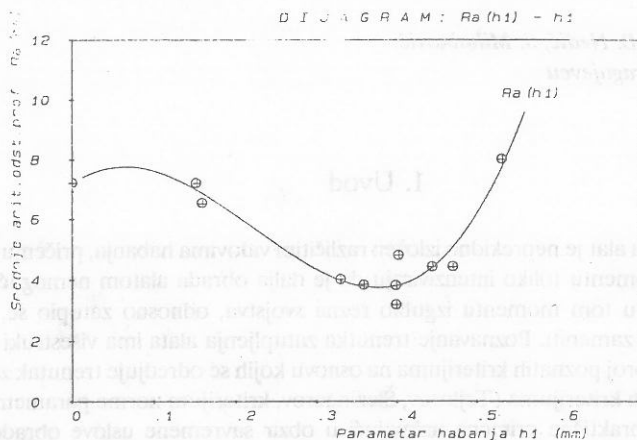
Istraživanja izvedena tokom realizacije niza istraživačkih projekata na Mašinskom fakultetu u Kragujevcu ukazuju na relativno visoku korelaciju između hrapavosti obrađene površine i habanja alata. Takođe je i nizom eksperimenata potvrđena i dobra korelacija otpora rezanja sa parametrima habanja alata, odnosno "prirastaja otpora" i vremena rezanja. Obzirom na dobijene rezultate merenja postojeća istraživanja imaju za cilj da se indirektno preko otpora rezanja parametri hrapavosti uključe kao tehnološki kriterijum pohabanosti alata. U radu je zbog obimnosti prikazan samo deo rezultata vezanih za datu problematiku.

2. PLAN I USLOVI ISPITIVANJA

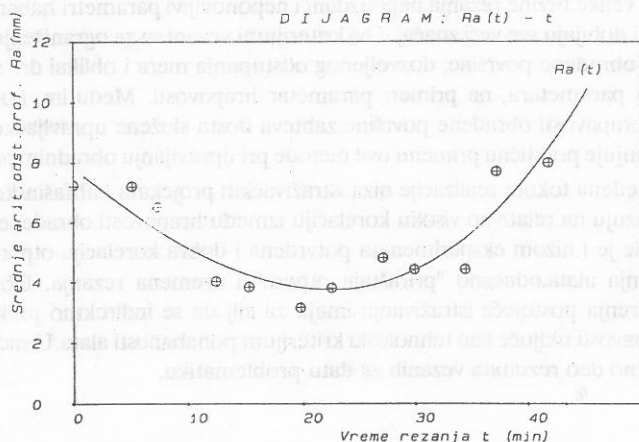
Eksperimentalna ispitivanja obuhvataju paralelno merenje većeg broja parametara hrapavosti obrađene površine, parametara habanja i komponentni otpora rezanja pri obradi završnim uzdužnim struganjem. Merenje je izvedeno pri obradi struganjem tri vrste čelika: Č1221, Č7422 i Č5430, pločicom SNMG 120404, sa dvoslojnom prevlakom, oznaka nosača PSBNR 2525-M12. Obrada je izvedena prisledećim uslovima: dubina rezanja 1 mm; korak 0,315 mm/o i brzina rezanja 290m/min.

3. REZULTATI MERENJA I STATISTIČKA OBRADA

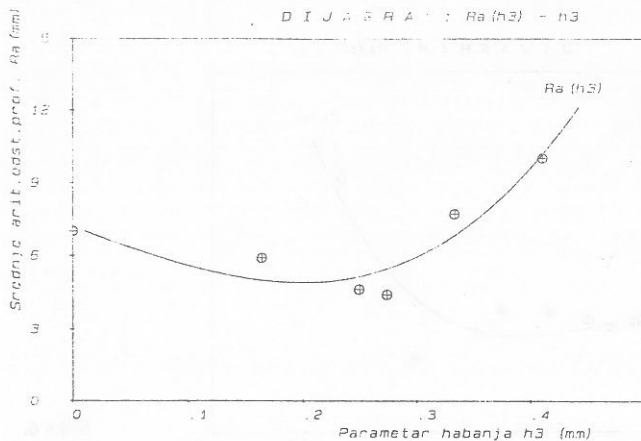
Eksperimentalni podaci vezani za srednje aritmetičko odstupanje profila ukazuju na pad hrapavosti obrađene površine u relativno dugom periodu rezanja alata. Naime, dijagramski prikazi zavisnosti $Ra(t)$ i $Ra(h)$ - (slike 1 - 6) pokazuju da vrednost Ra ni u jednom slučaju ne prelazi početnu vrednost $Ra(h=0)$ za više od 70% perioda rezanja alata.



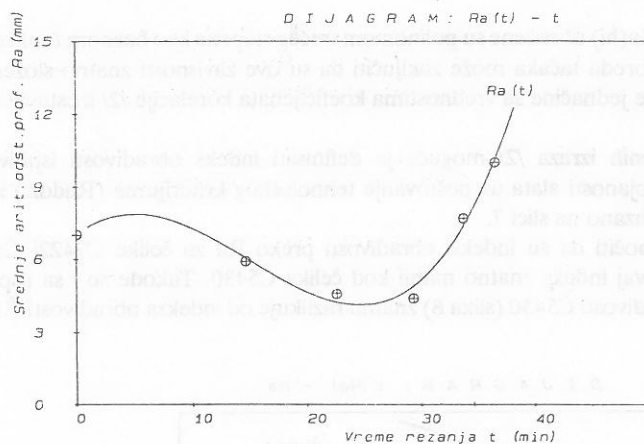
Slika 1.



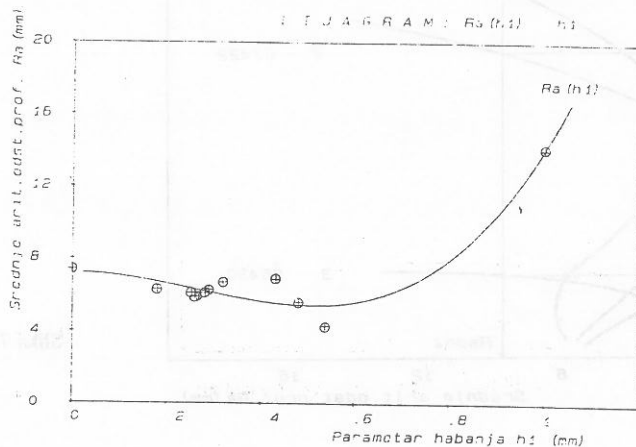
Slika 2.



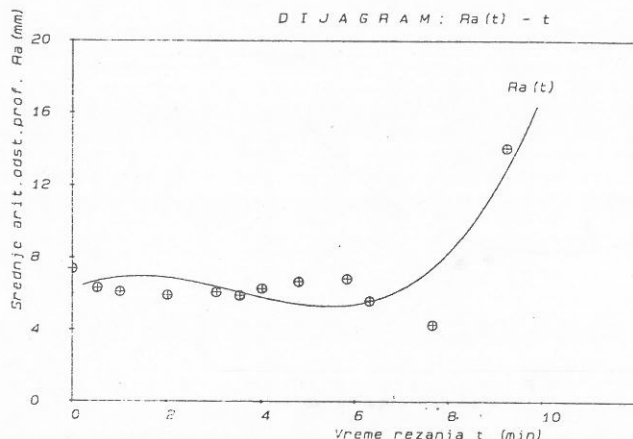
Slika 3.



Slika 4.



Slika 5.

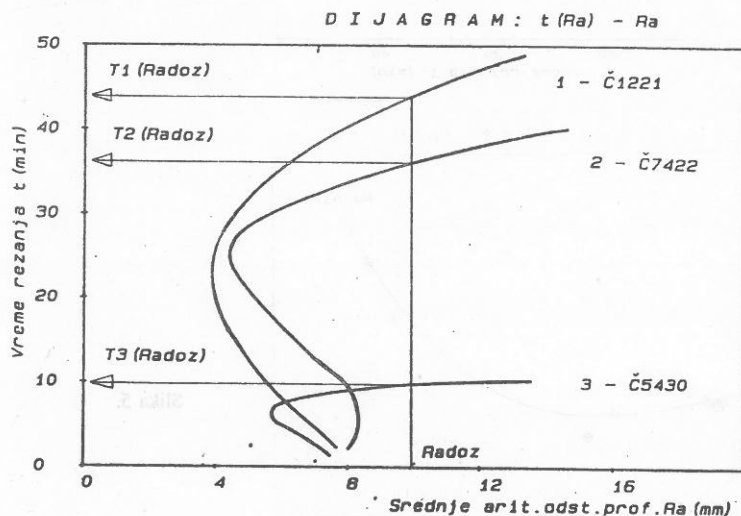


Slika 6.

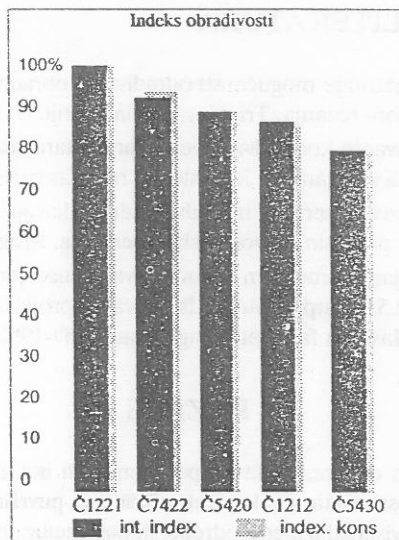
Zavisnosti $Ra(t)$ i $Ra(hi)$ obrađene su polinomom trećeg stepena kao baznom funkcijom, mada se i na osnovu rasporeda tačaka može zaključiti da su ove zavisnosti znatno složenijeg oblika. Dobijene regresione jednačine sa vrednostima koeficijenta korelacije $|r|$ izostavljeni su zbog obimnosti rada.

Na osnovu dobivenih izraza $|r|$ moguće je definisati indeks obradivosti ispitivanih materijala sa aspekta postojanosti alata uz poštovanje tehnološkog kriterijuma (Radoz.) zatupljenosti alata, što je i prikazano na slici 7.

Sa slike se može uočiti da su indeksi obradivosti preko Ra za čelike Č7422 i Č1221 približno jednaki dok je ovaj indeks znatno manji kod čelika Č5430. Takođe se i sa aspekta otpora rezanja indeks obradivosti Č5430 (slika 8) znatno razlikuje od indeksa obradivosti Č1221 i Č7422.



Slika 7.



Slika 8.

4. ZAKLJUČAK

Analiza rezultata merenja ukazuje na relativno visoku korelaciju između srednjeg aritmetičkog odstupanja profila Ra, vremena rezanja i odgovarajućih parametara koncentrisanog habanja alata.

Na zapisima profila obrađene površine može se primetiti gomilanje tačaka oko srednje linije profila tokom habanja alata, što u dužem vremenu rezanja izaziva pad srednjeg aritmetičkog odstupanja profila. Naime, više od 70% vremena rezanja srednje aritmetičko odstupanje profila Ra ne prelazi svoju početnu vrednost Ra ($h=0$), to se ne slaže sa dosadašnjim saznanjima vezanim za ovu problematiku. Ovaj fenomen može se donekle objasniti pojavom "mikro" reznih klinova koji, sumarno gledano, povećavaju radijus vrha reznog klina i tako indirektno utiču na pad hrapavosti obrađene površine. Pojava "mikro" reznih klinova usko je vezana sa oblikom habanja reznog alata. U uslovima završne obrade struganjem habanje karakteriše niz žljebova koncentrisanog habanja, koji po mišljenju autora predstavljaju glavni razlog pojave "mikro" reznih klinova. Ova saznanja otvaraju niz pitanja u smislu upravljanja obradnim procesima na bazi "priraštaja" otpora rezanja $/2/$ koji, u ovim uslovima obrade, predstavljaju daleko osetljiviju veličinu.

Pored toga, dobra korelacija između hrapavosti obrađene površine i vremena rezanja omogućava, preko indeksa obradivosti, poređenje materijala po obradivosti sa aspekta postojanosti alata, uz ograničenje preko maksimalno dozvoljenog srednjeg aritmetičkog odstupanja kao tehnološkog kriterijuma.

5. LITERATURA

1. Ivković B., Razmatranje mogućnosti određivanja obradivosti materijala preko postojanosti alata merenjem otpora rezanja, Tribologija u industriji, N1/4, Kragujevac 1990.
2. Tadić B., Utvrđivanje korelativnih veza parametara rezanja kao podloge za razvoj ekspertnog sistema u obradi struganjem, Magistarski rad, Kragujevac, 1991.
3. Vasiljević B., Razvoj laserskog metoda za identifikaciju stanja elemenata tribomehaničkog sistema u obradnim procesima, Doktorska disertacija, Kragujevac, 1990.
4. Nedić B. Upravljanje procesom obrade otvora bušenjem, Magistarski rad, Mašinski fakultet, Kragujevac, 1992.5. Grupa autora, Istraživački projekti - Razvoj produktivnosti u industriji obrade metala, Mašinski fakultet, Kragujevac, 1989-1992.

REZIME

U radu je prikazan deo rezultata eksperimentalnih istraživanja vezanih za ispitivanje uticaja stepena pohabanosti alata na kvalitet obrađene površine. Cilj ovih istraživanja je utvrđivanje korelativnih zavisnosti između određenih parametara hrapavosti obrađene površine i parametara pohabanosti alata. Na osnovu dobijenih regresionih jednačina definisani su indeksi obradivosti nekih čelika preko postojanosti alata, uz ograničenje izvedeno preko srednjeg aritmetičkog odstupanja profila kao tehnoloskog kriterijuma pohabanosti alata.

RAZVOJ MODELA HABANJA GLODALA KOD AC SISTEMA

Zvonko Djordjević, Slavko Arsovski, Bogdan Nedić, Branko Tadić
Mašinski fakultet, Kragujevac

1. UVOD

Ispitivanje uticaja habanja na silu rezanja podrazumeva skidanje glodala sa mašine radi merenja habanja i njegovo ponovno vraćanje, što stvara posebne probleme. Tada se odstupanja mera pojedinih zuba smanjuju, a pojedinih povećavaju, što otežava procese praćenja sile koja se javlja u procesu rezanja i nalaženja krive habanja.

Glodanje je poseban proces i po tome što i u idealnim uslovima debljina strugotine nije konstantna, što znači da se sile rezanja ne ponašaju kao klasične odskočne funkcije (kao što je slučaj kod rendisanja, struganja i bušenja), pa je i zato određivanje veličine sile veoma otežano.

U radu su dati preliminarni rezultati razvoja modela habanja za ON-LINE identifikaciju procesa habanja merenjem otpora rezanja pri obradi glodanjem.

2. PROGRAM I USLOVI ISPITIVANJA

Prilikom izvođenja eksperimenta je korišćena sledeća merna instrumentacija:

- trokomponentni piezo - dinamometar KISTLER, tip 9443;
- razdelnik signala KISTLER, tip 5407;
- trokanalni most - pojačivač KISTLER, tip 5007;
- analogno digitalni pretvarač BURR-BROWN, tip PCI SYSTEMS 20000;
- univerzalni alatni mikroskop UIM-21;
- PC - AT računar.

Eksperiment je izveden sa sedam vretenastih glodala, označenih brojevima od 1-7, prečnika $d=17$ mm, JUS K.D2.090, uz napomenu da je prečnik drške $d_1=16$ mm i ugao nagiba zuba $=32^\circ$.

Mašina je bila univerzalna glodalica ruske proizvodnje tipa 675 P, snage $P=2,5$ kW.

Materijal predmeta obrade bio je čelik č1531.54, vučen i poboljššan, zatezne čvrstoće $R_m = 77,1 \text{ daN/mm}^2$, tvrdoće 215 HB, čiju je mikrostrukturu činio sorbit sa učešćem perlita i ferita pretežno na granici zrna. Izgled epruvete dat je na slici 1.

Program ispitivanja za glodala 1 i 2 se svodio na ispitivanje otpora rezanja bez uticaja habanja na njih (hsrz sproveden je sa vrednostima:

- koraka glodala

$$sz_1 = 0,01 \text{ mm/z}$$

$$sz_2 = 0,016 \text{ mm/z}$$

$$sz_3 = 0,025 \text{ mm/z}$$

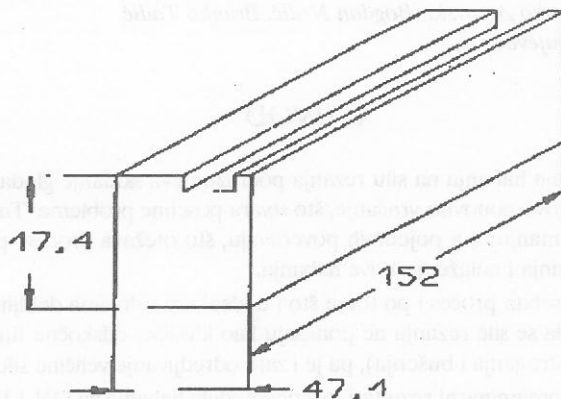
- brzine rezanja

$$V_1 = 16,82 \text{ m/min}$$

$$V_2 = 21,36 \text{ m/min}$$

$$V_3 = 26,70 \text{ m/min}$$

$$V_4 = 33,65 \text{ m/min.}$$



Sl. 1. Prikaz epruvete

Kao sredstvo za hlađenje i podmazivanje korišćeno je mineralno emulgirajuće ulje UBA-5, koncentracije 5% i protoka $Q = 1 \text{ l/min}$.

Dubina rezanja je bila konstantna i iznosila je $\delta = 17 \text{ mm}$.

Širina rezanja je takodje bila konstantna i iznosila je $b = 1 \text{ mm}$.

Pomenuta glodala 1 i 2 su iskorišćena za definisanje osnovnih korelativnih veza između otpora rezanja, koraka i brzine rezanja i kao osnova za nalaženje korekcionog faktora K_g koji između ostalog uzima u obzir uticaj geometrije glodala na otpore rezanja. Sa ovim glodalima je izveden pun eksperiment 4×3 (četiri brzine rezanja i tri koraka rezanja).

Svako od glodala 3, 4, 5, 6 i 7 je ispitivano u posebno mrežimu po sistemu skraćenog eksperimenta i to sa sledećim kombinacijama koraka i brzina rezanja $s_{z2}-V_1$ (glodalo 3), $s_{z2}-V_3$ (glodalo 4), $s_{z2}-V_4$ (glodalo 5), $s_{z1}-V_3$ (glodalo 6) i $s_{z3}-V_3$ (glodalo 7).

3. POLAZNE PRETPOSTAVKE

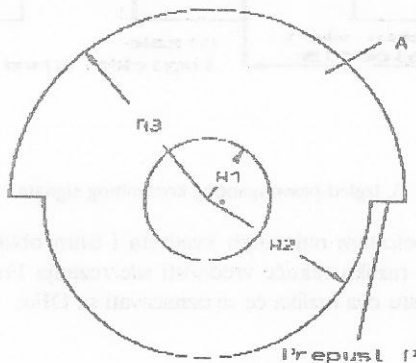
Sile rezanja nisu se mogle dobiti direktnim očitavanjem amplitude zapisa sile i njenim množenjem odgovarajućom konstantom. Zato je numeričkim putem nadjena površina koju ograničava kriva i odgovarajuća nulta vrednost. Srednja vrednost sile je nadjena tako što je površina ispod krive podeljena sa brojem tačaka koje su učestvovala u formiranju površine. Vrednost površine ispod krive nije se delila sa ukupnim brojem tačaka, već sa brojem tačaka koje su zadovoljavale uslov da je im je amplituda veća od vrednosti koja iznosi 5% od maksimalnog pika koji se na zapisu javlja. Po obavljenom deljenju vrednost otpora rezanja se uvećavala za pomenutih 5% vrednosti maksimalnog pika koji se na zapisu pojavio. Time je na relativno jednostavan način eliminisan šum koji je tokom celog eksperimenta bio izrazito veliki.

Sledeća pretpostavka je da su sile F_x i F_y konstantne u toku svih 180, a da stepen učešća ovih sila u obimnoj sili zavisi samo od ugla, što se može videti i iz sledećeg izraza:

$$F_o = F_x \cdot \cos(\varphi) + F_y \cdot \sin(\varphi)$$

Osnovno je bilo obezbediti da se pri svakom merenju uzima jedan isti broj obrtaja glodala k. Ovo ne treba mešati sa brojem obrtaja radnog vretena n (°/min). Veličina k označava broj obrtaja glodala koji se integriše (recimo, snima se 15 obrtaja) nezavisno da li je broj obrtaja n = 315 o/min ili n = 630 o/min.

Zato je konstruisan uređaj koji kontroliše integralenje zapisa. Osnovu uređaja čini sklop jedne LED diode, jedne FOTO diode i naravno "davača" napravljenog od čeličnog lima debljine 1 mm (Sl.2.) koji se montirao na obrtni deo glave glodalice za vertikalno glodanje koji se nalazi na strani suprotnoj od glodala. Sa slike se može videti da tokom jedne polovine svog obrta (deo A) davač zaklanja svetlost FOTO diodi pa se na izlazu dobija visok logički nivo (zbog logičkog kola NE). U toku druge polovine obrta se dobija nizak logički nivo.



Sl. 2. Izgled davača za nalaženje broja obrtaja

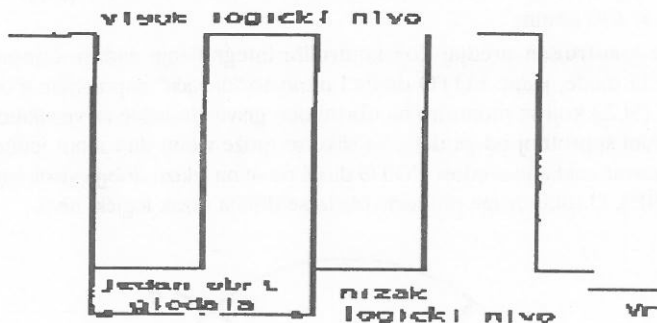
Osnovna ideja pri projektovanju ovog davača bila je stvoriti pravougaoni impuls koji bi se konvertovao putem posebnog kanala A/D konvertora u digitalni oblik (sl.3.). Pošto se davač okreće zajedno sa glodalom (istom ugaonom brzinom), stvara se željeni niz pravougaonih

impulsa gde uzlazna ivica tog signala (skok signala sa niskog na visoki logički nivo) označava početak obrtaja. Softverskom analizom datog signala se može doći do tražene tačke početka jednog obrtaja. Ako se prilikom nailaska na prvi skok sa niskog na visoki logički nivo započne integraljenje krive, i integraljenje završi prilikom nailaska na uzlaznu ivicu sa rednim brojem $k+1$, dobija se površina ispod krive signala, tj. rad koji se utroši za k obrtaja glodala.

4. REZULTATI MERENJA

Postupak obrade rezultata jetekao na sledeći način. Metodom najmanjih kvadrata se došlo do odgovarajućih krivih habanja alata. Osnovne karakteristike ovog modela su veoma verno predstavljanje dobijenih rezultata (dobijeni su veoma visoki koeficijenti korelacije) i predstavljanje celokupne krive habanja samo jednim izrazom. Opšti oblik izraza glasi:

$$h_{sr} = C_1 \cdot t + C_2 \cdot t^2 + C_3 \cdot t^3$$



Sl. 3. Izgled pravougaonog kontrolnog signala

Zatim je, takodje metodom najmanjih kvadrata i istim oblikom modela kao za h_{sr} , nadjena regresiona kriva za razliku tekuće vrednosti sile rezanja F_o i odgovarajuće početne vrednosti F_{op} . U daljem tekstu ova razlika će se označavati sa DF_o :

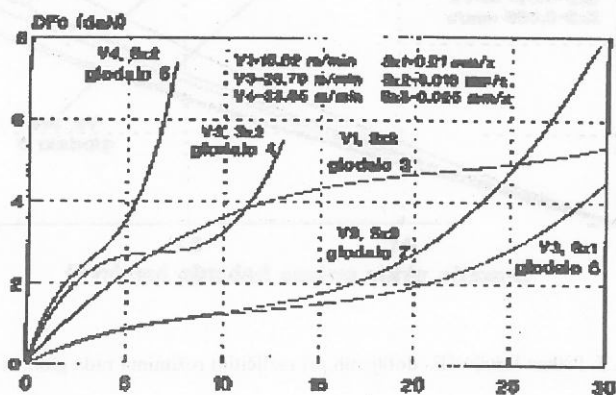
$$DF_o = F_{op} - F_o = C_1 \cdot t + C_2 \cdot t^2 + C_3 \cdot t^3$$

Odgovarajući grafički prikazi krivih DF_o su dati na slici 4. kao zbirni prikaz svih krivih, a pregled dobijenih vrednosti konstanti C_1 , C_2 , C_3 i odgovarajućih koeficijenata korelacije za krive koje predstavljaju DF_o je dat u tabeli T.1.

T.1. Prikaz vrednosti konstanti C1, C2, C3 i odgovarajućih koeficijenata korelacije u izrazu za DFO

| Red.br. glodala | konstanta C1 | konstanta C2 | konstanta C3 | koeficij. korelacije |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|----------------------|
| 3 | 0.564432 | -0.023857 | 0.000368 | 0.9970 |
| 4 | 1.210199 | -0.181290 | 0.009287 | 0.9965 |
| 5 | 1.624836 | -0.380396 | 0.039344 | 0.9917 |
| 6 | 0.229243 | -0.014600 | 0.000400 | 0.9789 |
| 7 | 0.249436 | -0.018495 | 0.000645 | 0.9706 |

Može se postaviti pitanje ponovljivosti rezultata. Naravno, moguće je da se prilikom ponavljanja eksperimenta ne dodje do istovetnih vrednosti otpora rezanja, ali će pokazatelji otpora rezanja kao što su DFO i KFO (zadnji će biti objašnjen u nastavku) imati daleko veća poklapanja sa rezultatima prezentiranim u ovom radu.



Sl. 4. Prikaz vrednosti DFO dobijenih pri različitim režimima rada glodala 3 – 7

Sve što je do sada prezentirano predstavlja vremensku regresionu analizu, tačnije ispitivanje ponašanja pojedinih parametara u vremenu. Sledeći korak predstavlja pokušaj povezivanja otpora rezanja direktno sa habanjem. Ponovo je potrebno uvesti novu veličinu, a to

je količnik tekuće vrednosti obimne sile i njene početne vrednosti (u daljem tekstu će se ova veličina označavati sa KF_o):

$$KF_o = F_o / F_{op} = e^{C_x \cdot h_{sr}^2}$$

gde su:

C_x - konstantae

e - osnova prirodnog logaritma i

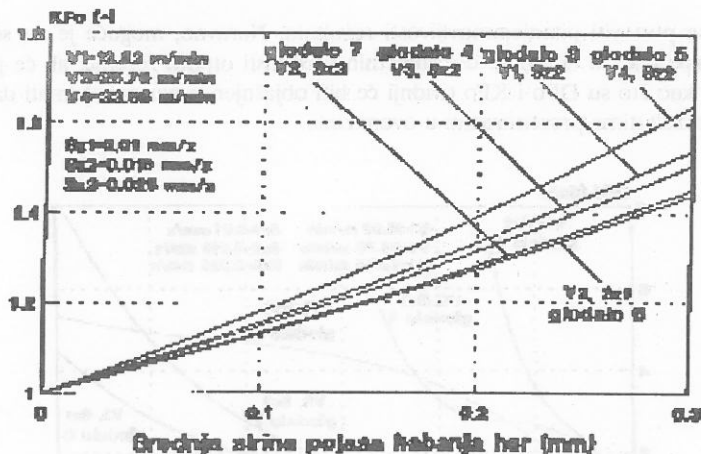
KF_o - njene početne vrednosti;

F_o (daN) - tekuća vrednost obimne sile;

F_{op} (daN) - početna vrednost obimne sile;

h_{sr} (mm) - srednja širina pojasa habanja.

Grafički prikaz dobijenih krivih dat je na slici 5 sa koje može primetiti da se vrednosti veličine KF_o za usvojeni kriterijum pohabanosti alata ($h_{sr} = 0,3\text{mm}$) kreću od 1,45 do 1,65 što su relativno bliske vrednosti kojeseamo govore da oblik habanja, prihabanju alata u različitim režimima rada glodala, ne varira mnogo, naravno za opseg brzina i koraka sa kojima je radjeno.



Sl. 5. Prikaz krivih KF_o dobijenih pri različitim režimima rada glodala 3 - 7

Vratimo se na prethodnu jednačinu koja u razvijenoj formiglaslasi:

$$F_o = C \cdot s_z^x \cdot V^z \cdot e^{C_x \cdot h_{sr}^2}$$

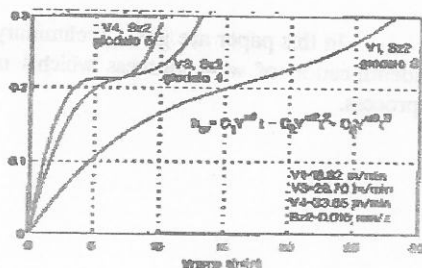
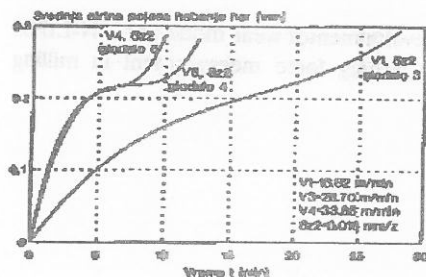
Može se primetiti da upravo zadnji deo jednačine $e^{C_x \cdot h_{sr}^2}$ ne predstavlja ništa drugo do korekcionni faktor K_h i da to više nije konstanta data u orijentacionim vrednostima već se do njene vrednosti može doći proračunom. Naravno, dobijeni analitički izrazi za K_h važe za srednju širinu pojasa habanja $h_{sr} < 0,3 \text{ mm}$.

Sledeći korak u ovoj analizi predstavlja nalaženje zavisnosti habanja hsr na jednoj strani i vremena rezanja t, brzine rezanja V i koraka rezanja sz na drugoj. Pokušaji nalaženja pomenute zavisnosti se mogu naći u mnogim izvorima i uglavnom se svode na prikazivanje pomenute zavisnosti pomoću više analitičkih izraza. Zato se moralo početi od nešto komplikovanijeg modela koji ima izgled:

$$h_{sr} = C_1 \cdot V^{u_1} \cdot t + C_2 \cdot V^{u_2} \cdot t^2 + C_3 \cdot V^{u_3} \cdot t^3$$

Vrednosti konstanti C_1 , C_2 i C_3 i eksponenta u_1 , u_2 i u_3 su dati u tabeli T.2.

Uporedni prikaz stvarnih krivih habanja i krivih habanja dobijenih pomoću prethodnog modela dat je na slici 6. Kao što se može primetiti, poklapanja trendova i položaja odgovarajućih krivih su zaista izuzetna. Dobijena zavisnost, iako relativno složena, pruža izuzetno velike mogućnosti u prognoziranju postojanosti alata ili u izboru optimalne brzine rezanja za dati vek alata.



5. ZAKLJUČCI

Opisani eksperiment je urađen tako što je svako glodalo habano u različitoj kombinaciji brzine i koraka rezanja. Veoma interesantno bi bilo ispitivanje ponašanja glodala koje bi se habalo u režimima koji nisu konstantni, tj. ispitivanje da li glodalo promenom režima odmah počinje da se haba po nekom drugom zakonu ili postoji neki prelazni period i sl. Tek takva obimna ispitivanja bi dovela do pravih i potpunih zaključaka neophodnih za potpuno adaptivno upravljanje alatnim mašinama.

6. LITERATURA

- /1/ S. Arsovski, Analiza mogućnosti adaptivnog upravljanja alatnim mašinama na osnovu merenja intenziteta habanja reznih elemenata alata, magistarski rad, Kragujevac, 1978.
- /2/ Z. Djordjević, Novi pristup razvoju sistema upravljanja alatnim mašinama, magistarski rad, Kragujevac, 1991.
- /3/ G. I. Grainovski, V. G. Grainovski, Rezanje metallov, Višaja škola, Moskva, 1985.
- /4/ B. Nedić, Upravljanje procesom obrade otvora bušenjem, magistarski rad, Kragujevac, 1992.
- /5/ B. Tadić, Utvrđivanje korelativnih veza parametara rezanja kao podloge za razvoj ekspertnog sistema u obradi struganjem, magistarski rad, Kragujevac, 1989.

ABSTRACT

In this paper are given preliminary results of development of wear model for ON-LINE identification of wear process which is monitored by cutting force measurement in milling process.

TEHNOEKONOMSKA OPTIMIZACIJA OBRADNIH PROCESA U TEŠKOJ MAŠINOGRAĐNJI

*Vučko Mečanić,
Ranko Rakanović,
Ljubodrag Đorđević,
Arandel Babić,
Dragan Petrović
Mašinski fakultet Kraljevo*

REZIME

Odvijanje obradnih procesa u prostoru maksimalnih ekonomskih efekata cilj je svih tehno-ekonomskih optimizacija. Radi toga se na području obradnih procesa proizvodnog mašinstva, a posebno u teškoj mašingradnji, ulažu veliki naponi za definisanje podloga računskog i optimizacionog procesa. To se odnosi na definisanje modela obradnih procesa, istraživanje funkcija obradivosti, metoda optimizacije i softverske podrške. U radu se o tome govori.

SUMMARY

Technical-Economic Optimizing of Processing in Heavy Engineering Development of processing in the space of maximum economic effects is the aim of all technical-economic optimizing. Due to that in the field of production machinery, especially in heavy engineering enormous efforts for defining a base of calculating and optimizing process are done. This is applied to defining models of processing, research of the functions of production procedure; method of optimizing and software support and these are the themes of the works.

1. UVODNA RAZMATRANJA

Obradni procesi u teškoj mašinogradnji odvijaju se u uslovima povećanih dinamičkih, statičkih i energetskih opterećenja. Povećana opterećenja su posledica povećanih preseka strugotine, odnosno povećanog otpora rezanja koji u obradnim procesima mogu izazvati negativne efekte.

Dinamičko ponašanje obradnog sistema utiče na: kvalitet obrađene površine, tačnost dimenzija i oblika, habanje alata, habanje elemenata sistema, proizvodnost i slično.

Uzimajući u obzir navedeno, za optimizaciju procese u generalnom pristupu, a posebno u teškoj mašinogradnji, potrebno je istražiti i definisati niz specifičnih aktivnosti i procedura. Potrebno je istražiti:

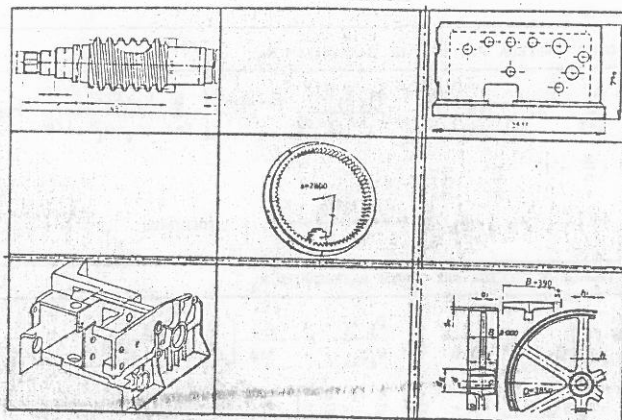
- zakonitost obradnih procesa,
- matematičko modeliranje,
- metode optimizacije,
- teoriju upravljanja,
- metode programiranja i slično.

Obradni procesi u teškoj mašinogradnji sa stanovišta optimalnih rešenja su posebno značajni i po tome što se na ovom području vrši obrada složenih struktura u koje spadaju:

- postolja mašina
- osovine i vratila većih dimenzija
- zupčanic, zamajci za prese i slični obradci.

Zajednička karakteristika navedenih obradaka sastoji se u tome, što njihova obrada zahteva visok stepen koncentracije postupaka obrade i više alata u obradi. Složene strukture radi lakšeg proučavanja moguće je klasificirati na rotacione, nerotacione i kombinovane. Izgled nekih obradaka teške mašinogradnje u matričnoj formi prikazan je na slici 1.1.

Iz prikazanih matrica vidi se sva složenost obradnih i optimizacionih procesa u teškoj mašinogradnji. Dovoljno je na primer da se napravi greška od samo jednog prolaza pri uzdužnoj obradi od recimo 2000mm, pa da se sve vreme obrade poveća za oko 35min/kom. To ukazuje na značaj optimizacionih procesa bilo u klasičnoj ili kompjuterskoj tehnologiji.



Slika 1.1. Matrica kombinovanih obradaka u teškoj mašinogradnji

2. FORMIRANJE MODELA OPTIMIZACIONOG PROCESA

Pri projektovanju i optimizaciji obradnih procesa, polazi se od formiranja matematičkog modela obradnog procesa. Model obradnog procesa predstavlja matematički opis odvijanja procesa i treba da obuhvati većinu uticajnih faktora [1], [2], [3], [4], Pri formiranju modela mora se voditi računa i o kriteriju optimizacije. Od modela optimizacionog procesa zavisi: nivo obuhvaćenih parametara, nivo uticajnih faktora, metod optimizacije, te nivo računskih i optimizacionih procedura.

Tako se optimizacija može vršiti prema modelu u obliku:

$$K = K(V, S, d, T, A, M, \dots) \quad (2.1)$$

čiji transformisani oblici [3], [4], [5]..., imaju izgled

$$\begin{aligned}
 & \text{..... OBRADA STRUGANJEM - } K_1 \text{} \\
 & K_1 = K_{OPM} + KMO \left(\sum_{i=1}^n \frac{t_{pi}}{p_i} + \frac{1}{318} \sum_{i=1}^n \frac{D_i L_i a_i}{V_i S_i d_i} \right) + \frac{KMO}{318} \left[\sum_{i=1}^n \frac{D_i L_i a_i}{C_v \cdot 1/m} (t_{z1} + \frac{K_{A1} + K_{PA1} + K_{P1}}{KMO}) \right. \\
 & \left. \frac{1}{m} \cdot \frac{1}{V_i} \cdot \frac{Y_m - 1}{S_i} \cdot \frac{1}{d_i} - I \right] + \left(\frac{K_{PM} + K_{PR} + K_S}{NS} \right) \quad (\text{din/kom}) \\
 & \text{..... OBRADA BUŠENJEM - } K_2 \text{} \\
 & K_2 = K_{OPM} + KMO \left(\sum_{i=1}^n \frac{t_{pi}}{p_i} + \frac{1}{318} \sum_{i=1}^n \frac{D_i L_i}{V_i S_i d_i} \right) + \frac{KMO}{318} \left[\sum_{i=1}^n \frac{D_i L_i}{(C_v \cdot D^{XO}) \cdot 1/m} (t_{z1} + \frac{K_{A1} + K_{PA1} + K_{P1}}{KMO}) \right. \\
 & \left. \frac{1}{m} \cdot \frac{1}{V_i} \cdot \frac{Y_m - 1}{S_{11}} \cdot \frac{1}{d_i} - I \right] + \left(\frac{K_{PM} + K_{PR} + K_S}{NS} \right) \quad (\text{din/kom})
 \end{aligned}$$

MODEL OBRADNOG PROCESA PRI OBRADI GLODANJEM K_3

$$K_3 = K_{OPM} + KMO \left(\sum_{i=1}^n t_{p1} + \frac{1}{318} \sum_{i=1}^n \frac{D_1 \cdot l_1 \cdot a_1}{V_1 \cdot S_{11} \cdot \delta_1} \right) + \frac{KMO}{318} \left[\sum_{i=1}^n \frac{D_1 \cdot l_1 \cdot a_1}{(C_v \cdot D_1^q)^{1/m}} (t_{z1} + \frac{K_{A1} + K_{PA1} + K_{PI}}{KMO}) \right. \\ \left. \cdot \frac{1}{m} - 1 \cdot \frac{Y}{m} - 1 \cdot \frac{X}{m} - 1 \cdot \frac{u}{m} - 1 \cdot \frac{r}{m} \right] + \left(\frac{K_{PM} + K_{PR} + K_S}{NS} \right) \quad (\text{din/kcm})$$

MODEL OBRADNOG PROCESA PRI OBRADI RAZVRTANJEM K_4

$$K_4 = K_{OPM} + KMO \left(\sum_{i=1}^n t_{p1} + \frac{1}{318} \sum_{i=1}^n \frac{D_1 \cdot l_1}{V_1 S_{11}} \right) + \frac{KMO}{318} \left[\sum_{i=1}^n \frac{D_1 \cdot l_1}{(C_v \cdot D_1^q)^{1/m}} (t_{z1} + \right. \\ \left. + \frac{K_{A1} + K_{PA1} + K_{PI}}{KMO}) \cdot \frac{1}{m} - 1 \cdot \frac{Y}{m} - 1 \cdot \frac{X}{m} - 1 \cdot \frac{u}{m} \right] + \left(\frac{K_{PM} + K_{PR} + K_S}{NS} \right) (\text{din/kcm}) \quad (2.2)$$

REZANJE NAVOJA - K_5

$$K_5 = K_{OPM} + KMO \left(\sum_{i=1}^n t_{p1} + \frac{1}{318} \sum_{i=1}^n \frac{D_1 \cdot l_1}{V_1 \cdot h_1} \right) + \frac{KMO}{318} \left[\sum_{i=1}^n \frac{D_1 \cdot l_1}{(C_v \cdot D_1^q)^{1/m}} \cdot \right. \\ \left. \cdot (t_{z1} + \frac{K_{A1} + K_{PA1} + K_{PI}}{KMO}) \cdot \frac{1}{m} - 1 \cdot \frac{Y}{m} - 1 \cdot \frac{X}{m} \right] + \left(\frac{K_{PM} + K_{PR} + K_S}{NS} \right) (\text{din/kcm})$$

*Pored kompleksnih optimizacija prema modelima u obliku (2.2), optimizaciju je moguće vršiti i prema nešto jednostavnijim modelima. U tom slučaju modeli optimizacionih procesa za osnovne postupke obrade imaju izgled:

| | | |
|--|-----------------------|-------|
| $F_c \quad C_i / (V_i \cdot S_i \cdot \delta_i)$ | (struganje) | |
| $F_c \quad C_i / (V_i \cdot S_i)$ | (bušenje) | |
| $F_c \quad C_i / (V_i \cdot S_i \cdot \delta_i)$ | (glodanje glod.glav.) | (2.3) |
| $F_c \quad C_i / (V_i \cdot S_i \cdot t_i)$ | (razvrtanje) | |
| $D_x \quad C_i / (V_i \cdot h_i)$ | (rezanje navoja) | |

Nakon definisanja optimizacionog modela, odnosno funkcije cilja, formiraju se funkcije ograničenja. Funkcije ograničenja obuhvataju ograničenja od strane: mašine, alata i predmeta koji se obradjuje. Broj funkcija ograničenja zavisi od postupaka obrade i različita su za različite postupke obrade. Funkcije ograničenja se radi prostora izostavljaju ali su opisane u širem spisku literature.

3. IZBOR METODE OPTIMIZACIJE

Na osnovu definisanog modela obradnog i optimizacionog procesa, vrši se izbor metode optimizacije. Izbor metode optimizacije značajan je sa više aspekata

| Karakteristike metoda i zadataka koje mogu optimirati | METODE LINEARNIH APROKSIMACIJA | | | | | | METODE TRANST-FUNKCIJA /Metode kaznenih funkc./ | | | | METODE DIREKTA PRETRAŽIVANJA | | | | |
|---|------------------------------------|-----------|-------------------------------------|------------------------|---------------------------------|-----------------------|---|------------------|---------------|-------------------------------------|------------------------------|---------|---------|---------|---------|
| | Metode aproksim. uključ. programir | Metod NLP | Metod Rosenbrock /Projekt. gradij./ | Početni gradij. /metod | Metod Davidon. Fletcher. Powell | Metod dopust. pravaca | Metod usmeren. gradijenta. | Metod Rosenbrock | Metod Davidon | Kombinovani metod kaznenih funkcija | | | | | |
| Oblici funkcije cilja F(X) | L i NL | L i NL | L i NL | L i NL | L i NL | L i NL | L i NL | L i NL | L i NL | L i NL | L i NL | L i NL | L i NL | L i NL | L i NL |
| Mogućnost optimiranja sa ogran.u vidu jedn. | Ne | L i NL | L | L | L | Ne | L i NL | L i NL | Ne | L | L i NL | L i NL | L i NL | L i NL | L i NL |
| Mogućnost optimiranja sa ogran.u vidu nejed. | NL ¹⁾ | L i NL | L i NL ²⁾ | L i NL | L i NL | L i NL | L i NL | L i NL | L i NL | L i NL | L i NL | L i NL | L i NL | L i NL | L i NL |
| Početna tačka pri optimizaciji | D | D i N | D | D i N | D | D i N | D i N | D i N | Umtr. | Umtr. | Umtr. | Umtr. | Umtr. | D i N | D i N |
| Mogućnost optimiranja nekonvexnih funkcija | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| Brzina konvergencije pri optimizaciji | Niska | Niska | Visoka ³⁾ | Niska | Srednja | Visoka | Visoka | Visoka | Srednja | Srednja | Visoka | Srednja | Srednja | Srednja | Srednja |
| Postoje li mogućnosti nedjurgešenja | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| Mogućnost primjene na optimiz.obradnih proc. | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |

1) Nepiklani za rješavanje zadataka sa linearnim ograničenjima

2) Veoma neefikasn pri rješavanju zadataka sa nelinearnim ograničenjima

3) Za rješavanje zadataka samo sa linearnim ograničenjima

L - Linearno
NL - Nelinearno
D - Doprastiva
N - Nedoprastiva
* - Aplikativne
za optimizaciju
obradnih procese

Slika 3.1. Karakteristike nekih metoda NLP sa ograničenjima

kao što su:

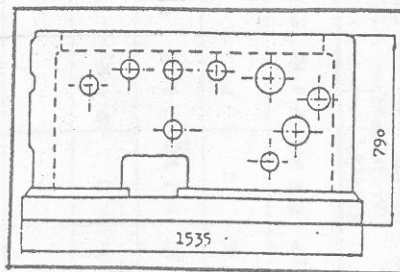
- oblici funkcije cilja,
- mogućnosti optimiranja sa i bez ograničenja,
- optimizacija sa ograničenjima u vidu jednačina i nejednačina,
- položaj inicijalnog vektora (P ili N),
- brzina konvergencije,
- mogućnosti medjurešenja
- pouzdanost metode i slično.

Osim toga, mora se voditi računa i o tome, da li za određeni metod postoje algoritam i program optimizacije, te pouzdanost metode za definisanu klasu zadataka.

Istraživanja pokazuju, da obradni procesi na području proizvodnog mašinstva grade nelinearne modele i da je pri izboru metode optimizacije uputno o ovome voditi računa. U tom smislu daje se pregled nekih metoda nelinearnih optimizacija ili tačnije rečeno nekih metoda nelinearnog programiranja.

4. PRIMER OPTIMIZACIJE

a) Kompleksna optimizacija



STRUGANJE

| | A1 | A2 | A3 | A4 | A5 | A6 | A7 | A8 |
|----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| K2 | 17.92 | 17.92 | 7.58 | 7.92 | 7.58 | 11.92 | 22.58 | 26.92 |
| K4 | 5.35 | 5.05 | 5.25 | 5.25 | 5.25 | 5.09 | 5.17 | 5.09 |
| K5 | 6.06 | 6.06 | 72.76 | 6.06 | 6.06 | 72.76 | 24.25 | 72.76 |
| T | 29.32 | 29.02 | 85.59 | 19.22 | 18.89 | 85.77 | 52.01 | 104.77 |
| PP | 80.50 | 80.60 | 99.09 | 77.40 | 77.29 | 100.45 | 88.11 | 105.35 |
| V | 128.72 | 141.35 | 119.26 | 121.92 | 60.00 | 118.01 | 59.90 | 121.48 |
| S | .22 | .22 | .28 | .28 | .19 | .28 | .15 | .24 |
| DL | 5.50 | 3.00 | 5.00 | 6.00 | .10 | 4.50 | .50 | 4.99 |
| GT | .52 | .20 | .00 | .00 | 92.43 | 2.71 | 81.15 | .00 |
| CZ | 1374.72 | 1356.74 | 1299.83 | 1252.60 | 1514.80 | 1322.75 | 1507.84 | 1318.96 |
| 01 | 313.03 | 314.36 | 313.01 | 312.42 | 315.93 | 313.30 | 315.72 | 313.18 |
| C4 | 66.33 | 67.56 | 201.08 | 192.45 | 102.69 | 101.77 | 102.57 | 27.26 |
| C5 | 1.65 | .92 | 1.82 | 3.17 | .03 | 1.64 | .15 | 1.63 |
| C6 | .20 | .20 | .27 | .27 | .17 | .27 | .17 | .23 |
| 07 | .00 | .00 | .00 | .00 | .00 | .00 | .00 | .00 |
| C8 | 126.21 | 139.16 | 113.67 | 114.22 | 54.34 | 113.61 | 56.13 | 113.33 |
| C9 | 374.42 | 297.64 | 1000.23 | 1286.82 | 1072.08 | 762.49 | 694.81 | 527.65 |
| 10 | 5.43 | 2.98 | 4.98 | 5.98 | .08 | 4.48 | .48 | 4.97 |
| 11 | .00 | .00 | .00 | .00 | .00 | .00 | .00 | .01 |
| TU | 12.23 | 5.55 | 13.61 | 4.51 | 27.27 | 9.35 | 15.67 | 15.11 |

E U Š E N J E

R A Z V R T A N J E

| | A1 | A2 | A3 |
|----|----------|----------|----------|
| K2 | 21.35 | 12.10 | 4.47 |
| K4 | 10.21 | 10.21 | 10.21 |
| K5 | 3.67 | 3.67 | 3.67 |
| T. | 35.23 | 25.98 | 18.28 |
| PP | 208.37 | 201.22 | 194.86 |
| V | 22.24 | 21.03 | 24.67 |
| S | 1.00 | 1.00 | .36 |
| C1 | .04 | .00 | 1.42 |
| C2 | 41217.23 | 51047.22 | 79965.24 |
| B3 | 7.45 | 9.44 | 15.75 |
| B4 | 1.26 | .43 | .00 |
| B5 | 20.33 | 19.62 | 23.92 |
| B6 | 360.15 | 260.73 | 123.74 |
| C7 | .99 | .99 | .35 |
| C8 | .30 | .00 | .64 |
| TU | 17.50 | 8.50 | 6.07 |

| | A1 | A2 | A3 |
|----|--------|--------|--------|
| K3 | 136.54 | 610.54 | 760.54 |
| K4 | 2.52 | 2.52 | 2.52 |
| K5 | 34.77 | 4.04 | 4.04 |
| T. | 173.83 | 617.10 | 767.10 |
| PP | 74.52 | 159.12 | 187.71 |
| V | 22.31 | 22.03 | 21.52 |
| S | 2.00 | 2.00 | 2.00 |
| B1 | .10 | .10 | .10 |
| B1 | .00 | .00 | .00 |
| C2 | 1.97 | 1.97 | 1.97 |
| C3 | .00 | .00 | .00 |
| B4 | 21.56 | 19.83 | 19.04 |
| B5 | .00 | .00 | .00 |
| C6 | .00 | .00 | .00 |
| C7 | 126.63 | 418.22 | 481.62 |
| TU | 3.56 | 8.32 | 10.32 |

b) Optimizacija rezima rezanja

; Optimizacija rezima obrade

\$ min (Fc)

Fc>0

Fc=15546/(vi*si*ai)

vi*si^{0.35}*ai^{0.15}<92.29vi*si^{0.75}*ai^{0.90}<244.80

si>0.010

si<0.632

vi>4.000

vi<164.00

ai>0.010

ai<4.000

; Optimizacija procesa busenja

\$ min (Fc)

Fc>0

Fc=25.30/(vi*si)

vi*si^{0.70}<9.240vi*si^{0.80}<13.30

vi>0.624

vi<66.00

si>0.010

si<0.125

Variables Values

ai = 4.0000000

Fc = 73.779995

si = .63200000

vi = 83.349495

Variables Values

Fc = 1.4704985

si = .12500000

vi = 38.082325

5. ZAKLJUČCI

Na osnovu razmatranja u radu mogu se izvesti sledeći zaključci:

1. Pri projektovanju obradnih procesa posebno u teškoj mašinogradnji ne mogu se postići značajniji ekonomski efekti bez optimizacije tehnoloških procesa.
2. U tom smislu treba uložiti više napora na istraživanju funkcija obradivosti sa lociranjem problema na uslove u teškoj mašinogradnji, sa primenom novih materijala obradaka, novih materijala alata i savremenije obradne sisteme.
3. Potrebna su dalja istraživanja metoda i postupaka optimizacije, matematičkih modela, te funkcija ograničenja.

6. LITERATURA

- [1] Mečanin V., Prilog optimizaciji obrade na CNC obradnim centrima, Tehnika 9/84., Beograd 1984.
- [2] Mečanin V., Rakanović R., Babić A., Optimizacija obradnih procesa u teškoj mašinogradnji kao podloga za projektovanje teh.procesa na FOS-a, JUPITER konferencija, Kopaonik 1992.
- [3] Fiacco A. V., Mc Cormick G.P., Nonlinear programming, Wiley N.Y.1968.
- [4] Rossen J.B., The gradient projection method for nonlinear programming, Part I, II, SIAM J., 8.9/1961.
- [5] Petric J., Nelinearno programiranje, Beograd 1979.
- [6] Mečanin V., Optimiranje obradnih procesa na CNC mašina sa osvrtom na obradne centre, Disertacija, Mostar 1981.
- [7] Vukelja D., Istraživanje funkcija obradivosti domaćih konstrukcionih materijala domaćim alatima, X savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Beograd 1975.

TROŠKOVI OBRADJE I OTPORI REZANJA U FUNKCIJI PRIMENE ALATA SA I BEZ PREVLAKA

D. Karović,

B. Tadić,

B. Nedić,

M. Erić

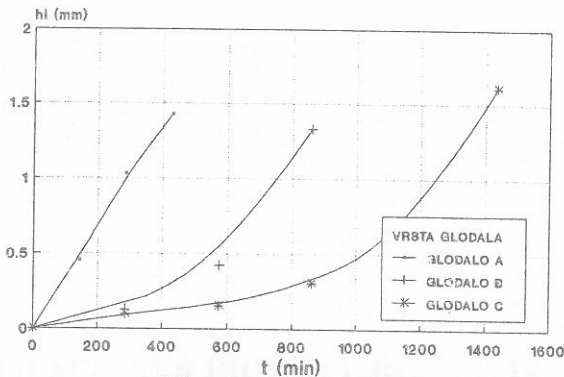
Mašinski fakultet u Kragujevcu

1. UVOD

Neprekidan razvoj tehnologije izrade alata i alatnih prevlaka doveo je do pojave na tržištu većeg broja alata različitih proizvođača sa različitim tribološkim karakteristikama. Obzirom na cenu alata, njegove tribološke karakteristike i krajnje efekte obradnog procesa izboru alata treba da prethode detaljnija eksperimentalna ispitivanja u konkretnim proizvodnim uslovima. Deo rezultata eksperimentalnih ispitivanja vezanih za ovu problematiku ima za cilj da ukaže na jedan integralniji i obuhvatniji pristup izbora alata za konkretne proizvodne operacije.

2. TROŠKOVI OBRADJE

Troškovi obrade, prezentirani u ovom radu, su analizirani za operacije odvalnog glodanja i uzdužnog struganja. Eksperimentalni podaci su dobiveni delom u fabrici "Mehanička obrada" DOO "ZJA", a delom u Laboratoriji za obradu metala rezanjem Mašinskog fakulteta u Kragujevcu. Ispitivana su tri odvalna glodala od istog proizvođača, koja se koriste pri izradi velikog zupčanika redukcionog para. Sva tri glodala su napravljena od Č9780. Dva glodala su prevučena sa TiN prevlakom (glodalo B i C) u dva različita Instituta koja se bave nanošenjem prevlaka PVD postupkom. Materijal predmeta obrade je bio Č7422, tvrdoće 143 HB. Kao SHP je korišćeno režno ulje - REZANOL 26. Brzina rezanja je bila 80 m/min, aksijalni korak 1.5 mm/o i šifing je iznosio 2.6 mm. Na slici 1. date su krive habanja odvalnih glodala, gde je sa "hi" označen parametar pohabanosti izlaznog boka zuba odvalnog glodala koji predstavlja aritmetički osrednjavanje vrednosti izmerenih parametra na svim zubima. Krive habanja su dobijene regresionom analizom eksperimentalnih podataka po odgovarajućoj baznoj funkciji /2/.



Slika 1. Krive habanja

Slika 1.

Sa dijagrama na slici može se primetiti da su razlike u postojanosti alata dosta velike izmedju prevučenih i neprevučenih glodala. Za kritični stepen pohabanosti $h_k = 1.1$ mm, odvalno glodalo B ima 2.5 puta veću postojanost nego odvalno glodalo A, a odvalno glodalo C četiri puta veću postojanost od odvalnog glodala A. Odvalna glodala B i C takodje pokazuju razlike u postojanostima, što pokazuje da i sam postupak nanošenja prevlaka ima veliki uticaj na kvalitet istih. Troškovi obrade su računati po izrazu:

$$V_o = R + A + M + V_{shp}$$

gde je:

V_o - trošak obrade proizvodne operacije (din/kom),

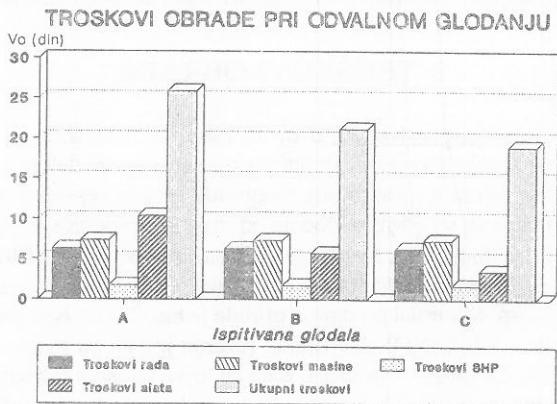
R - troškovi rada radnika,

A - troškovi alata,

M - troškovi mašine,

V_{shp} - troškovi SHP.

Troškovi obrade su prikazani histogramski na slici 2.

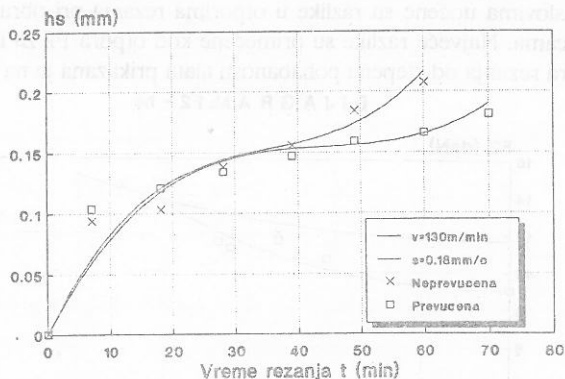


Slika 2.

Sa histograma se vidi da su troškovi obrade sa odvalnim glodalom A za 20% veći od troškova obrade sa glodalom B, odnosno 50% sa glodalom C.

Ispitivanja pri obradi struganjem je vršeno kod obrade glavčine zadnjeg točka sa pločicom EUNL 132K29 sa i bez TiN prevlake. Oznaka nosača je NEFR12A od proizvođača KENNAMETAL. Materijal predmeta obrade je Č1531.4. Brzina rezanja je 130 m/min, korak 0.18 mm/o, dubina rezanja 0.3 mm. Krive habanja ispitivanih pločica su date na slici 3.

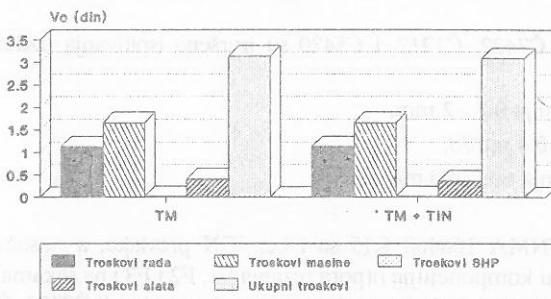
DIJAGRAM: $h_s - t$



Slika 3.

Sa slike se može videti da se krive habanja u prvom delom poklapaju, dok u drugom delu dolazi do izraženijeg habanja neprevučene pločice. Za kritični stepen pohabanosti alata $h_k = 0.2$ mm, postojanost prevučene pločice je veća za 25% od neprevučene. Troškovi obrade su dati na slici 4.

TROSKOVI OBRADE PRI STRUGANJU



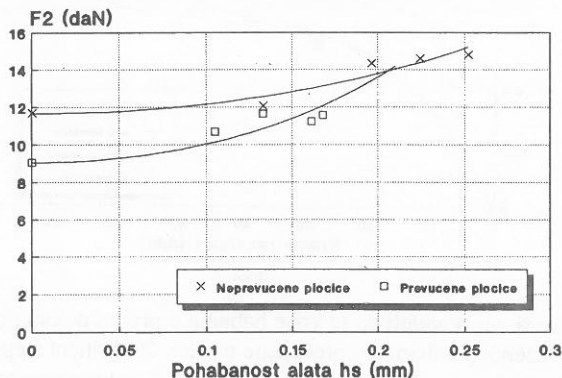
Slika 4.

Uočene razlike sa aspekta postojanosti alata i troškova obrade kod ispitivanih pločica u obradi struganjem nisu toliko velike kao kod odvalnog glodanja, što proističe iz velike razlike u postojanosti pojedinih alata.

3. OTPORI REZANJA

Prilikom ispitivanja, prethodno korišćenih, reznih pločica pri obradi struganjem u eksperimentalnim uslovima uočene su razlike u otporima rezanja pri obradi sa prevučenim i neprevučenim pločicama. Najveće razlike su primećene kod otpora F2 za ispitivane pločice, a zavisnost ovog otpora rezanja od stepena pohabanosti alata prikazana je na slici 5.

DIJAGRAM: F2 - hs



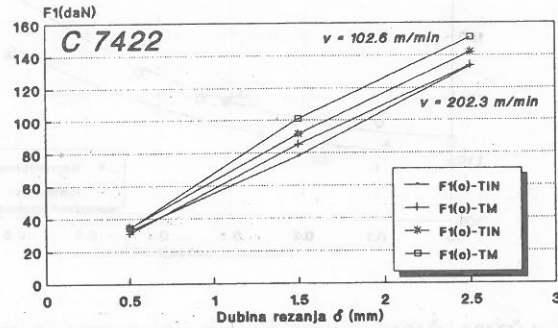
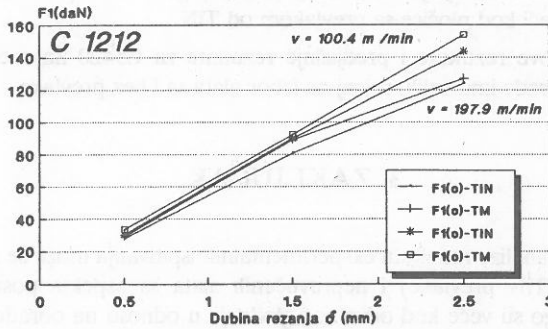
Slika 5.

Razlike u otporima rezanja primećene su i pri obradi drugih materijala predmeta obrade.

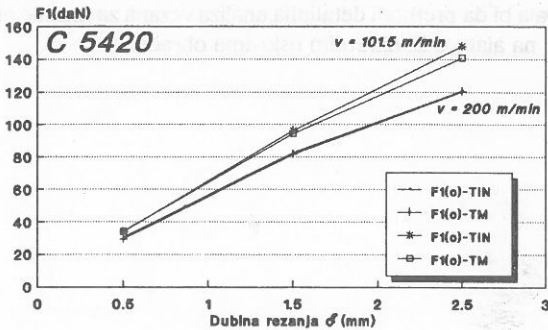
Na čelicima Č7422, Č1212, i Č5420 su izvršena ispitivanja uzdužnim struganjem sa oštrim alatom ($h \Sigma$)

- dubina rezanja 0.5 - 2 mm,
- korak 0.1 - 0.4 mm/o,
- brzina rezanja 60 - 200 m/min.

Pločica je TNMA 160408 K15 sa i bez TiN prevlake, a nosač pločice je PTNGR 2525M16. Merene su komponentne otpora rezanja F1, F2 i F3 i na slikama 6, 7 i 8 su prikazane zavisnosti glavnog otpora rezanja F1 od dubine rezanja pri obradi Č7422, Č1212 i Č5420 sa dve različite brzine rezanja.

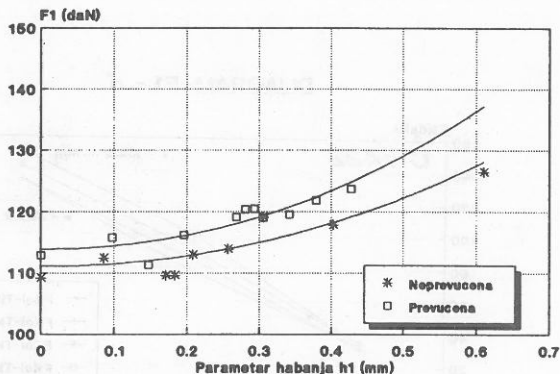
DIJAGRAM: F1 - δ DIJAGRAM: F1 - δ 

Slika 7.

DIJAGRAM: F1 - δ 

Slika 8.

Slika 9.



Kod Č7422 i Č1212 su otpori rezanja veći na neprevučanim pločicama, dok je kod Č5420 situacija obrnuta. Razlike u otporima rezanja su veće sa povećanjem dubine, i sa smanjenjem brzine rezanja.

Ispitivanja su vršena i na Č5421 pločicom TNMG 160408 kvaliteta P35 sa i bez TiN prevlake, nosač pločice je PTNGR 2525M16. Režimi rezanja su: brzina rezanja 220 m/min, korak 0.25 mm/o i dubina rezanja je bila 2 mm. Razlike u glavnom otporu rezanja su očigledne (slika 9), tj otpori su veći kod pločice sa prevlakom od TiN.

Upoređujući ove rezultate i predjašnje rezultate za Č5420 nameće se zaključak da materijal predmeta obrade ima veliki uticaj na izbor alata sa i bez prevlake.

3. ZAKLJUČAK

Na osnovu analize rezultata eksperimentalnih ispitivanja može se zaključiti: - razlike između prevučenih (TiN prevlake) i neprevučenih alata sa aspekta postojanosti odnosno troškova obrade mnogo su veće kod odvalnog glodanja u odnosu na obradu struganjem, - na postojanost alata veliki uticaj ima kvalitet nanete prevlake, - na razlike u otporima rezanja i postojanost alata sa i bez TiN prevlaka veliki uticaj imaju mehaničke i strukturne karakteristike materijala predmeta obrade kao i parametri režima rezanja.

Navedeni zaključci ukazuju na kompleksnost problematike izbora alata. Naime, konačnom izboru alata trebala bi da prethodi detaljnija analiza vezana za krajnje efekte primene TiN ili neke druge prevlake na alatu u konkretnim uslovima obrade.

LITERATURA

1. Ivković, B., Karović, D., Odvalna glodala sa i bez TiN prevlaka, Tribologija u industriji, N1 1992.
2. Tadić, B., Utvrđivanje korelativnih veza parametara rezanja kao podloge za razvoj ekspertnog sistema u obradi struganjem, Magistarski rad, Kragujevac, 1991.
3. Nedić, B., Tadić, B., Djordjević Z., Neki rezultati ispitivanja uticaja pohabanosti alata na otpore rezanja i kvalitet obradjene površine, Tribologija u industriji 4/88, Mašinski fakultet, Kragujevac, 1988.

REZIME

Neprekidan razvoj tehnologije izrade alata i alatnih prevlaka doveo je do pojave na tržištu većeg broja alata različitih proizvođača sa različitim tribološkim karakteristikama. U radu je prikazan deo rezultata ispitivanja realizovanih u proizvodnim i laboratorijskim uslovima a odnose se na utvrđivanje troškova obrade i merenje otpora rezanja pri obradi struganjem i odvalnim glodanjem alatima sa i bez prevlaka. Konačnom izboru alata treba da prethodi detaljna analiza vezana za krajnje efekte primene odgovarajuće prevlake u konkretnim uslovima obrade.

EKSPLOATACIONE KARAKTERISTIKE FELLOWS NOŽEVA SA TiN PREVLAKAMA

Dr Snežana Radonjić, doc., Tehnički fakultet, Čačak

Prof.dr Zoran Nikić, Tehnički fakultet, Čačak

Božidar Jovanović, dipl.ing., "14.oktobar" Kruševac

1.UVOD

Jedan od postupaka ozubljenja jeste rendisanje, koje se izvodi na specijalnim vertikalnim rendisalkama (LORENZ) uz korišćenje kružnih noževa FELLOWS. Ovo je složen vid obrade, čiji je mašinski čas, kao i kod ostalih vrsta ozubljenja veoma skup.

Na smanjenje troškova proizvodnje može da se utiče na više načina. Jedan od načina je povećanje proizvodnosti primenom novih alatnih materijala. U tu svrhu ispitivani su alati presvučeni TiN (Balzers i PUSK 83). Ispitivanja su obavljena u proizvodnim uslovima fabrike "14.oktobar" Kruševac.

2. USLOVI ISPITIVANJA I DOBIJENI REZULTATI SA KRUŽNIM NOŽEM FELLOWS $m=2,5$ mm

2.1. Uslovi ispitivanja

Mašina: vertikalna rendisalka LS-300 LORENZ, max $m=6$ mm.

Alat: kružni nož FELLOWS $m=2,5$ mm proizvodnje LORENZ, $\alpha_n=20^\circ$, $z=54,66-67$
HRC, tvrda prevlaka TiN po postupku Balzers, debljina sloja 4μ m, mikrotvrdoća $2280\text{ HV}_{0.025}$.
Obradak: Č.4130, poboljšan $750-900\text{ N/mm}^2$, $z=90$, $m=2,5$ mm, $\alpha_n=20^\circ$, $\varnothing 234,8 \times 46$ mm.

Ozubljenje se vrši iz dva prolaza:

Prolaz I: - radijalni ulaz na dubinu 4 mm pri brzini $v_r=0,7$ mm/min

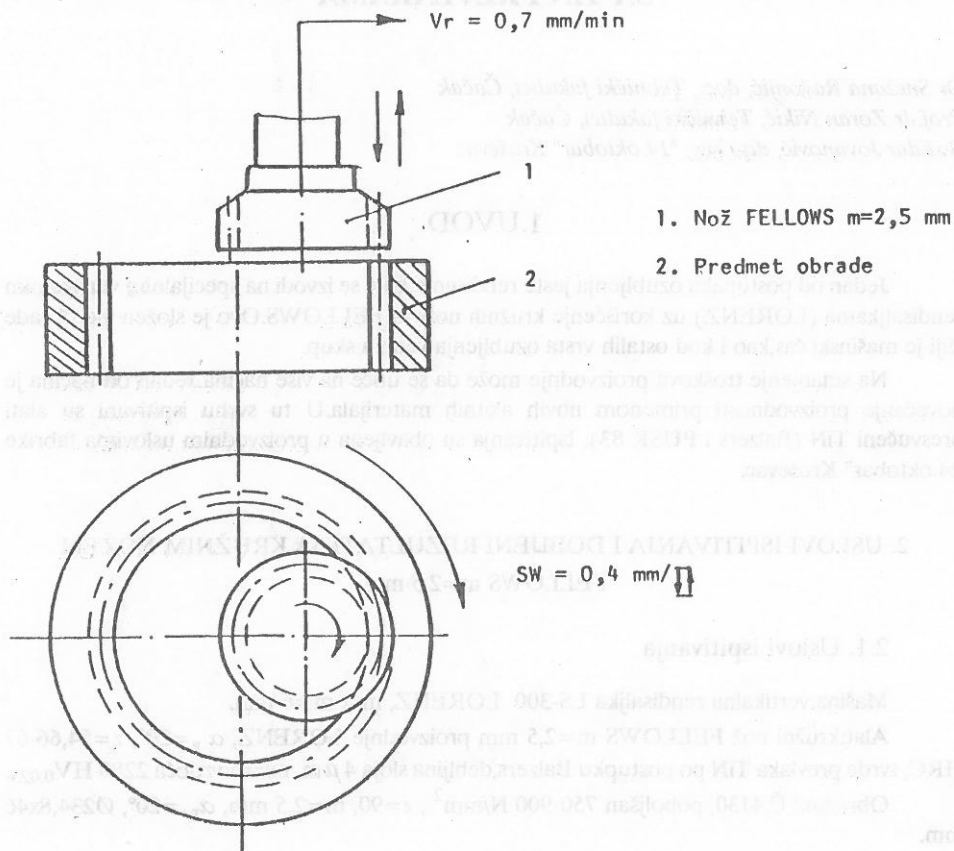
- okretanje radnog predmeta pri koraku $s_w=0,4$ mm/ $\uparrow\downarrow$ i brzina alata
 $130\uparrow\downarrow$ /min.

Prolaz II:- radijalni ulaz na ukupnu dubinu 5,3 mm pri brzini $v_r = 0,7 \text{ mm/min}$

- okretanje radnog predmeta pri koraku $s_w = 0,4 \text{ mm/} \uparrow \downarrow$ i brzina alata 160 $\uparrow \downarrow$ /min.

Rashladno sredstvo SG-52 JUS.BH3.526-50 lit/min.

Alat-nož ima aksijalno kretanje duž ose i obrtno kretanje oko svoje ose koje je u sprezi sa obrtnim kretanjem radnog komada preko promenljivih zupčanika u u zavisnosti od prečnika ozubljenja. Pri svakom prolazu dok se obavlja radijalni ulaz, alat i obradak nemaju obrtno kretanje. Kada se postigne određena dubina, počinje okretanje alata i radnog predmeta uz rendisanje. Proces ozubljenja traje 33 minuta.

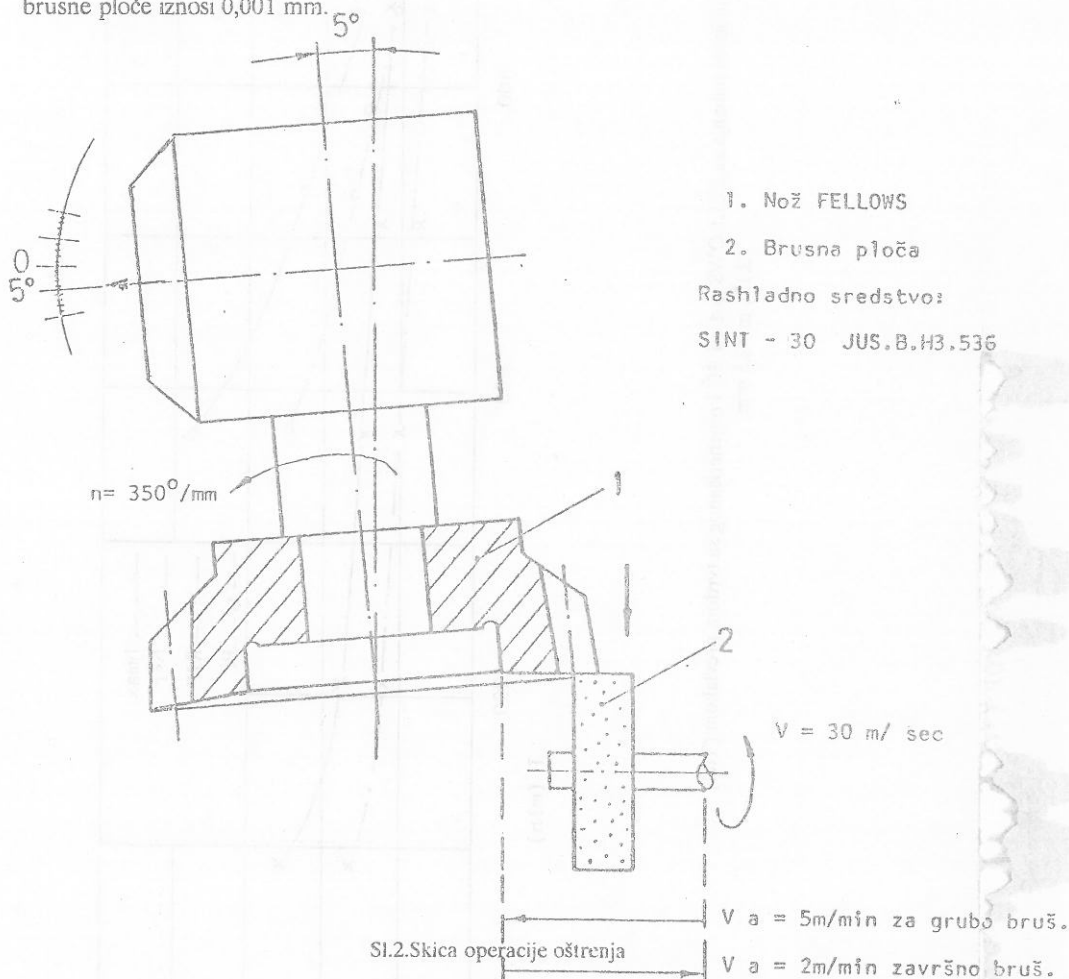


Sl.1. Skica operacije ozubljenja

2.2.Regeneracija (oštrenje) Fellows noža

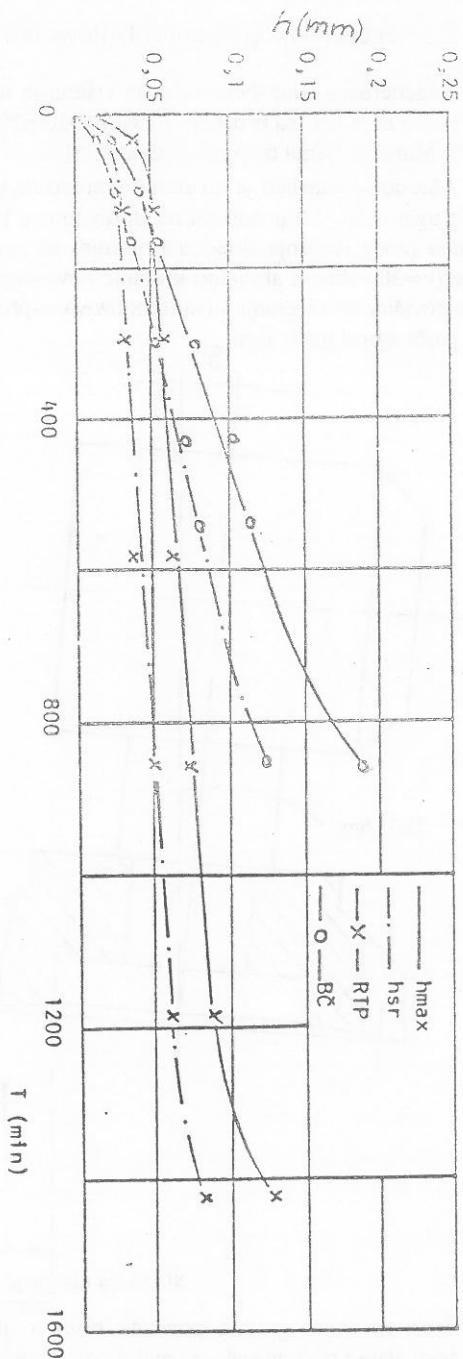
Regeneracija alata-Fellows noža vršena je na oštrilici-AUTOMAT za ravno brušenje PS-10 "REINECKER" sa brusnom pločom Ø300x20x Ø76 kvaliteta 2B80G6 V 95 proizvodnje SWATY-Maribor. Šema oštrenja je data na sl.2.

Alat-nož postavljen je na radno vreteno sa kućištem koje je zaokrenuto za φ -veličinu grudnog ugla noža (5°) u odnosu na upravnu osu tocila.Kućište sa vretenom ima mogućnost primicanja (zbog skidanja sloja za brušenje) ka brusnoj ploči.Brusna ploča ima obrtno kretanje ($v=30$ m/sec) i aksijalno kretanje (levo-desno) zdatom brzinom zavisno od kvaliteta brušene površine.Sva kretanja su automatizovana-programska.Debļina sloja pri svakom prolazu brusne ploče iznosi 0,001 mm.



Brusi se samo grudna površina noža a ukupna debljina sloja brušenja zavisí od pohabanosti alata i malo je veća od maksimalnog pojasa habanja na leđnoj površini zuba noža.

2.3. Rezultati ispitivanja



Sl.3. Usporedne krive habanja za FELLOWS než od BČ i regenerisanog sa tvrdom prevlakom (TIN)
RTP, $m=2.5$ mm

Ispitivanja su vršena sa nepresvučenim alatom (BČ) i sa regenerisanim (RTP) alatom sa tvrdom prevlakom TiN. Mereni su parametri habanja sa ledjne površine zuba Fellows noža: hsr- srednja širina pojasa habanja i hmax- maksimalna veličina habanja. Na slici 3. date su uporedne krive habanja za ispitivane alate. Analizom dobijenih rezultata vidi se da je postojanost regenerisanog alata sa tvrdom prevlakom veća za oko tri puta u odnosu na alat bez prevlake. Kod alata sa TiN prevlakom zapaženo je habanje bočnih strana zuba samo pri vrhu zuba, dok je kod alata bez prevlake habanje po celom profilu zuba, pri čemu je više na strani zuba koji ulazi u materijal. Takođe je zapažen bolji kvalitet obrade regenerisanim alatom sa TiN prevlakom.

3. USLOVI ISPITIVANJA I REZULTATI ISTRAŽIVANJA PRI RADU SA KRUŽNIM NOŽEM FELLOWS $m=4,25$ mm

3.1. Uslovi ispitivanja

Mašina: vertikalna rendisaljka LS-630 "LORENZ", max $m=12$ mm.

Alat: kružni nož Fellows $m=4,25$ mm, proizvođač LORENZ, $\alpha_n = 20^\circ$, $z=34$, materijal S6-5-3-8,66-67 HRC, tvrda prevlaka TiN, PUSK-83.

Obradak: Č.5421, 58-60 HRC, čvrstoća jezgra zuba $120-155 \text{ daN/mm}^2$, $z=65$, $m=4,25$ mm.

Ozubljenje se vrši iz tri prolaza:

Prolaz I: - radijalni ulaz na dubinu 6 mm pri brzini $v_f = 1,165 \text{ mm/min}$,

\updownarrow/min - okretanje radnog predmeta pri brzini $v=38 \text{ mm/min}$ kada alat ima 80
sa korakom $s_w = 0,474 \text{ mm}/\updownarrow$.

Prolaz II: - radijalni ulaz na ukupnu dubinu 9,15 pri brzini $v_f = 1,65 \text{ mm/min}$

- okretanje radnog predmeta pri brzini $v=$ mm/min kada alat ima $80 \updownarrow/\text{min}$
sa korakom $s_w = 0,587 \text{ mm}/\updownarrow$.

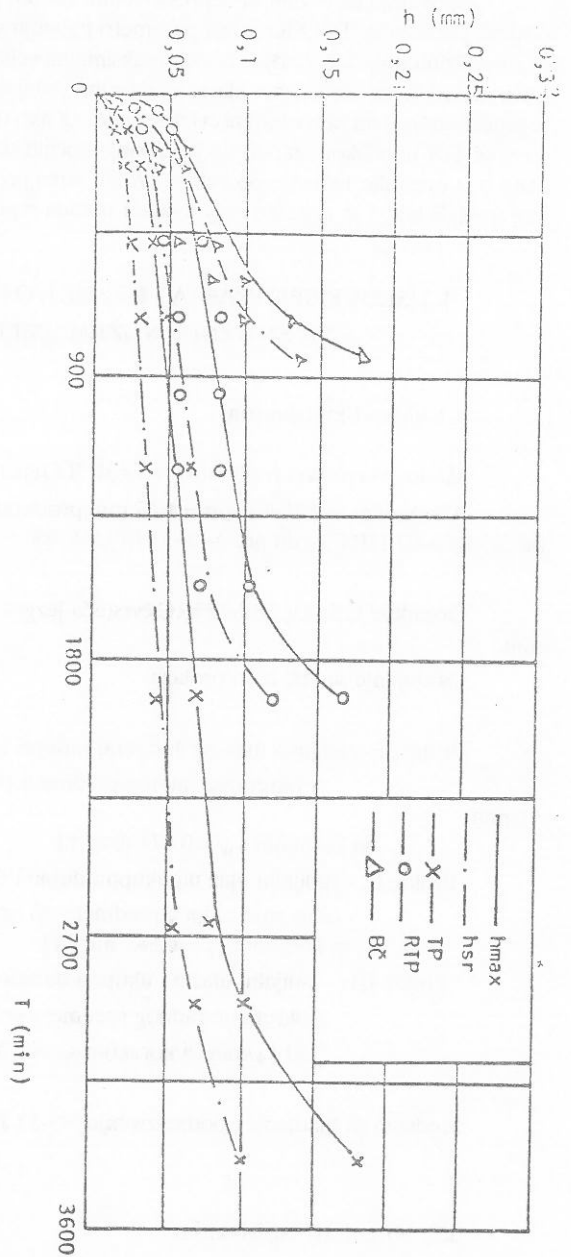
Prolaz III: - radijalni ulaz na ukupnu dubinu 9,65 mm pri brzini $v_f = 1,65 \text{ mm/min}$

- okretanje radnog predmeta pri brzini $v=61,4 \text{ mm/min}$ kada alat ima
 $130 \updownarrow/\text{min}$ sa korakom $s_w = 0,768 \text{ mm}/\updownarrow$.

Sredstvo za hladjenje i podmazivanje SG-52 JUS B.H3.526, 60 lit/min.

3.2. Rezultati ispitivanja

Za ispitivanje su korišćena tri Fellows noža: bez prevlake BČ, nov sa (TiN) prevlakom TP i regenerisani sa tvrdom prevlakom RTP. Uporedne krive habanja su date na slici 4.



Sl.4. U poređne krive habanja za fcellows noževe $m=4,25$ mm (BČ-bez prevlake, TP-sa tvrdom prevlakom TiN i RTP-regenerisani sa tvrdom prevlakom)

Analizom dobijenih rezultata zapaža se sledeće: postojanost alata sa tvrdom prevlakom TP u odnosu na alat bez prevlake BČ veća je za oko 4,5 puta, a regenerisanog alata sa TP u odnosu na alat bez prevlake za oko 2,5 puta.

4. ZAKLJUČAK

Pri korišćenju Fellows noževa sa TiN prevlakama, u proizvodnim uslovima, postignuti su bolji efekti u poredjenju sa klasičnim ne presvučenim noževima. Kod upotrebe novih alata sa TiN prevlakom postiže se preko 4 puta veća postojanost u odnosu na iste nepresvučene, a kod regenerisanih sa TiN prevlakom za 2,5 puta je veća postojanost u odnosu na nove bez tvrde prevlake. Takodje je zapažen bolji kvalitet obrade pri obradi sa presvučenim alatima.

LITERATURA

1. Z. Nikić, S. Radonjić, V. Jugović, B. Jovanović, : Uvodjenje tehnologije ozubljenja alatima sa plazmenim tvrdim prevlakama u "14. oktobar" Kruševac, Naučno razvojni projekat, Tehnički fakultet Čačak, 1992.
2. Z. Nikić, S. Radonjić, Plasma technologies and tribo processes on tools for too thing, IN-TERTRIBO'90, Čehoslovačka, 1990.
3. A. S. Vereščaka, Z. Nikić, S. Popović, S. N. Grigorev, Tehnologija nanošenja i osobine jon-sko-lučnih prevlaka, YUTRIB'91, Kragujevac, 1991.

EXPLOITING CHARACTERISTICS OF FELLOWS KNIVES WITH TIN LAYERS

SUMMARY

The results of our investigations for introducing Fellows knives with hard layers in productive process are given in the paper. The procedure for regenerating (sharpening) those knives is explained. Investigations are performed in "14. oktobar"-factory, Kruševac.

EKSPLOATACIONE KARAKTERISTIKE PFAUTER GLODALA PRESVUČENIH SLOJEM TiN

*Prof.dr Zoran Nikić, Tehnički fakultet, Čačak
Dr Snežana Radonjić, doc., Tehnički fakultet, Čačak,
Veselin Jugović, dipl.ing., Jugoalat, Novi Sad
Božidar Jovanović, dipl.ing., "14.oktobar", Kruševac*

1. UVOD

Odvalna glodala nalaze veliku primenu u metaloprerađivačkoj industriji. Zbog svoje složenosti ubrajaju se u veoma skupe alate. Iz tih razloga je od značaja svaki rad na povećanju njihove postojanosti u eksploataciji.

Povećanje kvaliteta reznih ivica alata, odnosno povećanje otpornosti na habanje može da se postigne nanošenjem tvrdih prevlaka.

U ovom radu se daju rezultati ispitivanja PFAUTER glodala modula $m=4,25$ mm i $m=2$ mm, obradjenih u plazmi (VAC-TEC, ARC-system) u "Jugoalatu" Novi Sad. Ispitivanja su vršena u proizvodnim uslovima fabrike "14.oktobar" u Kruševcu. Pored praćenja eksploatacionih karakteristika novih alata sa TiN prevlakama, posebna pažnja se poklanja tehnologiji oštrenja alata sa TiN prevlakama i eksploataciji tih regenerisanih alata.

2. USLOVI ISPITIVANJA I DOBIJENI REZULTATI SA PFAUTER GLODALOM

$m=4,25$ mm

2.1. Uslovi ispitivanja

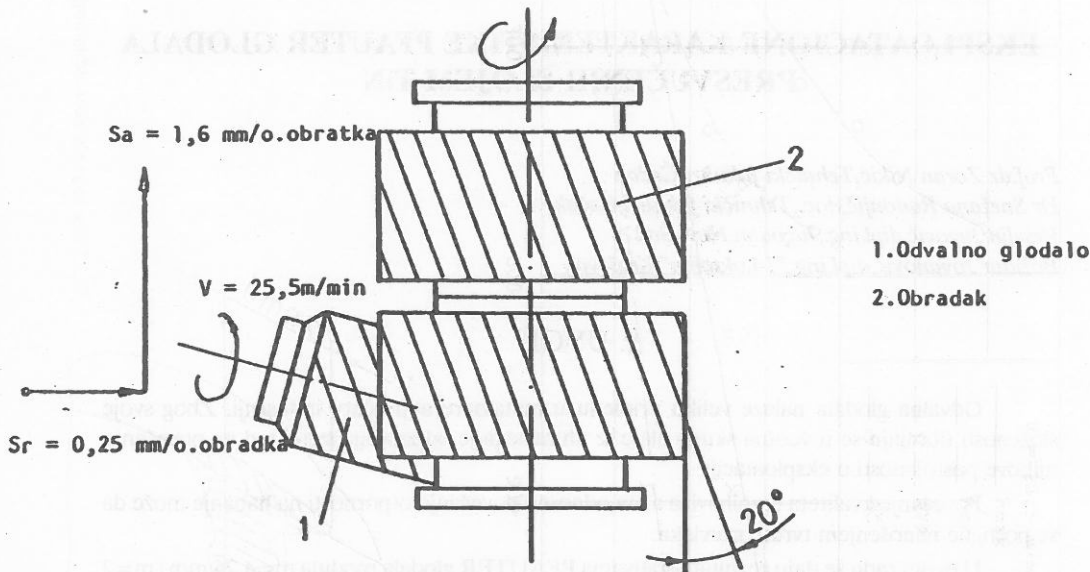
Mašina: vertikalna odvalna glodalica PFAUTER PB630, max $m=10$ mm.

Alat: odvalno glodalo $m=4,25$ mm, proizvođač "Jugoalat", $\alpha_n = 20^\circ$, Č.6880,66-67 HRC, tvrda prevlaka TiN - "Jugoalat" Novi Sad (poznatih karakteristika); dimenzije glodala $\varnothing 90 \times 78 \times 32$.

2 na dubinu 0,9-1,1 mm, kaljen na 58-60 HRC, čvrstoća jezgra 100-125 daN/mm².

Režimi rezanja: brzina rezanja $v=25,5$ m/min, aksijalni korak $s_a=1,6$ mm/o obradka
radijalni korak $s_r=0,25$ mm/o obradka. SHP-SG-25JUS.B.H3.256, 50 lit/min.

Obradak ima obrtno kretanje oko svoje ose koje je u sprezi sa obrtnim kretanjem glodala preko promenljivih zupčanika na mašini. Pored obrtnog kretanja glodalo ima i dva pomoćna kretanja: radijalni ulaz u obradak do potrebne mere ozubljenja i aksijalno kretanje duž obradka za ukupnu dužinu ozubljenja na obradku (sl.1.). Sva kretanja su međusobno zavisna.



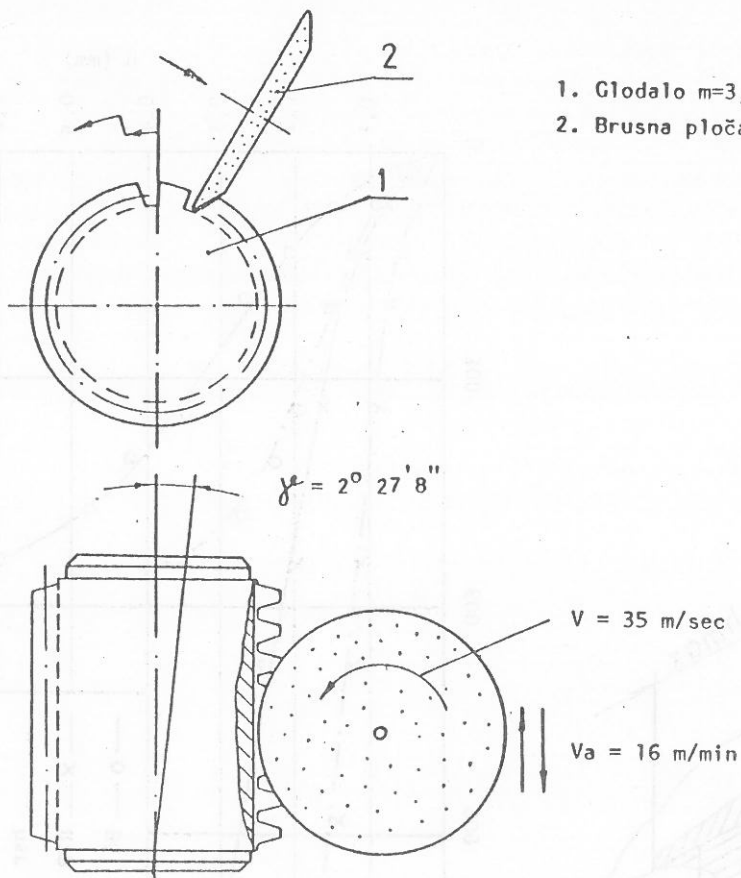
Sl.1.Šema operacije odvalnog glodanja

2.2. Regeneracija (oštrenje) odvalnog glodala

Oštrenje glodala je vršeno na oštrilici AGW-302 KLINGELNBERG sa brusnom pločom Ø250x20x Ø50,8 kvaliteta BB 60 J 8V proizvodnje "Idnina" Kratovo uz upotrebu rashladnog sredstva HSF-71 FAM IF03302 - Kruševac. Na slici 2. data je skica oštrenja glodala.

Brusna ploča sa vretenom je nagnuta pod uglom od 15 prema vertikalnoj ravni. Na brusnoj glavi se nalazi mehanizam za postepeno (korak po korak) aksijalno pomeranje vretena brusne ploče. Brusna glava može da se zaokreće za ugao zavojnice glodala. Kao što se vidi sa slike 2. brzina oštrenja je $v=35 \text{ m/sec}$, a aksijalno kretanje brusne ploče uz uspon zavojnice žljeba $v_s = 16 \text{ m/min}$.

Pri svakom prolazu se skida sloj sa grudne površine zuba (oštrjenje se vrši samo po grudnoj površini) glodala za 0,001 mm. Broj prolaza zavisi od širine pojasa habanja na lednoj površini zuba glodala.



1. Glodalo $m=3,5$ mm

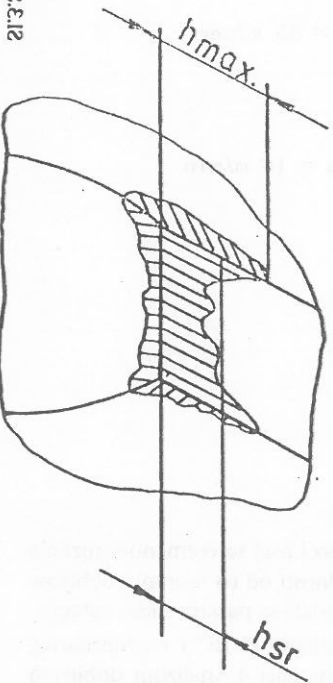
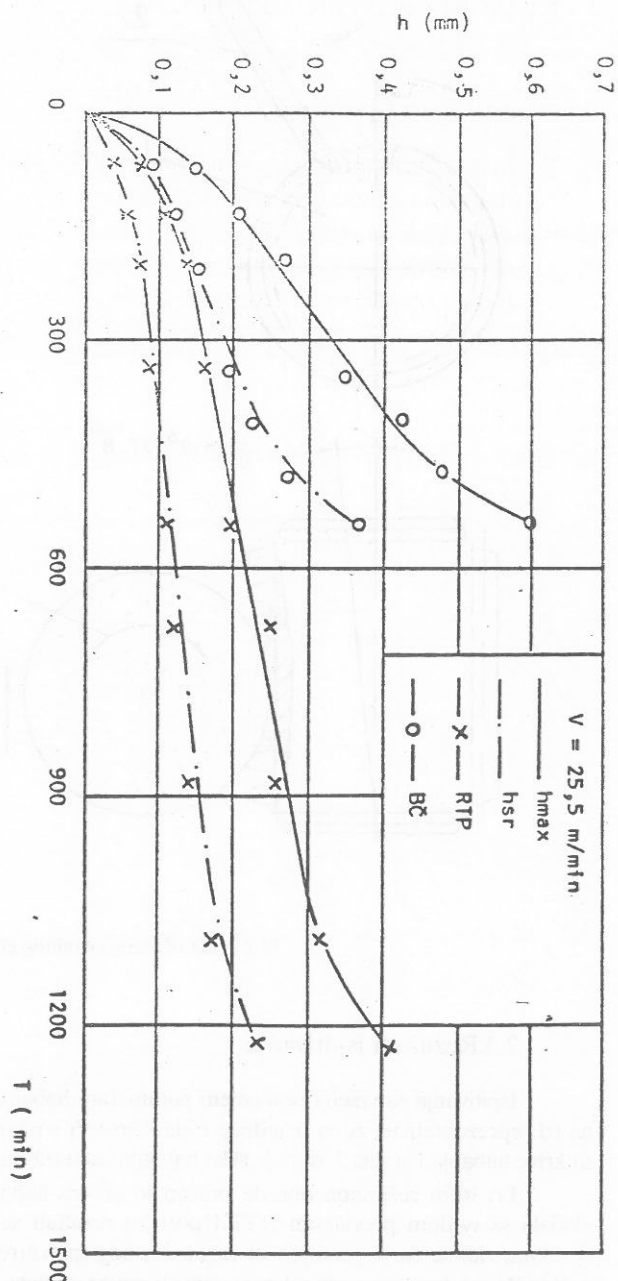
2. Brusna ploča

Sl.2.Šema oštrenja odvalnog glodala

2.3.Rezultati ispitivanja

Ispitivanja su vršena praćenjem parametara habanja (h_{max} i h_{sr}) sa vremenom rezanja na tri reprezentativna zuba iz jednog reda. Koristeći srednje vrednosti od tri merenja dobijene su krive habanja. Na slici 3. data je slika habanja zuba odvalnog glodala sa parametrima habanja.

Pri istim režimima obrade praćen je proces habanja glodala od BČ i regenerisanog glodala sa tvrdom prevlakom RTP. Uporedni rezultati su dati na slici 4. Analizom dobijenih rezultata vidi se da je postojanost regenerisanog (preoštrenog) alata sa tvrdom prevlakom za nešto više od dva puta veća od postojanosti novog glodala bez tvrde prevlake BČ.



Sl.4. Uporedne krive habanja pri ozubljenju sa alatom bez prevlake BČ i regenerisanog sa tvrdom prevlakom RTP (TiN), $m=4,25$ mm

3. USLOVI ISPITIVANJA I DOBIJENI REZULTATI SA PFAUTER GLODALOM

$m=2\text{ mm}$

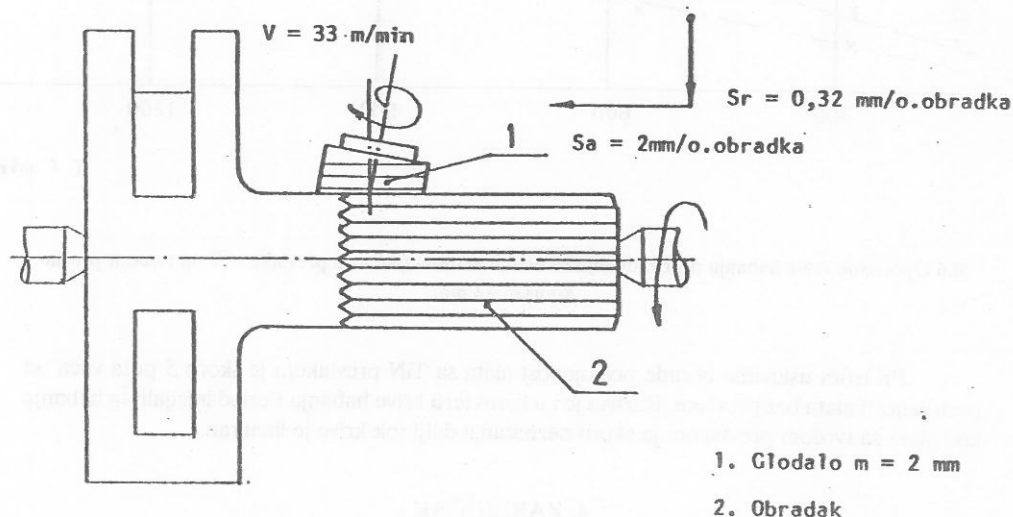
3.1. Uslovi ispitivanja

Mašina: horizontalna glodalica PFAUTER P250H.

Alat: odvalno glodalo $m=2\text{ mm}$, $\varnothing 70 \times 56$, proizvođač "Jugoalat" Novi Sad. Tvrdna prevlaka dobijena na PUSK-83, debljina sloja $4\text{ }\mu\text{m}$, mikrotvrdoća $2300\text{ HV}_{0.025}$, sila athezije 55 N .

2 Obradak: Č.4321.1 (otkovak), čvrstoće $75-90\text{ daN/mm}^2$, $z=34$, $m=2\text{ mm}$.

Režimi obrade: brzina rezanja $v=33\text{ m/min}$, radijalni korak $s_r=0,32\text{ mm/o obradka}$ i aksijalni korak $s_a=2\text{ mm/o obradka}$. SHP- SG-52 JUS B.H3.526, 50 lit/min .

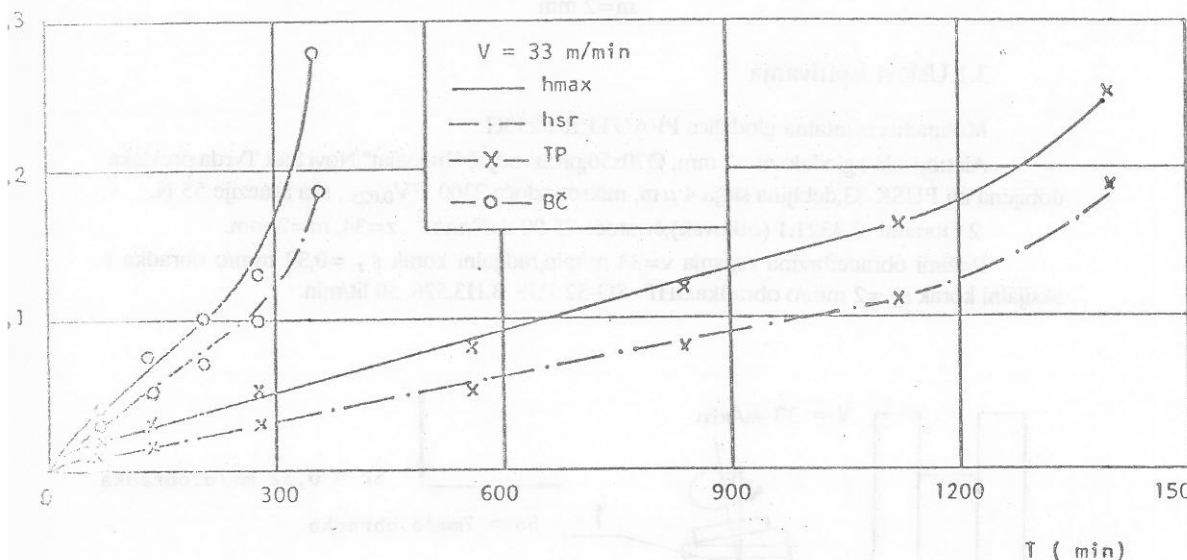


Sl.5. Šema operacije odvalnog glodanja

Na slici 5. data je šema operacije odvalnog glodanja. Obradak vrši obrtno kretanje oko svoje ose i ono je u sprezi sa obrtnim kretanjem glodala preko promenljivih zupčanika na mašini. Glodalo ima radijalno kretanje u odnosu na obradak i aksijalno kretanje do potrebne dužine ozubljenja.

3.2. Rezultati ispitivanja

Ispitivanja su vršena sa novim alatom bez prevlake BČ i novim alatom sa tvrdrom prevlakom TP. Uporedne krive habanja za ove alate su date na slici 6.



Sl.6. Upporedne krive habanja pri ozubljenju sa novim alatima (BČ-bez prevlake i TP-sa tvrdom prevlakom), $m=2 \text{ mm}$

Pri istim uslovima obrade postojanost alata sa TiN prevlakom je skoro 5 puta veća od postojanosti alata bez prevlake. Razlika je i u karakteru krive habanja. Period inicijalnog habanja kod alata sa tvrdom prevlakom je skoro neznatan, a dalji tok krive je linearan.

4. ZAKLJUČAK

Ispitivanjem PFAUTER glodala sa TiN prevlakama ("JAL"-Novi Sad) u proizvodnim uslovima fabrike "14.oktobar" u Kruševcu postignuti su veoma pozitivni rezultati.

Kod novih alata sa TiN prevlakom postojanost je za pet puta veća od postojanosti alata bez tvrde prevlake. Posle regeneracije alata sa tvrdom prevlakom (u radu je data tehnologija oštrenja ovih alata), u eksploataciji, sa ovim alatima je postignuta tri puta veća postojanost od postojanosti alata bez tvrde prevlake.

LITERATURA

1. Z. Nikić, S. Radonjić, V. Jugović, B. Jovanović, Uvodjenje tehnologije ozubljenja alatima sa plazmenim tvrdim prevlakama u "14.oktobar" Kruševac, Naučno razvojni projekat, Tehnički fakultet Čačak, 1992.

2. Z. Nikić, S. Radonjić, Plasma technologies and tribo processes on tools for too thing, INTERTRIBO'90, Čehoslovačka, 1990.

3. A. S. Vereščaka, Z. Nikić, S. Popović, S. N. Grigorev, Tehnologija nanošenja i osobine jon-sko-lučnih prevlaka, YUTRIB'91, Kragujevac, 1991.

EXPLOITING CHARACTERISTICS OF PFAUTER MILLING CUTTER COATED WITH TIN LAYERS

summary

The results of our investigations for introducing Pfauter cutters with TiN layers in productive process are presented in the paper as well as the procedure for sharpening those milling cutters. Plasma processing is done in "JAL"-Novi Sad (VAC-TEC, ARC-system), investigations are performed in "14.oktobar" factory, Kruševac.

PRORAČUN SILA REZANJA I MOMENATA KOD OBIMNOG GLODANJA

Radovanović mr Miroslav, dipl.ing., asistent
Marinković dr Velibor, dipl.ing., vanr.prof.
Lazarević dr Dragoljub, dipl.ing., docent
Mašinski fakultet, 18000 Niš, Beogradska br.14

1. UVOD

Proračun sila i momenata kod glodanja je dosta komplikovanije nego kod ostalih postupaka obrade rezanjem. Pri glodanju, u opštem slučaju, učestvuje više zuba glodala istovremeno u procesu rezanja. Zbog toga se rezultujuća sila rezanja dobija slaganjem sila po zubu glodala. Sile po zubu glodala su različite po pravcu i intenzitetu, već prema položaju zuba u zahvatu i prema trenutnoj debljini strugotine. S druge strane, zbog periodičnog ulaska zuba u materijal, sila glodanja je neravnomerna.

Posmatrajmo slučaj obimnog glodanja u kome je promenljiva i širina glodanja i dubina glodanja.

- Ugao promene dubine glodanja α može se dobiti iz jednačine:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{t_k - t_p}{l}$$

- Ugao promene širine glodanja može se dobiti iz jednačine:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{b_k - b_p}{2l}$$

- Ugaoni korak zuba ϕ_t može se dobiti iz jednačine:

$$\phi_t = \frac{360^\circ}{z}$$

- Ugao zahvata ϕ_m može se dobiti iz jednačine:

$$\phi_m = 2 \sqrt{\frac{t_1}{D} - \left(\frac{t_1}{D}\right)^2}$$

gde se t_1 dobija iz jednačine:

$$t_1^2(1 + \operatorname{ctg}^2 \alpha) - t_1(D + 2t_p \operatorname{ctg}^2 \alpha + 2l_x \operatorname{ctg} \alpha) + t_p^2 \operatorname{ctg}^2 \alpha + 2l_x t_p \operatorname{ctg} \alpha + l_x^2 = 0$$

- Broj zuba u zahvatu i_z može se dobiti iz jednačine:

$$i_z = \frac{\phi_m}{\phi_t}$$

- Položaj zuba u zahvatu ϕ_1 može se dobiti iz jednačina:

$$\phi_1 = \phi$$

$$\phi_2 = \phi - \phi_t$$

$$\phi_3 = \phi - 2\phi_t$$

$$\dots\dots\dots$$

$$\phi_i = \phi - (i-1)\phi_t$$

- Debljina strugotine i-tog zuba a_i može se dobiti iz jednačine:

$$a_i = s_z \cdot \sin \phi_1$$

- Trenutna dubina glodanja i-tog zuba t_i može se dobiti iz jednačine:

$$t_i = \frac{D}{2} \cdot (1 - \cos \phi_1)$$

- Trenutna širina glodanja i-tog zuba b_i može se dobiti iz jednačine:

$$b_i = b_p + 2 \operatorname{tg} \beta \cdot \left(l_x + \frac{D}{2} \cdot \sin \phi_1\right) \dots\dots\dots (1)$$

2. OBIMNO GLODANJE VALJKASTIM GLODALOM SA PRAVIM ZUBIMA

S obzirom da se u ovom slučaju radi o ortogonalnom rezanju, to se rezultujući otpor razlaže na dve komponente:

$F_{1(i)}$ - glavni otpor rezanja i-tog zuba koji je kolinearan sa brzinom rezanja, i

$F_{2(i)}$ - otpor prodiranja i-tog zuba koji ima radijalan pravac u odnosu na glodalo.

Otpor prodiranja određen je relacijom:

$$\epsilon = \frac{F_{2(i)}}{F_{1(i)}}$$

Glavni otpor rezanja po zubu može se dobiti iz jednačine:

$$F_{1(i)} = C_F \cdot b_1 \cdot a_1$$

gde su: $C_F = C_F \cdot a_1^{-x_1}$ i $a_1 = s_z \cdot \sin \theta_1$

t.j.: $F_{1(i)} = C_F \cdot b_1 \cdot s_z^{1-x_1} \cdot \sin^{1-x_1} \theta_1 \dots \dots \dots (2)$

Zamenom (1) u (2) dobija se:

$$F_{1(i)} = C_F \cdot s_z^{1-x_1} \cdot \left[(b_p + 2l_x \operatorname{tg} \beta) \sin^{1-x_1} \theta_1 + D \operatorname{tg} \beta \cdot \sin^{2-x_1} \theta_1 \right]$$

gde su: C_F -konstanta, s_z (mm/zub)-korak po zubu, b_p (mm)-početna širina glodanja, l_x (mm)-trenutni položaj glodala, β (°)-ugao promene širine glodanja, θ_1 (°)-položaj i-tog zuba u zahvatu, D (mm)-prečnik glodala i x_1 -parametar obradljivosti.

Obimna komponenta sile glodanja dobija se kao zbir glavnih otpora rezanja po zubu:

$$F_o = \sum_{i=1}^z F_{1(i)} = C_F \cdot s_z^{1-x_1} \left[(b_p + 2l_x \operatorname{tg} \beta) \sum_{i=1}^z \sin^{1-x_1} \theta_1 + D \operatorname{tg} \beta \cdot \sum_{i=1}^z \sin^{2-x_1} \theta_1 \right]$$

Moment glodanja dobija se iz izraza:

$$M = \frac{D}{2} \cdot F_o = \frac{D}{2} \cdot C_F \cdot s_z^{1-x_1} \left[(b_p + 2l_x \operatorname{tg} \beta) \sum_{i=1}^z \sin^{1-x_1} \theta_1 + D \operatorname{tg} \beta \cdot \sum_{i=1}^z \sin^{2-x_1} \theta_1 \right]$$

Rezultujuća sila glodanja i-tog zuba može se razložiti u dve komponente, horizontalnu $F_{Y(i)}$ i vertikalnu $F_{Z(i)}$, tako da je:

$$F_{Y(i)} = F_{1(i)} \cos \theta_1 + F_{2(i)} \sin \theta_1$$

$$F_{Z(i)} = F_{1(i)} \sin \theta_1 + F_{2(i)} \cos \theta_1$$

odnosno:

$$F_{Y(i)} = C_F \cdot s_z^{1-x_1} \cdot \left[(b_p + 2l_x \operatorname{tg} \beta) (\sin^{1-x_1} \theta_1 \cos \theta_1 + \epsilon \sin^{2-x_1} \theta_1) + D \operatorname{tg} \beta (\sin^{2-x_1} \theta_1 \cos \theta_1 + \epsilon \sin^{3-x_1} \theta_1) \right]$$

$$F_{Z(i)} = C_F \cdot s_z^{1-x_1} \cdot \left[(b_p + 2l_x \operatorname{tg} \beta) (\sin^{1-x_1} \theta_1 + \epsilon \sin^{1-x_1} \theta_1 \cos \theta_1) + D \operatorname{tg} \beta (\sin^{3-x_1} \theta_1 + \epsilon \sin^{2-x_1} \theta_1 \cos \theta_1) \right]$$

Za i_z zuba u zahvatu dobija se:

$$F_Y = \sum_{i=1}^z F_{Y(i)} = C_F \cdot s_z^{1-x_1} \cdot \left[(b_p + 2l_x \operatorname{tg} \beta) (q_1 + \epsilon q_2) + D \operatorname{tg} \beta (q_3 + \epsilon q_4) \right]$$

$$F_Z = \sum_{i=1}^z F_{Z(i)} = C_F \cdot s_z^{1-x_1} \cdot \left[(b_p + 2l_x \operatorname{tg} \beta) (q_2 + \varepsilon q_1) + D \operatorname{tg} \beta (q_4 + \varepsilon q_3) \right]$$

gde je:

$$q_1 = \sum_{i=1}^z \sin^{1-x_1} \psi_i \cos \psi_i \quad q_3 = \sum_{i=1}^z \sin^{2-x_1} \psi_i \cos \psi_i$$

$$q_2 = \sum_{i=1}^z \sin^{2-x_1} \psi_i \quad q_4 = \sum_{i=1}^z \sin^{3-x_1} \psi_i$$

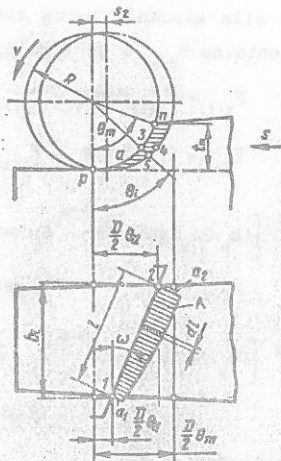
Rezultujući otpor rezanja dobija se iz izraza:

$$F_R = \sqrt{F_Y^2 + F_Z^2}$$

3) OBIMNO GLODANJE VALJKASTIM GLODALOM SA ZAVOJNIM ZUBIMA

Dosta teže je odredjivanje glavnog otpora rezanja kod glodala sa zavojnim zubima. Na slici 1 prikazan je osnovni model za odredjivanje glavnog otpora rezanja pri obimnom suprotnosmernom glodanju valjkastim glodalom sa zavojnim zubima. Rezultujući otpor rezanja razlaže se u tri komponente:

- $F_{1(i)}$ - glavni otpor rezanja i-tog zuba
- $F_{2(i)}$ - otpor prodiranja i-tog zuba
- $F_{x(i)}$ - aksijalni otpor rezanja i-tog zuba



Sl.1: Osnovni model za odredjivanje glavnog otpora rezanja pri obimnom suprotnosmernom glodanju valjkastim glodalom sa zavojnim zubima.

Glavni otpor rezanja po zubu može se izračunati pomoću izraza:

$$dF_{1(i)} = C_s \cdot dA_n$$

gde je: $dA_n = \cos\omega \cdot dA$, $dA = a_1 \cdot dl$, $a_1 = s_z \cdot \sin\theta_1$, $dl = \frac{D}{2\sin\omega} \cdot d\theta_1$

Dobija se:

$$dF_{1(i)} = C_F \cdot \frac{D}{2} \cdot s_z^{1-x_1} \cdot \text{ctg}\omega \cdot \sin^{1-x_1}\theta_1 \cdot d\theta_1$$

odnosno:

$$F_{1(i)} = C_F \cdot \frac{D}{2} \cdot s_z^{1-x_1} \cdot \text{ctg}\omega \cdot \int_{\theta_{11}}^{\theta_{12}} \sin^{1-x_1}\theta_1 \cdot d\theta_1$$

Integral $\int_{\theta_{11}}^{\theta_{12}} \sin^{1-x_1}\theta_1 \cdot d\theta_1$ predstavlja integral glodanja i može se rešiti približno, tj:

$$\int_{\theta_{11}}^{\theta_{12}} \sin^{1-x_1}\theta_1 \cdot d\theta_1 = \frac{2}{2-x_1} \cdot 2 \cdot \left[\sin^{2-x_1}\left(\frac{\theta_{12}}{2}\right) - \sin^{2-x_1}\left(\frac{\theta_{11}}{2}\right) \right]$$

tako da je:

$$F_{1(i)} = \frac{2}{2-x_1} \cdot C_F \cdot D \cdot s_z^{1-x_1} \cdot \text{ctg}\omega \cdot \left[\sin^{2-x_1}\left(\frac{\theta_{12}}{2}\right) - \sin^{2-x_1}\left(\frac{\theta_{11}}{2}\right) \right]$$

Obimna komponenta sile glodanja dobija se kao zbir glavnih otpora rezanja po zubu:

$$F_o = \sum_{i=1}^z F_{1(i)} = \frac{2}{2-x_1} \cdot C_F \cdot D \cdot s_z^{1-x_1} \cdot \text{ctg}\omega \cdot \left[\sum_{i=1}^z \sin^{2-x_1}\left(\frac{\theta_{12}}{2}\right) - \sum_{i=1}^z \sin^{2-x_1}\left(\frac{\theta_{11}}{2}\right) \right]$$

gde je:

| | |
|---------|--|
| I zub | $\theta_{12} = \theta_m$ $\theta_{11} = \theta_m - \psi_1$ <hr style="width: 100%;"/> |
| II zub | $\theta_{22} = \theta_m + \theta_2 - \theta_t$ $\theta_{21} = \theta_{11} - \psi_t$ <hr style="width: 100%;"/> |
| III zub | $\theta_{32} = \theta_{22} - \theta_t$ $\theta_{31} = 0$ <hr style="width: 100%;"/> |

$$\text{gde su: } \psi_1 = \frac{2\delta_1}{D}, \quad \psi_2 = \frac{2\delta_2}{D}, \quad \delta_1 = e \cdot \text{tg}\omega, \quad \delta_2 = \frac{1}{2}(b_{1p} + b_{1k})\text{tg}\omega - \delta_1$$

$$b_{1k} = b_p + 2\text{tg}\beta \cdot (l_x + \frac{D}{2} \cdot \sin\theta_m), \quad b_{1p} = b_{1k} \left(1 - \frac{2\text{tg}\omega}{\text{tg}\omega + \text{ctg}\beta}\right)$$

Najveća sila rezanja je u trenutku kada je najveći presek strugotine, tako da e možemo odrediti iz uslova:

$$\frac{dF}{d\varphi} = 0$$

$$\text{gde su: } F = \frac{s_z \cdot D}{2 \cdot \sin\omega} \cdot \sum_{i=1}^z (\cos\theta_{11} - \cos\theta_{12}), \quad \varphi = \frac{2be}{D} \cdot \text{tg}\omega$$

dobija se:

$$e = \frac{D}{2b\text{tg}\omega} \cdot \arctg \frac{\sin\theta_m + \sin\beta - \sin\alpha - \sin(\alpha - \psi_1)}{-\cos\theta_m - \cos\beta + \cos\alpha + \cos(\alpha - \psi_1)}$$

$$\text{gde su: } \alpha = \theta_m - \psi_t - \frac{2b}{D} \cdot \text{tg}\omega, \quad \beta = \theta_m - \psi_t$$

Rezultujuća sila glodanja i-tog zuba može se razložiti u dve komponente, horizontalnu $F_{Y(i)}$ i vertikalnu $F_{Z(i)}$, tako da je:

$$F_{Y(i)} = F_{1(i)} \cos\left(\frac{\theta_{11} + \theta_{12}}{2}\right) + F_{2(i)} \sin\left(\frac{\theta_{11} + \theta_{12}}{2}\right)$$

$$F_{Z(i)} = F_{1(i)} \sin\left(\frac{\theta_{11} + \theta_{12}}{2}\right) + F_{2(i)} \cos\left(\frac{\theta_{11} + \theta_{12}}{2}\right)$$

odnosno:

$$F_{Y(i)} = \frac{2^{1-x_1}}{2^{-x_1}} \cdot C_F \cdot D \cdot s_z^{1-x_1} \cdot \text{ctg}\omega \cdot \left[\cos\left(\frac{\theta_{11} + \theta_{12}}{2}\right) + \epsilon \sin\left(\frac{\theta_{11} + \theta_{12}}{2}\right) \right] \cdot \left[\sin^{2-x_1}\left(\frac{\theta_{12}}{2}\right) - \sin^{2-x_1}\left(\frac{\theta_{11}}{2}\right) \right]$$

$$F_{Z(i)} = \frac{2^{1-x_1}}{2^{-x_1}} \cdot C_F \cdot D \cdot s_z^{1-x_1} \cdot \text{ctg}\omega \cdot \left[\sin\left(\frac{\theta_{11} + \theta_{12}}{2}\right) + \epsilon \cos\left(\frac{\theta_{11} + \theta_{12}}{2}\right) \right] \cdot \left[\sin^{2-x_1}\left(\frac{\theta_{12}}{2}\right) - \sin^{2-x_1}\left(\frac{\theta_{11}}{2}\right) \right]$$

Za i_z zuba u zahvatu dobija se:

$$F_Y = \sum_{i=1}^z F_{Y(i)}, \quad F_Z = \sum_{i=1}^z F_{Z(i)}$$

Aksijalni otpor rezanja po zubu može se izračunati pomoću izraza:

$$dF_{X(1)} = C_S \cdot dA_p$$

gde su: $dA_p = \sin\omega \cdot dA$, $dA = a_1 \cdot dl$, $a_1 = s_z \cdot \sin\theta_1$, $dl = \frac{D}{2\sin\omega} \cdot d\theta_1$

$$dF_{X(1)} = C_F \cdot \frac{D}{2} \cdot s_z^{1-x_1} \cdot \sin^{1-x_1}\theta_1 \cdot d\theta_1$$

odnosno:

$$F_{X(1)} = C_F \cdot \frac{D}{2} \cdot s_z^{1-x_1} \cdot \int_{\theta_{11}}^{\theta_{12}} \sin^{1-x_1}\theta_1 \cdot d\theta_1$$

$$F_{X(1)} = \frac{2^{1-x_1}}{2^{-x_1}} \cdot C_F \cdot D \cdot s_z^{1-x_1} \cdot \left[\sin^{2-x_1}\left(\frac{\theta_{12}}{2}\right) - \sin^{2-x_1}\left(\frac{\theta_{11}}{2}\right) \right]$$

Za i_z zuba u zahvatu dobija se:

$$F_X = \sum_{i=1}^z F_{X(1)} \quad , \quad F_Y = \sum_{i=1}^z F_{Y(1)} \quad , \quad F_Z = \sum_{i=1}^z F_{Z(1)}$$

Rezultujući otpor rezanja dobija se iz izraza:

$$F_R = \sqrt{F_X^2 + F_Y^2 + F_Z^2}$$

4) ZAKLJUČAK

Precizni proračun sila i momenata kod glodanja je vrlo komplikovan i izvodi se sa uprošćavanjima. Do konkretnih rezultata se brzo može doći primenom računara. Određjivanje maksimalnih sila i momenata omogućava pravilan izbor mašine i alata.

5) LITERATURA

- 1) Kalajdžić, M.: Tehnologija mašinogradnje I, Mašinski fakultet, Beograd, 1989
- 2) Philip, H.: Fräsen bei großen vorschüben, Werkstatt und Betrieb 114(1981)3, S.183-186.
- 3) Philip, H.: Leistungsberechnung beim Fräsen, Werkstatt und Betrieb 113(1980)11, S.749-752.

PRORAČUN SILA REZANJA I MOMENATA KOD OBIMNOG GLODANJA

Rezime

U ovom radu je prikazan proračun sila rezanja i momenata pri obimnom glodanju za jedan opšti slučaj u kome je promenljiva i širina glodanja i dubina glodanja.

CALCULATION OF CUTTING FORCES AND MOMENTS IN CONVENTIONAL MILLING

Summary

In this paper is presented the calculation of cutting forces and moments in conventional milling with cylindrical milling cutter for one general case in whom is changed and cutting width and depth of cut.

SILE REZANJA PRI STRUGANJU KRUŽNIM SAMOOBRTRNIM NOŽEVIMA

*Banjac Dragan **

Rezime

Pri struganju kružnim samooobrtnim noževima, specifična konstrukcija alata i kinematika rezanja uslovljavaju i posebne karakteristike i funkcije stanja procesa. U okviru toga dinamičke pojave i sile rezanja su jedan od bitnih uslova za primenu i upravljanje procesom.

U okviru širih teorijskih i eksperimentalnih istraživanja procesa obrade kružnim samooobrtnim noževima, u delu koji se odnosi na sile i vibracije, deo dobijenih rezultata iznosi se u ovom radu.

CUTTING FORCES IN MACHINING BY SELF-PROPELLED ROTARY TOOLS

Summary

In machining by the self-propelled rotary tools, specific construction of the tool and cutting kinematics (kinematics of the rotary system) cause special characteristics and functions of the process state. Explanation of dynamic phenomenons and definition of cutting forces are important conditions for applicatvon and process control.

In the frame of wide theoretical and experimental investigations of the process of machining by self-propelled rotary tools, in the part concerning forces and vibrations, some theoretical results in this paper are expressed.

**Mr Dragan Banjac, predavač, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

1. UVOD

U okviru istraživanja i unapređenja savremenih obradnih i tehnoloških procesa značajnu ulogu imaju i dostignuća u povećanju reznih sposobnosti alata, prvenstveno razvojem i usavršavanjem materijala i konstrukcija alata. Istovremeno je značajno usavršavanje i uvođenje u primenu novih konstrukcionih materijala, najčešće teško obradljivih, gde još uvek navedeni savremeni visokoproizvodni alati ne daju zadovoljavajuće proizvodno-ekonomske efekte. Zbog toga je sve veći interes za istraživanje i razvoj novih specifičnih konstrukcija reznih alata i istraživanje i optimizaciju odgovarajućih obradnih procesa. Jedan deo istraživanja pokazuje da tu značajnu ulogu mogu da odigraju dalja istraživanja i praktične primene već poznatih procesa obrade kružnim obrtnim reznim pločicama.

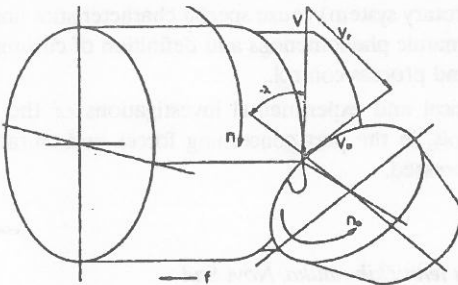
Rezultati istraživanja i praktične primene alata sa obrtnim kružnim reznim pločicama /2,4,6,8,9/ pokazuju da se u procesima obrade rezanjem, posebno kod obradaka velikih kontinualnih površina i od teško obradljivih materijala, mogu postići i znatno povoljniji tehnno-ekonomski efekti u odnosu na obradu savremenim konvencionalnim reznim alatima. Ti efekti se svode na mogućnosti značajnijeg povišenja režima rezanja i postojanosti alata, odnosno proizvodnosti i ekonomičnosti obrade, uz visok nivo tačnosti i kvaliteta obrađenih površina.

S druge strane, šira primena procesa obrade kružnim obrtnim reznim pločicama i praktični efekti u proizvodnji u svetu su i dalje ograničeni, prvenstveno zbog nedovoljne istraženosti, pa prema tome i nedovoljnog obima praktično primenljivih informacija /2,6 /, kao i navedenih specifičnosti procesa i alata, posebno u pogledu postizanja potrebne dinamičke stabilnosti.

Uzimajući u obzir navedeno, u Institutu za proizvodno mašinstvo, FTN u Novom Sadu, u okviru širih teorijskih i eksperimentalnih istraživanja /1,2/ i primene sopstvenog razvijenog rešenja kružnog samoobrtnog noža za obradu struganjem vršena su i istraživanja oscilatornih pojava i sila rezanja pri obradi više standardnih konstrukcionih materijala. Deo tih istraživanja, koji se odnosi na teorijsku analizu i proračun sila rezanja pri obradi struganjem konstrukcionog čelika, iznosi se u ovom radu.

2. OSNOVNE KARAKTERISTIKE PROCESA

U toku obrade kružnim samoobrtnim nožem na kontaktnim površinama sečiva rezne pločice javljaju se sile trenja, čija tangencijalna komponenta pri dovoljnoj vrednosti ugla nagiba



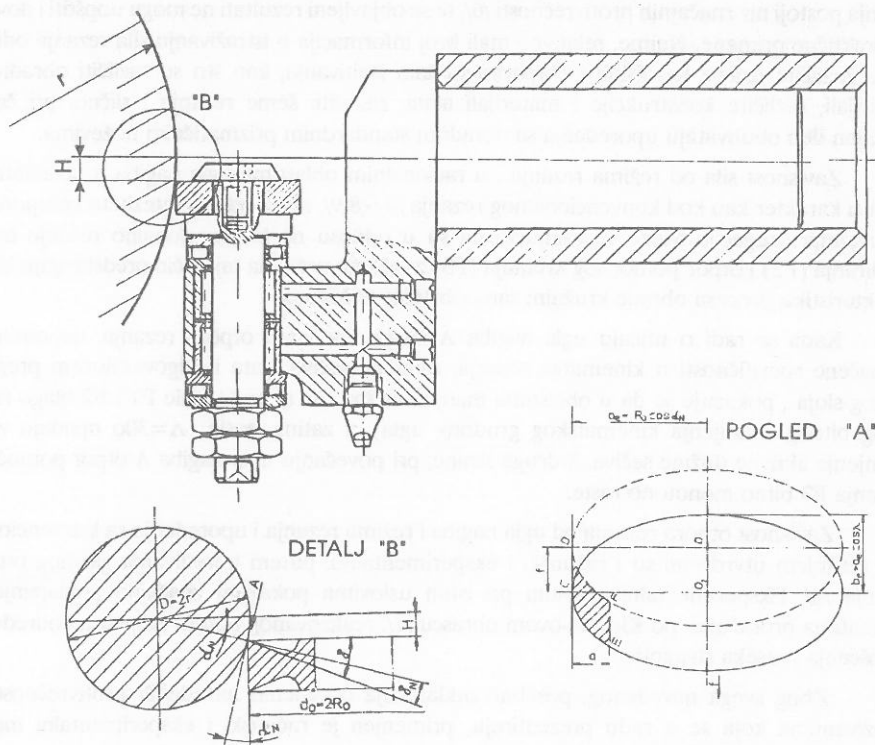
Slika 1. Kinematska šema

(Δ) izaziva kružno obrtanje rezne pločice oko sopstvene ose, obimnom brzinom V_0 -brzinom samoobrtanja /1,2/, (slika 1). Zakretanje ose rezne pločice za ugao nagiba Δ , koje omogućava konstrukcija alata, istovremeno određuje i vrednosti kinematskih reznih uglova /1/, bitno različitih od statičkih. Zbog toga statička geometrija kružne rezne pločice (slika 2) i njeno postavljanje u odnosu na obradak moraju obezbediti potrebnu vrednost brzine samoobrtanja i

V_0 i njoj odgovarajuće efekte u procesu obrade, ali i zadovoljavajuće parametre kinematske rezne geometrije.

Relativno značajna vrednost brzine samoobrtanja V_0 utiče na smanjenje efektivne brzine rezanja $V_r = V_e$ i, na osnovu toga, smanjenje brzina između obradka i ledne površine ($V_l = V_r$) i strugotine i grudne površine.

Na taj način se mogu delimično i objasniti povoljni efekti primene ovog procesa obrade. S druge strane, dokazana odstupanja kinematske od statičke rezne geometrije alata /1/ i na osnovu toga navedena mogućnost ostvarivanja zadovoljavajućeg statičkog i kinematskog lednog ugla, putem pomeranja-zakretanja statičke osnovne ravni alata za neophodan ugao α_n , postavljanjem sečiva alata ispod nivoa ose obradka za vrednost $H = r \sin \alpha_n$, omogućavaju primenu racionalnog rešenja rezne pločice, dvostrane sa lednim uglom oštrenja $\alpha = 0$ (slika 2).



Slika 2. Držač noža i njegovo postavljanje

Postavljanje i konstrukcija alata, kako je to prikazano, omogućavaju samoobrotno kretanje rezne pločice i postizanje racionalne rezne geometrije, statičke i kinematske, i istovremeno daju specifičan presek strugotine, bitno različit od slučaja obrade konvencionalnim prizmatičnim noževima. Naime, za dati prečnik rezne pločice i njeno zakretanje za navedene uglove Λ i α_n projekcija linije kružnog sečiva u zahvatu na radijalnu ravan obradka (detalj "B") je elipsa sa parametrima $a_e = R_o \cos \alpha_n$ i $b_e = a_e \cos \Lambda$ (pogled "A") (slika 2).

Za pomak po obrtu f , presek reznog sloja ograničen je dužima $CD=f$ i $EF=f$ i elementima elipse CE i DF . Pri tome se može usvojiti da je $\cos \alpha_n = 1$, jer je za, u eksperimentima ispitivane slučajeve, uzimano $\alpha_n \leq 5^\circ$.

Navedene specifičnosti konstrukcije alata, kinematike rezanja i preseka reznog sloja, pokazuju da se u okviru kompleksnijih istraživanja obrade kružnim samoobrotnim noževima (KSON) posebna pažnja mora posvetiti izučavanju dinamičkih pojava i posebno sila rezanja. Veliki radijus vrha alata (R_o), mali napadni uglovi duž aktivnog dela sečiva i pokazani presek reznog sloja, naglašavaju značajne specifičnosti kod određivanja sila rezanja, što pokazuju i analize dostupnih literaturnih informacija /4,6,8,9/. S druge strane, u rezultatima ispitivanja sila rezanja postoji niz značajnih protivrečnosti /6/, te se objavljeni rezultati ne mogu uopštiti i dovesti do praktične primene. Naime, relativno mali broj informacija o istraživanju sila rezanja odnosi se na različite uslove teorijskih i eksperimentalnih ispitivanja, kao što su različiti obrađivani materijali, različite konstrukcije i materijali alata, različite šeme rezanja i slično, pri čemu značajan deo obuhvataju upoređenja sa obradom standardnim prizmatičnim noževima.

Zavisnost sila od režima rezanja, u racionalnim oblastima ugla nagiba Λ , kvalitativno ima isti karakter kao kod konvencionalnog rezanja /4,6,8,9/, ali su odnosi inteziteta komponenti sila rezanja drugačiji. Može se zaključiti da su u odnosu na konvencionalno rezanje otpor prodiranja (F_2) i otpor pomoćnog kretanja (F_3) značajno veći i na taj način predstavljaju bitnu karakteristiku procesa obrade kružnim samoobrotnim noževima.

Kada se radi o uticaju ugla nagiba Λ na komponente otpora rezanja, napominjući naznačene specifičnosti u kinematici rezanja, radijusu sečiva alata i odgovarajućem preseku reznog sloja, pokazuje se da u oblastima manjih nagiba ose alata (Λ) sile F_1 i F_2 blago rastu (zbog bitnog smanjenja kinematskog grudnog ugla), a zatim, posle $\Lambda=30^\circ$ opadaju zbog smanjenja aktivne dužine sečiva. S druge strane, pri povećanju ugla nagiba Λ otpor pomoćnog kretanja F_3 bitno monotono raste.

Zavisnost otpora rezanja od ugla nagiba i režima rezanja i upoređenja sa konvencionalnim rezanjem utvrđivani su i računski i eksperimentalno, putem određivanja glavnog otpora rezanja /8/. Eksperimentalni rezultati pri istim uslovima pokazuju značajno poklapanje sa rezultatima proračuna po Kienzle-ovom obrascu /7/, realizovanog putem računara i određenih uprošćenja preseka strugotine.

Zbog svega navedenog, posebno otklanjanja određenih navedenih protivrečnosti, u istraživanjima koja se u radu prezentiraju, primenjen je računski i eksperimentalni metod istraživanja sila kod KSON.

3. ANALITIČKO ODREĐIVANJE GLAVNOG OTPORA REZANJA

Polazeći od izraza za glavni otpor rezanja pri struganju /4,5,6,8/ oblika:

$$F_1 = a f K_s = b h K_s \quad (1)$$

gde su:

a- dubina rezanja (mm)

f- pomak po obrtu (mm/o)

b- širina reznog sloja (mm)

h- debljina reznog sloja (mm)

K_s -specifični otpor rezanja (N/mm^2),

a uzimajući u obzir specifičan presek reznog sloja (sl.2), sa značajnom promenom debljine strugotine duž sečiva, za tačnije određivanje glavnog otpora rezanja opravdano je primeniti Kienzle-ov obrazac /5,7,8/ :

$$F_1 = b h^{1-z} K_{s1} \quad (2)$$

gde su:

$K_{s1} = K_s h^z$, z-konstante obrađivanog materijala.

Pošto je debljina reznog sloja (h) duž aktivnog dela sečiva promenljiva (sl.2), određena razmakom između dve elipse, neophodno je pri određivanju F_1 poći od njene elementarne vrednosti.

Ako se za svaku tačku aktivnog dela sečiva (M) pretpostavi da je poluprečnik krivine jednak poluprečniku rezne pločice $R\phi = R_0$ (sl.3), tada je elementarna sila:

$$dF_1 = R_0 K_{s1} (f \sin\phi)^{1-z} d\phi \quad (3)$$

i tada se ukupni glavni otpor rezanja određuje integraljenjem po uglu ϕ u granicama

$$0 \leq \phi \leq \phi_{\max} = \arccos \left(\frac{R_0 - a}{R_0} \right). \quad (8)$$

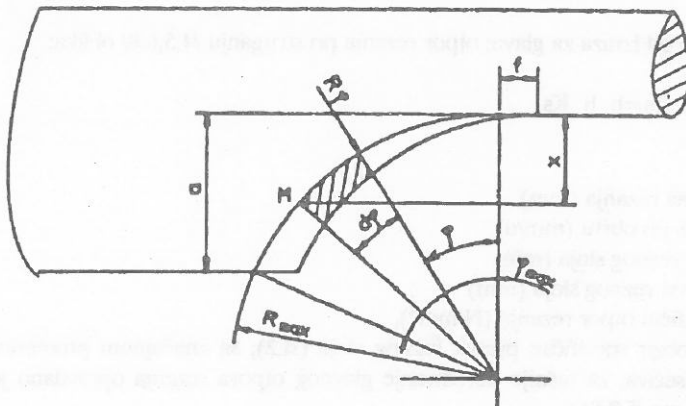
Za stvarne uslove obrade, kada je $\Lambda = 0$ i $H > 0$, (sl.2), tačno određivanje sile F_1 zahteva preciznije definisanje preseka reznog sloja i njegovih elemenata tačnim određivanjem promenljivog poluprečnika krivine elipse u zoni rezanja $R\phi = R(\phi)$.

Polazeći od definicija osnovnih parametara elipse (sl.2)

$$a_e = R_0 \cos \alpha_n \quad C = (a^2 e - b^2 e)^{1/2}$$

$$b_e = a_e \cos \Lambda \quad e = C/a_e$$

poluprečnik elipse u proizvoljnoj tački sečiva M (sl.3) može se odrediti prema izrazu:



Slika 3. Presek reznog sloja

$$R \phi = \frac{(r_1 r_2)^{3/2}}{(a_e b_e)}$$

gde su r_1 i r_2 radijusi tačke M mereni iz fokusa elipse.

Na osnovu toga, uz zanemarljive aproksimacije, može se, kao konačni element preseka reznog sloja (sl.2) uzeti $R \phi \Delta \phi \sin \phi$, pri čemu je $\Delta \phi = \phi_{\max}/n$, gde je n -dovoljno veliki konačan broj, i tada se sila F_1 može odrediti po izrazu:

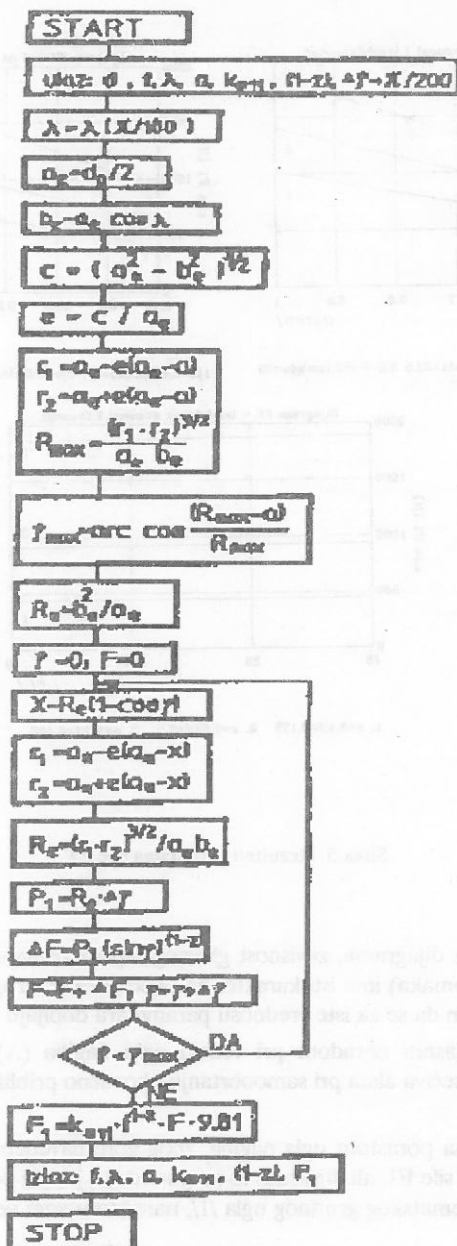
$$F_1 = \sum_{i=1}^N R \phi \Delta \phi (f \sin \phi)^{1-z} K_{s1} \quad (4)$$

Na taj način definisani matematički model za proračun glavnog otpora rezanja, primenom Kienzle-ovog obrasca, lako se realizuje na računaru. Program za takav proračun sile F_1 zasniva se na odgovarajućem algoritmu (sl.4), koji se za svaki skup neophodnih ulaznih informacija, sastoji iz dva dela, prvog za određivanje parametara elipse, i drugog iterativnog bloka za određivanje sile F_1 , da bi se na izlazu dobili rezultati u obliku tabela ili dijagrama.

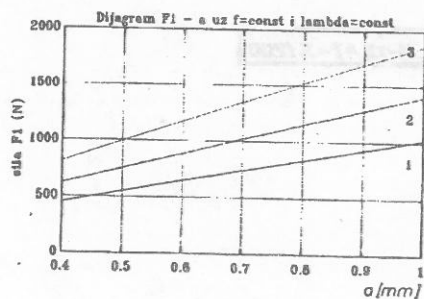
Za realne vrednosti visine H u proračunu je uzeto da je $\cos \alpha_n = 1$, čemu odgovara poluosu elipse $a_e = R_0$, što je opravdano jer je a_n malih vrednosti.

Za rezu pločicu od tvrdog metala (P10), prečnika $d_0 = 35$ mm, uglove oštrenja $\gamma = 18^\circ$ i $\alpha = 0^\circ$, pri čemu je sečivo pločice postavljeno ispod ose obradka (prečnika $D = 235$ mm) za vrednost $H = 8$ mm, odgovaraju statički uglovi sečiva noža $\gamma_n = 14,1^\circ$ i $\alpha_n = 3,9^\circ$ (sl.2). Uzimajući to u obzir, i kao ulaz u program, i kao potvrdu aproksimacije $\cos \alpha_n = 1$, treba naglasiti da ti podaci odgovaraju i izvedenim eksperimentalnim istraživanjima pri obradi uzoraka od čelika Č.4732, žarenog, čvrstoće 750 MPa i tvrdoće 220 HB, za koji su neophodni ulazni podaci algoritma konstante materijala u Kienzle-ovom obrascu $z = 0,26$ i $K_{s1} = 2500 \text{ N/mm}^2 / 5,7,8/$.

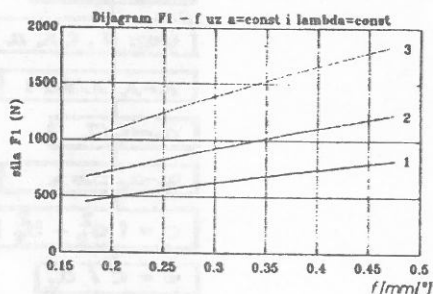
Na osnovu dobijenih rezultata proračuna može se zavisnost glavnog otpora rezanja od preseka strugotine i ugla nagiba, za date uslove, prikazati dijagramski (sl.5).



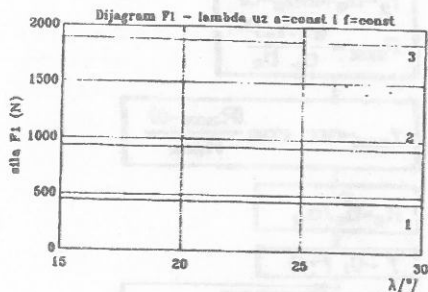
Slika 4. Algoritam za proračun F1



1) $f=0,175; \lambda=15$ 2) $f=0,3; \lambda=22,5$ 3) $f=0,462; \lambda=30$



1) $a=0,4; \lambda=15$ 2) $a=0,63; \lambda=22,5$ 3) $a=1,0; \lambda=30$



1. $a=0,4; f=0,175$ 2. $a=0,63; f=0,3$ 3. $a=1,0; f=0,462$

Slika 5. Rezultati proračuna sile F_1

Kao što se vidi iz dijagrama, zavisnost glavnog otpora rezanja od parametara preseka reznog sloja (dubine i pomaka) ima isti karakter kao kod obrade struganjem konvencionalnim prizmatičnim nožem, stim da se za iste vrednosti parametara dobijaju nešto manje vrednosti. I

To se može objasniti obradom pri većem uglu nagiba (λ), smanjenju trenja na kontaktnim površinama sečiva alata pri samoobrtanju i konačno približavanju uslovima ortogonalnog rezanja [4,6].

S druge strane sa porastom ugla nagiba, zbog gore navedenih objašnjenja, moglo se očekivati veće smanjenje sile F_1 , ali dijagram to ne potvrđuje, jer pri porastu ugla nagiba dolazi do bitnog smanjenja kinematskog grudnog ugla $/1/$, naročito u zoni većih debljina reznog sloja (h).

Analiza dobijenih rezultata pokazuje da se oni skoro sasvim poklapaju sa eksperimentalnim [3] i da odgovaraju osnovnim zaključcima izvedenim iz pretežnog dela navedenih literaturnih izvora [4,6,8,9], te da se Kienzle-ov obrazac na prikazani način može primeniti i u razmatranom procesu obrade, sa pouzdanim rezultatima.

4. ZAKLJUČCI

Za slučaj prezentirane istosmerne obrade struganjem kružnim samoobrotnim noževima obradaka od standardnog konstrukcionog čelika, na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti:

1. Zbog velikog radijusa kružnog sečiva i primenjenih većih vrednosti ugla nagiba, neophodnih za obezbeđenje brzine stabilnog samoobrotnog kretanja alata i time obezbeđenja viših tehnoloških efekata, istraživani proces obrade karakteriše specifičan presek reznog sloja, koji uslovljava i specifične vrednosti i odnose komponenti sila rezanja.

2. Zavisnost glavnog otpora rezanja od preseka reznog sloja odgovara karakteru zakonitosti pri konvencionalnom struganju, što pokazuju dobijene vrednosti pouzdanog proračuna po Kienzle-ovom izrazu, uz primenu razvijenog matematičkog modela i računara.

5. LITERATURA

/1/ Banjac, D., Rodić, M., Kinematska geometrija kružnih samoobrotnih noževa, XIII Savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Banja Luka, 1979.

/2/ Banjac, D., Brzina obrtanja kružne rezne pločice pri struganju samoobrotnim noževima, XXIII Savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Ohrid, 1989.

/3/ Banjac, D., Todić, V., Eksperimentalno određivanje sila rezanja pri obradi čelika Č.4732 kružnim samoobrotnim noževima, XXIV Savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Novi Sad, 1992.

/4/ Bobrov, V.F., Ierusalimskij, D.E., Rezanije metallov samovraščajuščimsja rezcami, Moskva, 1972.

/5/ Bruins, D.H., Drager, H.J., Werkzeuge und Werkzeugmaschinen, Teil 1, Munchen-Wien, 1975.

/6/ Jaščerčin, P.I., Borisenko, A.V., Drivotin, I.G., Lebedev, V.J., Rotacionoe rezanie materialov, Minsk, 1987.

/7/ Kienzle, O., Die Bestimmung von Kräften und Leistungen an spannender Werkzeugen an Werkzeugmaschinen, VDI-Z., No11/12, 1952.

/8/ Tollner, K., Untersuchungen mit Drehwerkzeugen mit umlaufender Schneidscheiben, Dissertation, TH Aachen, Aachen, 1971.

/9/ Zemljanskij, V.A., Granin, Ju.F., Dinamičeskije issledovanija kruglih samovraščajuščih-sja rezcov, Izvestija vuzov-Mašinostroenije, No1, 1965.

EKSPERIMENTALNO ODREĐIVANJE SILA REZANJA PRI OBRADI ČELIKA Č.4732 KRUŽNIM SAMOOBRRTNIM NOŽEVIMA

Banjac Dragan, Todić Velimir

Rezime

U okviru šire identifikacije i primene procesa struganja kružnim samoobrtnim noževima vrše se i teorijska i eksperimentalna istraživanja dinamičkih pojava, sila i vibracija.

Iz dela tih istraživanja u radu se iznose rezultati eksperimentalnih ispitivanja sila rezanja pri završnom struganju obradaka od konstrukcionog čelika Č.4732.

Experimental Determination of Cutting Forces in Machining of the Steel Č.4732 by Self-Propelled Rotary Tools

Summary

In the frame of wider identification and application of the process of machining by the self-propelled rotary tools, some theoretical and experimental investigations of dynamic phenomena, forces and vibrations have been performing.

From one part of the investigations, some results of experimental examinations of cutting forces in final machining of products consisting of constructional steel Č.4732 in this paper are expressed.

* *Banjac Mr Dragan, predavač, Todić Dr Velimir, docent, Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu*

1. UVOD

Istraživanje i primena alata sa obrtnim kružnim reznim pločicama pokazuju da se u obradi savremenih konstrukcionih materijala, posebno teško obradljivih, u proizvodnji mogu ostvariti značajni tehnno-ekonomski efekti /2,4,5,6,8/. Međutim, iako je ovaj specifični proces obrade u osnovi odavno osvojen, takvi alati se još uvek nedovoljno primenjuju u praksi, kako zbog nedostatka potrebnog obima literaturnih informacija /6/, tako i zbog specifičnih i ograničavajućih dinamičkih ponašanja. Naime, složenija konstrukcija alata, koja zbog obezbeđenja mogućnosti obrtnog kretanja kružne rezne pločice u sebi sadrži uležištenje nosača pločice i time predstavlja mogući dopunski izvor oscilatornih kretanja, zahteva konstruktivna i tehnološka rešenja, koja će obezbediti potrebnu dinamičku stabilnost procesa. To znači da proces obrade kružnim samoobrotnim noževima zahteva detaljnija istraživanja i praktične provere uslova i mogućnosti za ostvarivanje kontrolisanih i dozvoljenih dinamičkih pojava.

Zbog svega navedenog, izvršena su potrebna teorijska istraživanja sila rezanja /3/ i, na osnovu toga i rezultata prethodnih eksperimentalnih ispitivanja /7/, detaljnija eksperimentalna ispitivanja sila rezanja i oscilacija pri obradi struganjem više standardnih konstrukcionih čelika kružnim samoobrotnim nožem, razvijene i usavršene sopstvene konstrukcije /2,3/. Na osnovu tih istraživanja dalje se daju uslovi i rezultati eksperimentalnih istraživanja sila rezanja pri završnom struganju čelika Č.4732.

2. PLAN, USLOVI I REZULTATI EKSPERIMENTA

Eksperimentalno određivanje komponentata sila rezanja vršeno je zajedno sa registrovanjem oscilatornih pojava, na bazi primene trofaktornog ortogonalnog plana eksperimenta /1/, odgovarajućeg matematičkom modelu oblika

$$F_i = C_i f^{x_1} a^{x_2} \Lambda^{x_3} \quad (1)$$

pri čemu su, na osnovu izvršenih teorijskih analiza, /3,4,5,8/ i prethodnih eksperimentalnih ispitivanja /7/, utvrđeni kao osnovni uticajni faktori, parametri preseka reznog sloja, pomak (f), dubina rezanja (a), i ugao nagiba Λ /2/. Za ispitivane uslove i posmatranu režimsku oblast posebnim eksperimentima je potvrđeno da brzina rezanja nema приметnog uticaja na sile rezanja.

Paralelno sa navedenim realizovan je i jednofaktorni eksperiment $F_i = F_i(\Lambda)$ pod jednakim svim ostalim uslovima ispitivanja.

Materijal obratka dimenzija $\phi 235 \times 250$ mm je čelik za poboljšanje Č.4732, žaren, tvrdoće 220HB. Obradak je prethodnom obradom pripremljen za ispitivanje, pri čemu je baziranje i stezanje na mašini izvršeno putem tročeljusne stezne glave i zadnjeg šiljka.

Navedeni planirani eksperimenti realizovani su na strugu PA-900R, "POTISJE- MORANDO", Ada, snage 15kW.

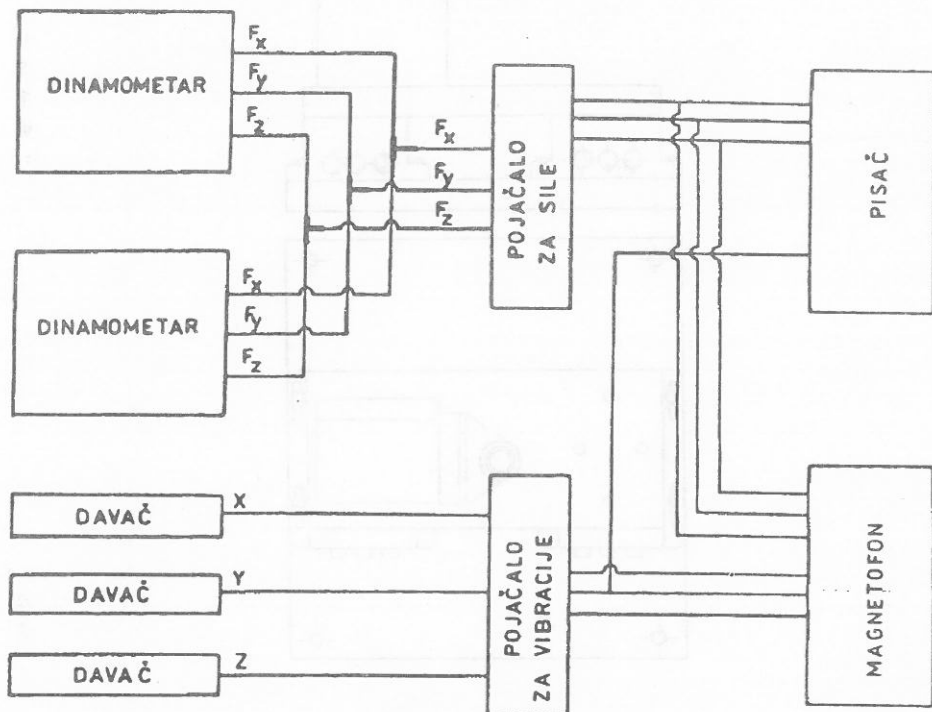
Alat predstavlja navedeno sopstveno rešenje kružnog samoobrotnog noža sa igličastim uležištenjem /2,3/. Kružna rezna pločica za završnu obradu struganjem navedenog materijala je

od tvrdog metala P10 sa prečnikom $d_0=35\text{mm}$, statičkim uglovima oštrenja $\gamma=18^\circ$ i $\alpha=0^\circ$ (radi se o dvostranoj reznjoj pločici).

Postavljanjem sečiva rezne pločice ispod ose obratka za visinu $H=8\text{mm}$ obezbeđeni su statički uglovi reznog klina noža u tački sečiva najbližoj osi obratka $\gamma_N=14,1^\circ$ i $\alpha_N=3,9^\circ$. Kontrolnim proračunom kinematske rezne geometrije u različitim tačkama aktivnog dela sečiva i za različite Δ , dobijeno je da su kinematski grudni i ledni uglovi zadovoljavajući ($\gamma_e=16,7^\circ$ - $2,7^\circ$ i $\alpha_e=3,2^\circ$ - $17,2^\circ$) [2].

Pri merenju sila rezanja vršene su dve serije eksperimenata, navedeni kompletni planovi na suvo i primenom sredstva za hlađenje i podmazivanje-3% emulzije INA SINT-B.

Za realizaciju planiranog trofaktornog plana eksperimenta, kao i navedenog jednofaktornog, uz registrovanje oscilatornih pojava i ostvarivanje potrebne dinamičke stabilnosti, primenjene su savremene merne metode i instrumentacija (slika 1).

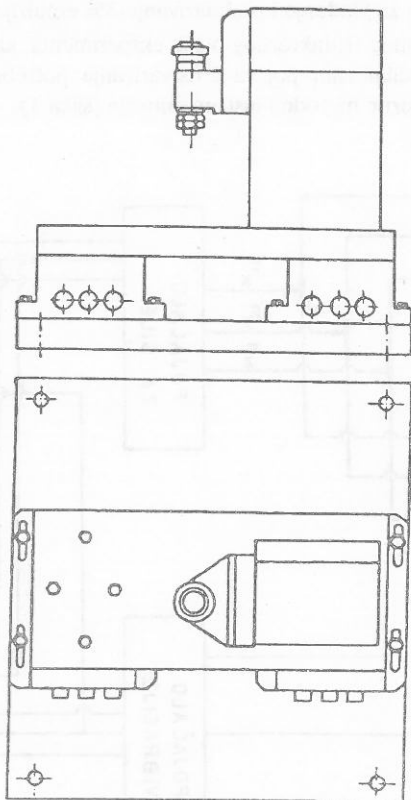


Slika 1. Šema merne instrumentacije

Prethodnom teorijskom analizom i eksperimentima [3,7] utvrđene su, kao karakteristike ovog procesa, povećane vrednosti otpora prodiranja (F_2) i otpora pomoćnog kretanja (F_3), te je zbog toga pripremljena i primenjena posebna merna platforma sa dva dinamometra, postavljena na poprečnom klizaču struga preko svoje donje ploče (slika 2). U okviru merne platforme, na čiju se gornju ploču postavlja opisani alat, postavljena su dva trokomponentna piezoelektrična dinamometra KISTLER, Typ 9257 A.

Registrowanje izmerenih sila i oscilacija vršeno je putem svetlosnog pisača Honeywell, Typ 58A i magnetofona Honeywell, Typ 5600 B, uz korišćenje odgovarajućih višekanalnih pojačavača. Za merenje oscilacija korišćeni su odgovarajući kvareni davači pomeraja, postavljeni na držač noža, dok je vizuelna kontrola merenih veličina vršena osciloskopima Textronix, Typ 434.

Paralelno sa realizacijom i registrowanjem navedenih merenja, merena je i brzina samoobrtanja kružne rezne pločice, preko broja obrtaja n_0 , putem tahometra /2/.



Slika 2. Merna platforma

U okviru širih istraživanja karakteristika i funkcija stanja procesa obrade kružnim samoobrotnim noževima čelika Č.4732 usvojeni su odgovarajući nivoi režima rezanja i ugla nagiba za realizaciju navedenih, prvenstveno trofaktornih planova eksperimenta. Zbog toga su i za određivanje sila rezanja, prema modelu (1), utvrđeni uglavnom isti nivoi i opsezi uticajnih parametara, uzimajući u obzir literaturne preporuke, mogućnosti primenjenog struga i prethodna eksperimentalne provere, tj.:

$$v=2,73 \text{ [m/sec]}$$

$$f=0,175; 0,3; 0,482 \text{ [mm/ob]}$$

$$a=0,4; 0,63; 1,0 \text{ [mm]}$$

$$\Lambda = -15^\circ, -21,2^\circ, -30^\circ$$

Sprovedena eksperimentalna ispitivanja, planovi i rezultati, mogu se prikazati tabelarno, pri čemu se kao karakteristični daju, za obradu na suvo, trofaktorni ortogonalni plan (Tablica 1) i jednofaktorni $F_i=F_i(\Lambda)$ za srednje vrednosti režima rezanja (Tablica 2).

Tablica 1. Matrica trofaktornog plana

| Red. br. | f [mm/ob] | a [mm] | Λ [°] | F ₁ [N] | F ₂ [N] | F ₃ [N] | n ₀ [min ⁻¹] |
|-------------|--------------|-----------|------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--|
| 1.S | 0,175 | 0,4 | 15 | 428 | 388 | 135 | 148 |
| 2.S | 0,482 | 0,4 | 15 | 853 | 509 | 262 | 270 |
| 3.S | 0,175 | 1,0 | 15 | 1067 | 607 | 328 | 285 |
| 4.S | 0,482 | 1,0 | 15 | 2036 | 1034 | 738 | 365 |
| 5.S | 0,175 | 0,4 | 30 | 492 | 361 | 328 | 625 |
| 6.S | 0,482 | 0,4 | 30 | 820 | 393 | 526 | 560 |
| 7.S | 0,175 | 1,0 | 30 | 985 | 607 | 623 | 640 |
| 8.S | 0,482 | 1,0 | 30 | 1838 | 788 | 1083 | 700 |
| 9.S | 0,3 | 0,63 | 21,2 | 952 | 574 | 427 | 445 |
| 10.S | 0,3 | 0,63 | 21,2 | 903 | 558 | 377 | 440 |
| 11.S | 0,3 | 0,63 | 21,2 | 985 | 548 | 427 | 450 |
| 12.S | 0,3 | 0,63 | 21,2 | 952 | 542 | 427 | 450 |

Izmerene vrednosti date u tabelama dobijene su, za uslove dinamički stabilnog procesa (za svaku eksperimentalnu tačku vršena je analiza oscilatornih pojava), iz registrovanih dijagrama na svetlosnom pisaču. Treba naglasiti da je ostvarenje stabilnosti procesa obrade bilo otežano, jer nije bila obezbeđena dovoljna tačnost kružnog samoobrtnog kretanja sečiva rezne pločice, tj. bacanje sečiva pri obrtanju bilo je oko 0,05 mm, umesto potrebnog od 0,01 mm.

Slične vrednosti (nešto manje) i zavisnosti dobijene su i pri obradi uz primenu sredstva za hlađenje i podmazivanje.

Tablica 2. Jednofaktorni plan ($f = 0,3$; $a = 0,63$; $v = 2,73$)

| Red. br. | Λ [$^{\circ}$] | F_1 [N] | F_2 [N] | F_3 [N] | n_0 [min^{-1}] | Proces je: |
|--------------|-----------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------------------------|---------------|
| 1. Λ | 5 | 984 | 705 | 180 | 23 | nestabilan |
| 2. Λ | 10 | 1050 | 656 | 279 | 180 | stabilan |
| 3. Λ | 21,2 | 948 | 556 | 415 | 450 | stabilan |
| 4. Λ | 30 | 968 | 508 | 656 | 640 | stabilan |
| 5. Λ | 35 | 1017 | 574 | 722 | 750 | stabilan |

3. OBRADA I ANALIZA REZULTATA ISPITIVANJA

Na osnovu regresione i disperzione analize rezultata realizovanog trofaktornog plana eksperimenta, primenom računara dobijeni su adekvatni modeli funkcija sila rezanja, sa očekivanom signifikantnošću posmatranih parametara /1,4/. Za date uslove dobijeni su sledeći izrazi:

$$F_1 = 3680,5 f^{0,63} a^{0,92} \Lambda^{-0,06}$$

$$F_2 = 1637 f^{0,28} a^{0,65} \Lambda^{-0,22}$$

$$F_3 = 68,5 f^{0,62} a^{0,9} \Lambda^{0,94}$$

Za analizu neophodna grafička interpretacija dobijenih izraza za sile rezanja, gde su za pojedine nivoe konstantnih parametara date dijagramske zavisnosti sila od f , a i Λ , data je na slici 3.

Rezultati jednofaktornog plana iz tablice 2 daju u osnovi iste zavisnosti sila od ugla nagiba Λ , pa se dijagram posebno ne prikazuje.

Prikazani izrazi i dijagrami pokazuju očekivani uticaj preseka reznog sloja na sile rezanja pri čemu veći uticaj ima dubina rezanja. Istovremeno je potvrđeno da su za ispitivane uslove otpori prodiranja F_2 i otpor pomoćnog kretanja F_3 relativno

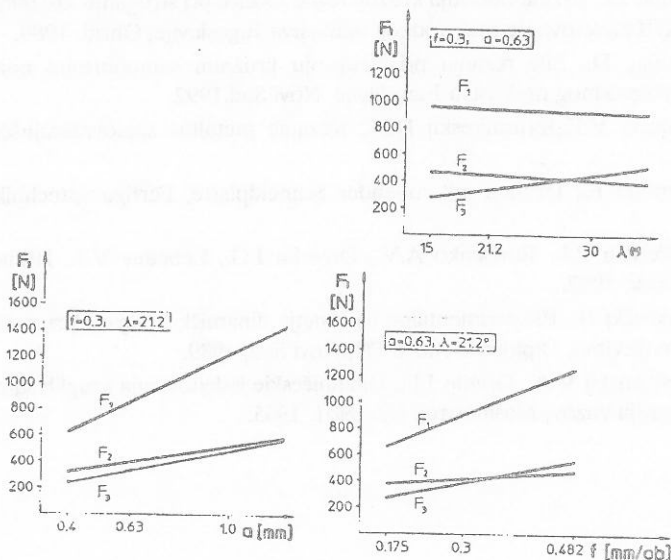
Slika 3. Dijagrami sila rezanja

značajno većih vrednosti u odnosu na konvencionalno rezanje, posmatrano u odnosu na glavni otpor rezanja F_1 .

Pri porastu ugla nagiba izrazito raste otpor pomoćnog kretanja F_3 , dok su promene F_1 i F_2 male.

Za ispitivani slučaj završne obrade struganjem navedenih uzoraka od čelika, dobijeni nivoi sila rezanja nisu visoki u odnosu na konvencionalno rezanje, ali je u tome značajno istaći

bitan udeo otpora prodiranja i pomošnog kretanja i na osnovu toga objasniti dinamičku osetljivost procesa i značaj pravilnog izbora i rešenja uležištenja alata. Dobijeni rezultati ipak pokazuju da je razvijena konstrukcija alata i usvojeno igličasto uležištenje omogućilo ostvarivanje potrebnog nivoa dinamičke stabilnosti.



Slika 3. Dijagrami sila rezanja

Kada se radi o glavnom otporu rezanja i njegovoj zavisnosti od preseka reznog sloja i ugla nagiba λ , iz dijagrama se vidi visok stepen poklapanja sa rezultatima proračunatim po izrazu Kienzle-a [3].

4. ZAKLJUČCI

Na osnovu prezentiranih eksperimentalnih istraživanja sila rezanja mogu se izvesti sledeći zaključci:

1. Karakter zavisnosti otpora rezanja od parametara režima rezanja se u osnovi poklapa sa odgovarajućim zavisnostima kod konvencionalnog rezanja.
2. Zbog velikog radijusa sečiva i značajnih vrednosti ugla nagiba sečiva, kao karakteristika procesa obrade kružnim samoobrtnim noževima se javljaju značajno veće vrednosti otpora prodiranja i otpora pomošnog kretanja, što uz ugradnju neophodnog uležištenja, svakako izaziva povećanu dinamičku osetljivost procesa.
3. Dobijene zavisnosti glavnog otpora rezanja od režima rezanja i ugla nagiba u značajnoj meri potvrđuju opravdanost primene proračuna po obrascu Kienzle-a.

5. LITERATURA

- /1/ Banjac D., Sile rezanja i tačnost obrade pri bušenju kvadratnih otvora, Zbornik radova FTN, No14, Novi Sad, 1983.
- /2/ Banjac D., Brzina obrtanja kružne rezne pločice pri struganju kružnim samoobrtanim noževima, XXIII Savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Ohrid, 1989.
- /3/ Banjac D., Sile rezanja pri struganju kružnim samoobrtanim noževima, XXIV Savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Novi Sad, 1992.
- /4/ Bobrov V.F., Ierusalimskij D.E., Rezanje metallov samovraščajuščimsja rezcami, Moskva, 1972.
- /5/ Gimbolt E., Drchen mit roticender Schneidplatte, Fertigungstechnik und Betrieb, No12, 1977.
- /6/ Jaščericin P.I., Borisenko A.V., Drivotin I.G., Lebedev V.J., Rotacionoe rezanie materialov, Minsk, 1987.
- /7/ Tapavički B., Eksperimentalno ispitivanje dinamičkih pojava pri struganju kružnim samoobrtanim noževima, Diplomski rad, FTN, Novi Sad, 1989.
- /8/ Zemljanskij V.A., Granin J.F., Dinamičeskie issledovanija kruglih samovraščajuščih-sja rezcov, Izvestija vuzov, Mašinostrojenje, No1. 1965.

SKI MODEL ODBOLJIVANJA HRAPAVOSTI POVRŠINE OBRADJENE CO LASEROM

*Dr. sc. Goran Babić, Viša tehnička škola, Križevci
Dr. sc. Miroslav, Mašinski fakultet, MŠ
Dr. sc. Miroslav, Mašinski fakultet, MŠ*

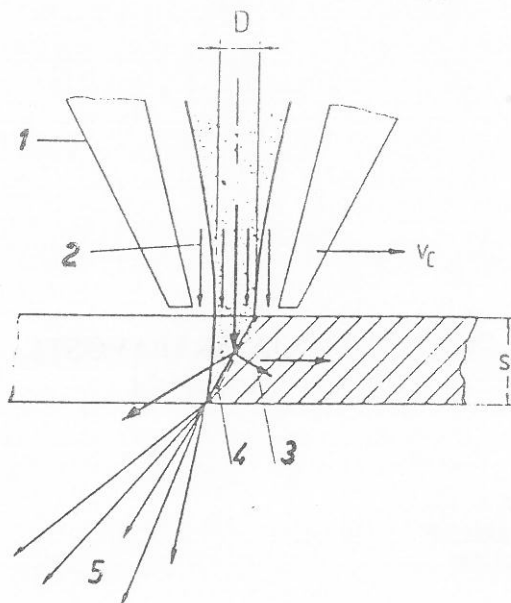
1. UVOD

Danas se smatra ravnopravnom metodom u odnosu na ostale postupke obrade površina. Glavna primjena laserskih sistema u metaloprerađivačkoj industriji je za operacije termičke obrade, sečenje metala, sečenje kompozitnih materijala, ležanje i markiranje.

Broja instaliranih lasera jedna trećina se koristi za sečenje materijala. Sečenje se radi CO₂ laseri (96% od svih lasera) za sečenje kontinualnim i impulsnim zračenjem. Efektivnost korištenog dejstva 60-70% i zračenje talasne dužine 10,6 μ m.

Sečenje materijala, koji se koristi za sečenje materijala, sastoji se od CO₂ lasera, koji je korijen obradnog sistema odnosno robota, koji služe za pozicioniranje radnog predmeta. Fizički procesi materijala laserom moguće je izvesti na tri načina: (i) isparavanjem materijala radnog predmeta pod zračenjem, (ii) topljenjem materijala radnog predmeta u prisustvu inertnog gasa, (iii) topljenjem materijala radnog predmeta u prisustvu aktivnog gasa. Na slici 1 prikazani su procesi sečenja materijala CO₂ laserom.

Sečenje laserom ima više prednosti u odnosu na klasične postupke sečenja materijala. Širina reza je mala, površina reza su ravne, termički deformisani sloj je mali, moguće je seći radne predmete sa komplikovanim konturama sa velikom preciznošću, moguća je obrada svih vrsta materijala, obrada nije potrebna, čist je i ekološki prihvatljiv proces obrade. Iz tog razloga može se utvrditi zakonitosti u vezi kvaliteta obradjenih površina kako bi se predviđalo njihovo predviđanje.



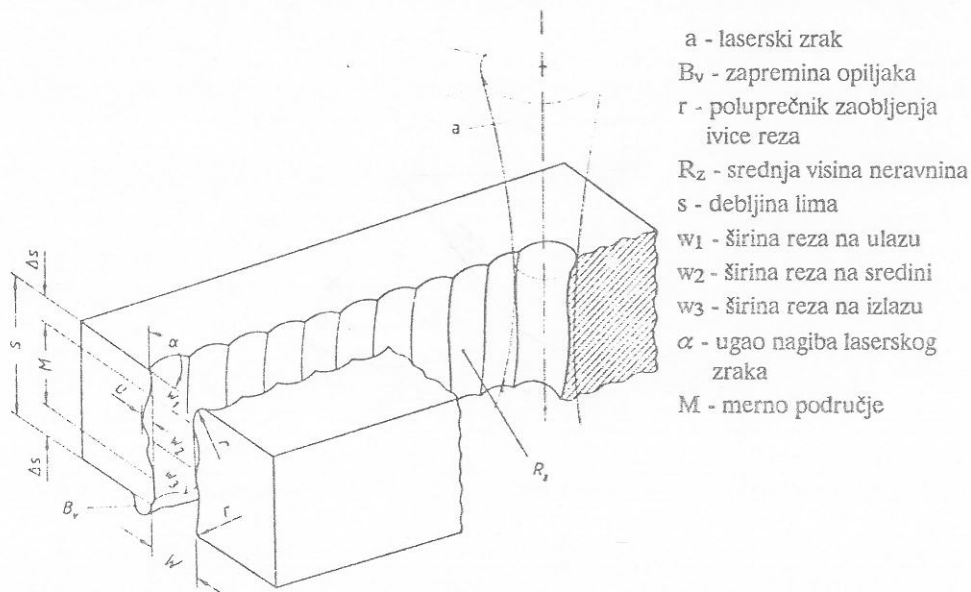
1. Gasna dizna
2. Gas (vazduh, O_2 , N_2)
3. Gubici toplote
4. Rastopljeni materijal
5. Odvodjenje rastopljenog materijala

Sl.1: Osnovni model procesa sečenja materijala CO laserom

2. HRAPAVOST POVRŠINE OBRADJENE CO_2 LASEROM

Na površini radnog predmeta obradjenog CO_2 laserom uočava se specifičan oblik neravnina. Ove neravnine u obliku zljebova ili brazdi pravilnog oblika posledica su oblika laserskog zraka i relativnog kretanja radnog predmeta. Na slici 2 prikazan je izgled neravnina na površini radnog predmeta obradjenog CO laserom.

Pod hrapavošću površine podrazumevaju se mikogeometrijske neravnine u obliku periodičnih profila nastalih usled relativnog kretanja laserskog zraka i radnog predmeta (makrohrapavost) i mikogeometrijska odstupanja od osnovnog oblika periodičnog profila (mikrohrapavost). Hrapavost obradjene površine bi se morala posmatrati trodimenzionalno, međjutim u praksi to se svodi na dve dimenzije istraživanjem pojedinih preseka kroz površinu. Hrapavost površine obradjene CO laserom može se posmatrati u pravcu pomoćnog kretanja i u pravcu koji je normalan na pravac pomoćnog kretanja. Hrapavost u pravcu pomoćnog kretanja može se matematički modelirati jer predstavlja pregledniju pojavu i može se približno odrediti na osnovu geometrije laserskog zraka i kinematike rezanja. Hrapavost u pravcu koji je normalan na pravac pomoćnog kretanja predstavlja kompleksnu pojavu koja se teško može podvrgnuti sistematskoj matematičkoj analizi.



Sl.2: Osnovni model za određivanje parametara hrapavosti površine obradjene CO₂ laserom.

3. TEORIJSKI MODEL ODREĐJIVANJA HRAPAVOSTI POVRŠINE OBRADJENE CO₂ LASEROM

Pri sečenju CO₂ laserom sa kontinualnim režimom rada moguće je da se iz geometrijskih odnosa uspostavi očekivana teorijska vrednost srednje visine neravnina R u pravcu pomoćnog kretanja. Na slici 3 prikazan je osnovni model za određivanje parametra hrapavosti R_{zt} u pravcu pomoćnog kretanja kod sečenja CO₂ laserom.

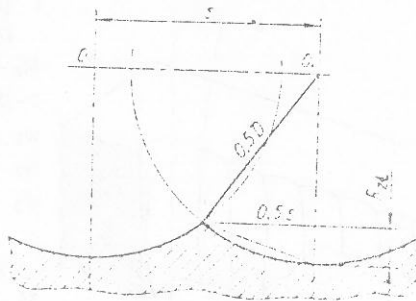
$$R_{zt} = \frac{D}{2} \cdot (1 - \sqrt{1 - k^2}) \quad (1)$$

gde je:

D (mm)- prečnik elementarnog otvora

k = - - koeficijent prekrivanja

s (mm)- hod relativnog pomeranja laserskog zraka



Sl.3: Osnovni model za određivanje parametra hrapavosti R_z u pravcu pomoćnog kretanja kod sečenja CO_2 laserom.

Iz izraza (1) vidi se da hrapavost površine zavisi od prečnika elementarnog otvora D i hoda s , pri čemu je sa povećanjem hoda brži rast visina neravnina nego što je to slučaj sa povećanjem prečnika elementarnog otvora. Maksimalnim hodom $s=D$ obezbeđuje se najveća brzina sečenja materijala ali je i hrapavost obradjene površine najveća.

Za tačniju ocenu hrapavosti površine obradjene CO_2 laserom uvodi se faktor korekcije K , eksperimentalno određen, tako da izraz za srednju visinu neravnina R_z ima oblik:

$$R_z = K \cdot R_{zt}$$

(2)

Teorijska veličina hrapavosti površine koja proističe iz geometrijskog razmatranja procesa sečenja CO_2 laserom predstavlja idealizovanje. Mnogo uzroka dovodi do odstupanja u odnosu na očekivanu vrednost parametra hrapavosti: kvalitet optičkog sistema za fokusiranje, centriranje laserskog zraka, položaj fokusa, gustina snage laserskog zraka, brzina sečenja, uklanjanje i očvršćavanje rastopine na zidovima reza, vrsta i pritisak dodatnog gasa, energija hemijskog procesa oksidacije oslobođena u procesu sečenja, apsorpciona sposobnost i toplotna provodnost materijala radnog predmeta, način hlađenja materijala u zoni obrade itd.

4. ZAKLJUČAK

Postavljeni matematički model za određivanje srednje visine neravnina R_z pokazuje da hrapavost površine obradjene CO_2 laserom zavisi od geometrije laserskog zraka i parametara režima obrade, pri čemu sa povećanjem hoda relativnog pomeranja laserskog zraka brže raste visina neravnina nego što je to slučaj sa povećanjem prečnika elementarnog otvora.

5. LITERATURA

Meyer, B.E.: Schnittfungen genauer und weniger aufgehörtet, Laser-Praxis, Juni 1989, L18-20.

Schafer, P.: Metalle gepulst flexibel und präzise schneiden, Laser-Praxis, Juni 1989, L55-59.

Kovalenko, S.V.: Obrabotka materialov impulsnim izlučeniem lazerov, I.O. "Viša škola", Kiev, 1977.

THEORETICAL MODEL FOR DETERMINATION ROUGHNESS SURFACE TREATED BY LASER CUTTING

SUMMARY

Surface roughness is an important criterion for the quality of the laser cut. In this paper is presented an theoretical consideration and analysis the surface roughness treated by laser cutting.

TENDENCIJE RAZVOJA KONSTRUKCIJA ALATNIH MAŠINA

Dr Momir Šarenac Mašinski fakultet Sarajevo- Lola Institut-Beograd

As. Živković Darko Mašinski fakultet Sarajevo

1. UVOD

Mašinogradnja je generator razvoja celokupne industrije, a industrija alatnih mašina njen najvažniji segment. Razvoj i proizvodnja alatnih mašina su značajni pokazatelji razvijenosti privrede svake zemlje. Industrijski najrazvijenije zemlje su i najveći proizvođači alatnih mašina (SAD, Japan, ZND, V. Britanija, Italija, Švajcarska itd.). Jugoslavija je do pre par godina zauzimala visoko 11-mesto u svetu po proizvodnji alatnih mašina čija je vrednost iznosila oko 500.000 USA \$, a kada bi se poredenje izvršilo uzimajući u obzir i broj stanovnika onda bi to mesto bilo i još više. Ovaj podatak pokazuje da Jugoslavija ima solidnu tradiciju u proizvodnji alatnih mašina a i da može pratiti savremene tendencije u istraživanju, razvoju i proizvodnji. U mehaničkom delu konstrukcije alatne mašine ne dešavaju se revolucionarne promene, pogotovo tamo gde se ne menja tendencija, ali ipak ima značajnih poboljšanja u konstrukciji o čemu će biti govora u ovom radu.

REZIME

U radu se nešto šire tretira modulna gradnja glavnih vretena, primena keramike, betona i polimerbetona u izradi delova alatnih mašina. Posebno se naglašavaju rezultati modulne gradnje vitalnih sklopova kao što je na pr. glavno vreteno. Ukazuje se na dostignuta i dalja istraživanja povećanja broja obrtaja glavnog vretena primenom savremenijih uležištenja. Postignuti rezultati primenom hibridnih ležajeva su ohrabrujući pri čemu konstrukcija uležištenja ostaje praktično kao i kod čeličnih ležajeva. Za još veće brojeve obrtaja istražuje se ekonomična primena magnetnih i vazdušnih uležištenja. Rezultati istraživanja i već stečena iskustva u izradi postolja alatnih mašina od armiranog ili polimerbetona pokazuju da su ovi materijali, a naročito polimerbeton, postali nezaobilazni kod sve većeg broja renomiranih fabrika alatnih mašina.

Abstract:

In this article an expected ways development structure machine tools are cited. Especially results assembly of prefabricated machine, essential parts as like main spindle. Further reseach to increasing speed pf rotations spondle with applications modern bearings is attained aut it should be to emprasize an important. Attained results with applications hybrid bearings are satisfied. White the bearing constuction stay practical like steel bearings. For more larger speed of rotation economical application magnetics and air beargings. The results of research, and previous expiriance in manufacturing supports of machine tools from impregnation or polymer compounded concrete were showing, thalt these mateaterials, esspecially polymer compounded concrete by mostly renowned machine tools factory were

2-167

2. OČEKIVANI PRAVCI RAZVOJA ALATNIH MAŠINA

Bez obzira da li se mašina u proizvodnom lancu nalazi kao pojedinačna ili je u fleksibilnoj proizvodnoj ćeliji ili u fleksibilnom proizvodnom sistemu njene konstruktivno-tehnološke karakteristike su uvek vrlo značajne.

Posmatrano sa šireg aspekta problematika razvoja alatnih mašina obuhvata celine:

- konstrukciju
- upravljanje
- međuoperacijski transport

Izvedena konstrukcija mašine je redovno rezultat kompromisa zahteva ove tri celine. Radi ilustracije navodimo pr. kompromisno određivanje položaja glavnog vretena ako se predviđa da će mašina biti posluživana roboto. Poznata je takođe, zavisnost između upravljanja i tačnosti mašine. Zaoštavanjem zahteva na kvalitet i ce gotovih proizvoda povećavaju se i zahtevi na alatne mašine na kojima se vrši izrada tih proizvoda. Jedan od bitnih faktora kvaliteta je tačnost dimenzija i oblika proizvoda koji opet zavise od tačnosti mašine. Danas se traži postizu tolerancije i do $0,5 \mu\text{m}$, kao što je napr. tolerancija otvora dizne za izradu optičkih vlakana.

Savremene alatne mašine treba da zadovolje:

- visoku tačnost
- visoku produktivnost
- dobru funkcionalnost
- smanjenu masu
- lako posluživanje
- dovoljnu trajnost
- nizak utrošak snage
- nisku buku i vibracije
- prihvatljivu cenu

Pored ovih mašina treba da zadovolji i ostale kriterijume;

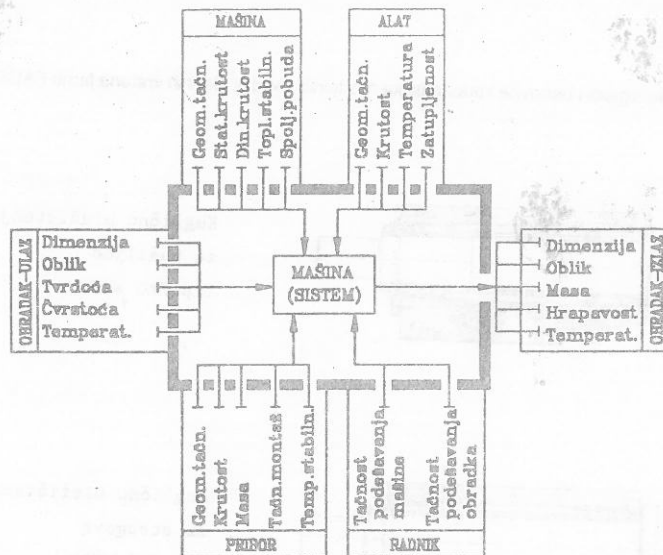
- estetske
- sociološke
- pravne itd.

Mašina je složen oscilatorni sistem gde se u radu pod uticajem promenljivih spoljnih opterećenja deformišu mašina, alat, pribor i obradak. Uticaj radnika kada on poslužuje mašinu je takođe prisutan i utiče na konačan obradak. (sl.1).

Među prioritetne pravce razvoja alatnih mašina, sa aspekta mehaničkog dela konstrukcije, spadaju:

- povećanje tačnosti
- povećanje brzine rezanja
- modulna gradnja
- primena nekonvencionalnih materijala

Povećanje tačnosti postiže se povećanjem statičke i dinamičke krutosti vitalnih sklopova i celine, ali ostaje i dalje izazovna mogućnost povećanja tačnosti odgovarajućim vođenjem oštrice alata konturom obratka, što se rešava i numeričkim upravljanjem. Da bi se tačnost mašine obezbedila prvenstveno elementima numeričkog upravljanja i uz dosta elastičan mehanički deo mašine biće potrebno znatno povećati brzinu električnih signala.



Sl.1

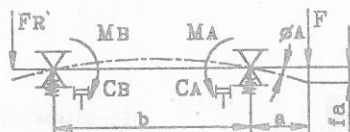
3. RAZVOJ GLAVNIH VREtenA

Svaki od elemenata i sklopova alatne mašine utiče na tačnost, ali glavno vreteno ima odlučujuću ulogu. Tačnost glavnog vretena definiše se krutošću:

- statičkom $C = F/f$

- dinamičkom $C_{din} = F_{din}/f_{din}$

Za tačne proračune potrebno je uzeti kompleksan mehanički model (sl.2).



Sl.2.

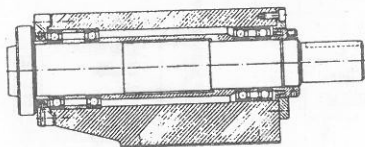
U naučnoj i stručnoj literaturi poznata su dva kriterijuma statičke krutosti glavnog vretena:

- konstrukcioni
- tehnološki

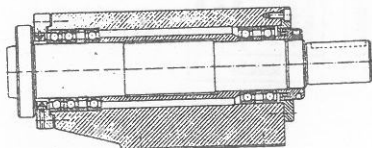
Kod konstrukcionog kriterijuma krutost je ograničena veličinom napona na elementima ležaja ili zupčanika u međurasponu, a kod tehnološkog veličinom deformacija na mestu delovanja sile rezanja,

Najstrožije preporučene vrednosti statičke krutosti iznose do 400 N/μm za najtačnije mašine. Koliki je značaj glavnog vretena na tačnost alatne mašine pokazuje i stalna naučna i stručna aktivnost ovog sklopa. Neke veoma poznate fabrike ležajeva otišle su još dalje u izučavanju ovog problema i razvile i proizvele čitavu familiju glavnih vretena alatnih mašina sa znatno poboljšanim osnovnim

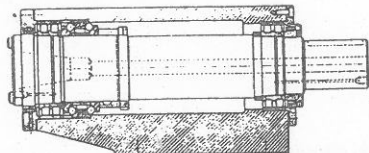
Na sl.3 dati su izgledi i osnovne karakteristike modularnih izvedbi glavnih vretena firme FAGSl. 3



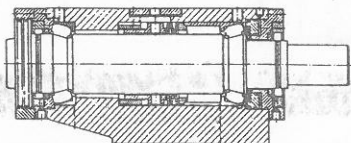
Kuglično uležištenje
za bušilice
Tip FAG WSO



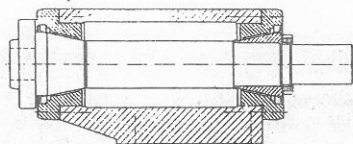
Kuglično uležištenje
za strugove
Tip FAG WSTO



Valjkasto uležištenje
za glodalice
Tip FAG WZA



Hidrodinamičko uležištenje
za bušilice, strugove i glodalice
Tip FAG HDKO



Hidrostatičko uležištenje
za bušilice, strugove i glodalice
Tip FAG HSKO

2-170

Ova fabrika razvila je modularnu gradnju glavnih vretena za osnovne grupe mašina:

- bušilice
- strugove
- glodalice

Stalnim istraživanjem i razvojem glavnih vretena znatno je poboljšana krutost a u praksi proverena rešenja opravdala su modularnu gradnju.

Najčešća konvencionalna uležištenja su sa kugličnim, valjkastim, hidrodinamičkim hidrauličkim ili hidrostatičkim ležajevima.

Dalji značajniji napredak u poboljšanju karakteristika glavnih vretena očekuje se u primeni:

- hibridnih ležajeva
- magnetnog uležištenja
- vazdušnog uležištenja

Najveće realne mogućnosti skore primene u eksploataciji imaju hibridni ležajevi. Magnetna uležištenja su još u fazi istraživanja, a vazdušna, i pred sličnosti sa hidrostatičkim, još nemaju širu primenu.

Hibridni ležaj ima prstenove urađene od kvalitetnog čelika (odgovara JUS-u 4636), kotrljajna tela od industrijske keramike, a kavez najčešće od platične mase, (poliamid).

Već sada ima više vrsta industrijske keramike koja se koristi za izradu elemenata mašina i uređaja, pa i ležajeva, i može se podeliti na:

a) oksidnu

- aluminijum oksid (Al_2O_3)
- cirkonijumoksid (ZrO_2)

b) neoksidnu

- silicijum karbid (SiC)
- silicijum nitrid (Si_3N_4)
- bornitrid (BN)
- borkarbid (B_4C)

Za poboljšanje pojedinih osobina dodaju se oksidi mangana, molibdena, berilijuma, kadmijuma i još nekih elemenata.

Tehničke karakteristike keramičkih materijala međusobno se razlikuju, ali kod poređenja sa kvalitetnim čelikom daćemo srednje vrednosti u tabeli 4.

Industrijska keramika se dobro obrađuje i zaviso od vrste obrade mogu se postići sledeće veličine Ra:

- | | |
|----------------------------|--------------------|
| - sinterovanjem | Ra=0,4-1,4 μm |
| - brušenjem i lepolovanjem | Ra=0,4-0,8 μm |
| - poliranjem | Ra=0,1-0,3 μm |

Loše osobine keramike su:

- slaba zatezna čvrstoća
- osetljivost na udare
- osetljivost na koncentraciju napona
- osetljivost na toplotni šok

Za izradu kotrljajnih tela najviše se koristi silicijum nitrid. Dodatak cirkonijuma povećava otpornost na udare. Poznato je da je kotrljajno telo najopterećeniji element ležaja, pa upotrebom industrijske keramike koja ima veći modul elastičnosti, veću tvrdoću i manju specifičnu masu (manje centrifugalne sile) manje trenje i veću otpornost na agresivne medijetakav ležaj postaje kvalitetniji

2-171

VRETEA ZA BUŠILICE

Tabela 1

| Velicina vretena Glava vretena prema DIN55021 DIN2079 | Valjkasto ulezistenje | | | | | Hidrodinam. ulezistenje | | | | | Hidrostat. ulezistenje | | | | |
|---|-----------------------|------------------------------------|------|--------------------------------------|---------|-------------------------|------------------------------------|------|--------------------------------------|---------|------------------------|------------------------------------|------|--------------------------------------|---------|
| | Oznaka | Prečnik vretena na mestu lezaja | | Radialna krivost na kraju vretena | | Oznaka | Prečnik vretena na mestu lezaja | | Radialna krivost na kraju vretena | | Oznaka | Prečnik vretena na mestu lezaja | | Radialna krivost na kraju vretena | |
| | FAG | mm | N/mm | rad/mm | akos/mm | FAG | mm | N/mm | rad/mm | akos/mm | FAG | mm | N/mm | rad/mm | akos/mm |
| 3 | WS03 | 50 | 100 | 2 | 15 | HDK03 | 60 | 150 | 1 | 1 | HSK03 | 55 | 130 | 0,5 | 0,5 |
| 4 | WS04 | 65 | 200 | 2 | 15 | HDK04 | 70 | 230 | 1 | 1 | HSK04 | 70 | 200 | 0,5 | 0,5 |
| 5 | WS05 | 85 | 300 | 2,5 | 15 | HDK05 | 100 | 300 | 1 | 1 | HSK05 | 100 | 330 | 0,5 | 0,5 |
| 6 | WS06 | 120 | 500 | 3 | 2 | HDK06 | 110 | 370 | 1 | 1 | HSK06 | 120 | 550 | 0,6 | 0,6 |
| 8 | WS08 | 150 | 650 | 3 | 2 | HDK08 | 150 | 480 | 1 | 1 | HSK08 | 150 | 750 | 0,8 | 0,8 |
| 11 | WS011 | 190 | 800 | 4 | 2 | HDK011 | 200 | 620 | 1 | 1 | HSK011 | 190 | 1000 | 1 | 1 |

VRETEA ZA STRUGOVE

Tabela 2

| Velicina vretena Glava vretena prema DIN55021 DIN2079 | Valjkasto ulezistenje | | | | | Hidrodinam. ulezistenje | | | | | Hidrostat. ulezistenje | | | | |
|---|-----------------------|------------------------------------|------|--------------------------------------|---------|-------------------------|------------------------------------|------|--------------------------------------|---------|------------------------|------------------------------------|------|--------------------------------------|---------|
| | Oznaka | Prečnik vretena na mestu lezaja | | Radialna krivost na kraju vretena | | Oznaka | Prečnik vretena na mestu lezaja | | Radialna krivost na kraju vretena | | Oznaka | Prečnik vretena na mestu lezaja | | Radialna krivost na kraju vretena | |
| | FAG | mm | N/mm | rad/mm | akos/mm | FAG | mm | N/mm | rad/mm | akos/mm | FAG | mm | N/mm | rad/mm | akos/mm |
| 3 | WST03 | 50 | 130 | 2 | 15 | HDK03 | 60 | 150 | 1 | 1 | HSK03 | 55 | 130 | 0,5 | 0,5 |
| 4 | WST04 | 65 | 250 | 2 | 15 | HDK04 | 70 | 230 | 1 | 1 | HSK04 | 70 | 260 | 0,5 | 0,5 |
| 5 | WST05 | 85 | 330 | 2,5 | 15 | HDK05 | 100 | 300 | 1 | 1 | HSK05 | 100 | 330 | 0,5 | 0,5 |
| 6 | WST06 | 120 | 600 | 3 | 2 | HDK06 | 110 | 370 | 1 | 1 | HSK06 | 120 | 550 | 0,6 | 0,6 |
| 8 | WST08 | 150 | 800 | 3 | 2 | HDK08 | 150 | 480 | 1 | 1 | HSK08 | 150 | 750 | 0,8 | 0,8 |
| 11 | WST011 | 190 | 1000 | 4 | 2 | HDK011 | 200 | 620 | 1 | 1 | HSK011 | 190 | 1000 | 1 | 1 |

VRETEA ZA GLodalICE

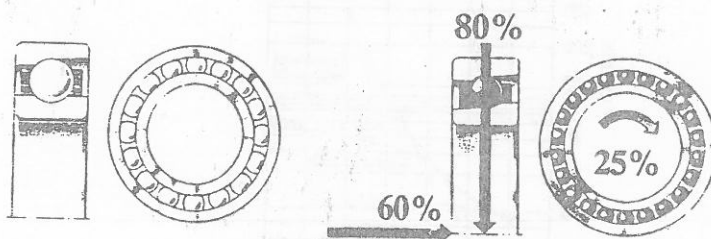
Tabela 3

| Velicina vretena Glava vretena prema DIN55021 DIN2079 | Valjkasto ulezistenje | | | | | Hidrodinam. ulezistenje | | | | | Hidrostat. ulezistenje | | | | |
|---|-----------------------|------------------------------------|------|--------------------------------------|---------|-------------------------|------------------------------------|------|--------------------------------------|---------|------------------------|------------------------------------|------|--------------------------------------|---------|
| | Oznaka | Prečnik vretena na mestu lezaja | | Radialna krivost na kraju vretena | | Oznaka | Prečnik vretena na mestu lezaja | | Radialna krivost na kraju vretena | | Oznaka | Prečnik vretena na mestu lezaja | | Radialna krivost na kraju vretena | |
| | FAG | mm | N/mm | rad/mm | akos/mm | FAG | mm | N/mm | rad/mm | akos/mm | FAG | mm | N/mm | rad/mm | akos/mm |
| 3 | WZA3 | 50 | 300 | 4 | 9 | HDK03 | 60 | 200 | 1 | 1 | HSK03 | 55 | 130 | 0,5 | 0,5 |
| 4 | WZA4 | 65 | 600 | 4 | 3 | HDK04 | 70 | 280 | 1 | 1 | HSK04 | 70 | 200 | 0,5 | 0,5 |
| 5 | WZA5 | 85 | 900 | 5 | 4 | HDK05 | 100 | 350 | 1 | 1 | HSK05 | 100 | 330 | 0,5 | 0,5 |
| 6 | WZA6 | 120 | 1300 | 6 | 4 | HDK06 | 110 | 420 | 1 | 1 | HSK06 | 120 | 550 | 0,6 | 0,6 |
| 8 | WZA8 | 150 | 1800 | 6 | 5 | HDK08 | 150 | 550 | 1 | 1 | HSK08 | 150 | 750 | 0,8 | 0,8 |
| 11 | WZA11 | 190 | 2150 | 7 | 5 | HDK011 | 200 | 700 | 1 | 1 | HSK011 | 190 | 1000 | 1 | 1 |

2-172

| Osobina | Materijal čelik | Materijal keramika |
|-------------------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Tvrdoća (Vikers) | 1200 | 2100-2300 |
| Modul elas. (MPa) | 2100 | č 3500 |
| Spec. masa (gr/cm ³) | 7,8 | 3,9 |
| Maks. radna temp. °C | 300 | 2000 |
| Koef.top. izduženja m/m°C | (20-30)10 ⁻⁶ | (7-9) - 10 ⁻⁶ |
| Koef. trenja | 0,1-0,15 | 0,03-0,04 |

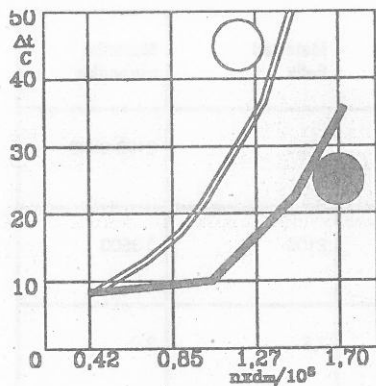
..Na sl.4 /15/ prikazan je izgled standardnog i hibridnog ležaja.



SL 4

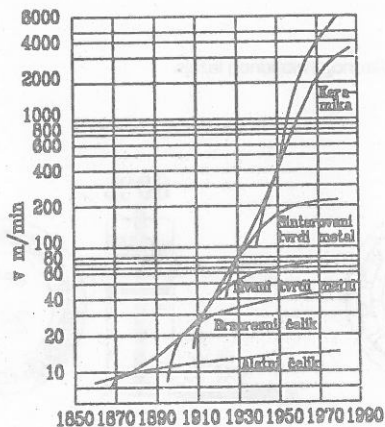
Ispitivanja zagrijavanja vretena alatnih mašina sa ležajevima od keramike pokazala su znatne prednosti nad klasičnim (sl5) /15/.

2-173



Sl. 5

Keramika se uspešno primenjuje za izradu i drugih delova alatnih mašina; klizača, zupčanika, zaptivača isl. Povećanje broja obrtaja glavnog vretena alatne mašine jedan je od uslova za povećanje brzine rezanja. Očekivani trend porasta brzine rezanja vidi na sl. 6 /13/



Sl. 6

Prema [6] do kraja ovog veka očekuje se brzina rezanja i do 10.000 m/min. Laboratorijska ispitivanja u Lockheed-u pokazala su da se metali mogu obrađivati i sa brzinom od 35000 m/min. Pored problema uležištenja realizacija povećanih brzina rezanja (tamo gde je to opravdano) zavisna je i od vrste materijala i geometrije alata. Ipak puna realizacija brzina rezanja biće omogućena, verovatno, bezkontaktnim uležištenjima; magnetnim ili vazдушnim.

4. RAZVOJ POSTOLJA ALATNIH MAŠINA

Osnovne tendencije razvoja postolja alatnih mašina idu u dva osnovna pravca:

- oblikovanje
- primena nekonvencionalnih materijala

Kod oblikovanja postolja alatnih mašina treba da budu zadovoljeni svi već poznati kriterijumi; dimenzije, masa, čvrstoća, oslanjanje na podlogu, ali u zadnje vreme i dodatni uslov da se iz postolja odstrane svi izvori toplote te da se tako smanje toplotne deformacije mašine.

Ovaj zahtev je često suprotan aspektu estetskog izgleda pa se kao i u drugim sličnim slučajevima traži kompromisno rešenje.

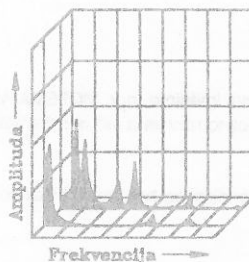
Za izradu postolja koristi se:

- čelik (zavarena konstrukcija)
- čelični liv
- liveno gvožđe
- armirani beton
- polimerbeton
- plastika
- kombinacija više materijala

Beton je bio jedna prolazna faza izgradnje postolja alatnih mašina sa mirnijim režimima rada. Armirani beton, polimerbeton i plastične mase i njihova kombinacija predstavljaju nekonvencionalne materijale i primeruju se iz dva razloga:

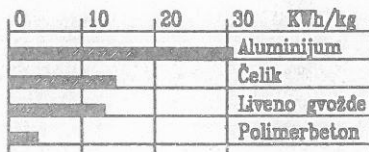
- znatno poboljšanje prigušenja mašine
- niža cena izrade

Na slici 7 /3/ prikazani su odzivi dinamički pobuđene konstrukcije od polimerbetona i sivog liva.



Sl. 7

Na sl.8 /4/ data je uporedna tabela utrošenog rada po jedinici mase za različite materijale.



Sl. 8

Pored evidentne prednosti polimerbetona, i po ovom pokazatelju, ne treba zaboraviti ni veoma štetno delovanje livnica na zagađenje okoline kada se postolje radi od čeličnog liva ili livenog gvožđa.

Primena plastičnih masa koristi se za izradu oklopa lakših mašina (pisaće i sl.), a retko za postolja alatnih mašina.

U svetu se danas koriste dve osnovne grupe tehnologija za izradu postolja alatnih mašina od nekonvencionalnih materijala.

a) armirani beton

- klasična armatura
- gusto rasporedene tanke čelične žice
- gusto rasprostranjene tanke nemetalne niti

b) polimerbeton sa više vrsta smola

- metilmetakrilati
- karbamidi
- fenoli
- poliefiri
- furani
- acetonformaldehidi
- epoksidi
- poliesteri

Ovi materijali dolaze u trgovinu pod različitim imenima (npr. MOTEMA-AC i dr.) Armirani beton koriste zemlje gde nije dovoljno razvijena industrija smola.

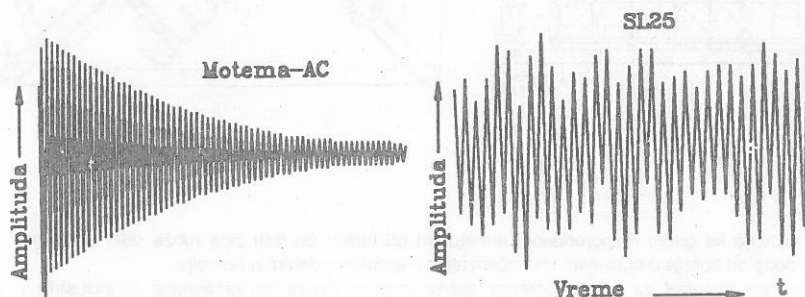
Na slici 9 prikazano je postolje struga od armiranog betona sa klasičnom armaturom.

2-176

Postoje izvesne razlike u pojedinim osobinama polimerbetona zavisno od vrste primenjene smole. Polimerbeton se lako formira u kalupima, nema zaostalih naprezanja, a vreme stabilizacije iznosi samo 24 časa.

Vreme stabilizacije armiranog betona iznosi 20-25 dana, a kod odlivaka i pored napretka u tehnologiji, ovo vreme još uvek je znatno duže u odnosu na polimerbeton. Bez poteškoća iz polimerbetona se mogu izlupati postolja sa velikim gabaritima; na pr. 5,5x3,5x1,5 m.

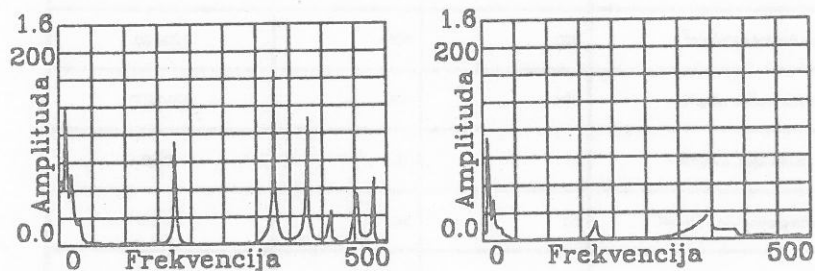
Na slici 10 /3/ dat je uporedni snimak prigušenja u polimerbetonu-MOTEMA-AC i sivom livu.



Sl. 10

Zalivanjem čeličnih ili livenih konstrukcija betonom ili polimerbetonom mogu se znatno poboljšati prigušna svojstva konstrukcija.

Na slici 11 /5/ prikazani su efekti zalivanja konstrukcija polimerbetonom.



Sl. 11

2-178

5. ZAKLJUČCI

Osnovni pravci istraživanja i razvoja mehaničkog dela konstrukcije alatne mašine su:

- šira primena modularne gradnje sklopova i sistema sa posebnim naglaskom na glavno vreteno i pogonske sisteme
- primena industrijske keramike u izradi delova ležajeva, klizača, zupčanika, zaptivača i drugih elemenata gde keramika kao materijal ima prednosti
- primena nekonvencionalnih materijala sa izraženim prigušnim osobinama kod izrade postolja alatnih mašina. Ovdje se prvenstveno misli na polimerbeton i armirani beton
- povećanje brzine rezanja. Ovaj zadatak će se rešavati kroz dva osnovna zadatka; istraživanje mogućnosti povećanja broja obrtaja glavnog vretena i istraživanje postojanosti oštrice alata za obradu metala povećanim brzinama rezanja.
- za još veće povećanje broja obrtaja koristeće se magnetni ležajevi ili vazdušno uležištenje
- biće prisutna i značajnija potreba istraživanja toplotnog ponašanja alatnih mašina
- za posebne vrste obrade od značaja su specijalni načini oslanjanja mašina na podloge i uticaj radnog ambijenta na pojedinačne mašine.

LITERATURA:

- /1/ H. Grab i dr.: Beton im Werkzeugmaschinenbau. Werkstatt und Betrieb 109 (1976)
/2/ P. Dietz : Baukastensystematik und methodisches Konstruieren in Werkzeugmaschinenbau, Werkstatt und Betrieb 116 (1983)
/3/ P. Kobilschek: Motema-AC Der nichttalsche Gusswerkstoff. 4 Jahre nach dessen Vorstellung. Colloquium Polymerbeton 6. EMO '85, Hannover, 1985.
/4/ R. Kwasny i dr. : Einer neuer Werstoff in Werkzeug-maschinenbau : Neu Werkstoffe", 1986.
/5/ D. Orban: Punjenje betonom postolja alatnih strojeva od sivog lijeva, BIAM '90, Zagreb, 1990
/6/ V. Milačić: Mašine alatke I i II. Beograd, 1981.
/7/ V.V. Poturoev: Naučno-istraživački institut betona i železobetona NIIŽB. Strojizdat, Moskva, 1987
/8/ E. Salje i dr: Werkzeugmaschinen-gestelle aus Grauguss oder Polymerbeton. VDI-z, Bd 128 (1986) Nr 15/10/
9/ H. Schulz: Polymerbeton in Werkzeugmaschinenbau. Proc. Polymerbeton Zurich, Marx '83 Technische Akademie Wuppertal
/10/ M. Šarenac i dr.: Primjena i karakteristike betona u izgradnji postolja alatnih mašina, BIAM '88, Zagreb, 1988.
/11/ M. Šarenac i dr.: Primjena industrijske keramike kao konstrukcionog materijala, BIAM '90, Zagreb, 1990
/12/ M. Šarenac: Determination of peak stresses on roller bearings. ICED '90, Dubrovnik, 1990.
/13/ M. Weck: Werkzeugmaschinen-Stand und Tendenzen. "Kugellager-Zeitschrift" No 208.
/14/ M. Weck: Reaktionsharz-beton-Alternative zum Gusseisen für Maschinengestelle. VDI-z 127 (1985) Nr. 5.S.
/15/ SKF-prospekti: Precision angular contact ball bearings with ceramic balls-a light-weight revolution, EMO '89.
/16/ FAG: Spindeleinheiten für das Bohren-Drehen-Frasen, Publ. Nr. 02102/2 DA.

FLEKSIBILNI PROIZVODNI SISTEM U INDUSTRIJI MALOLITRAŽNIH MOTORA

Lj. Vuletić dipl.ing., glavni projektant

P. Pantelić dipl.ing., direktor projektovanja

REZIME

Poslednjih nekoliko godina u industriji "Ivo Lola Ribar" radi se na realizaciji nekoliko fleksibilnih obradnih sistema. Komponente ovih sistema su standardni proizvodi LOLE RIBA-RA: obradni centri, moduli transporta paleta, radnih mesta za pripremu paleta i stanice za odlaganje paleta. Uporedo tim razvijena je i metodologija upravljanja radom FOS-a.

Jedan od sistema koji je u završnoj fazi montiranja je FOS za izradu delova motora za fabriku "IMT" Knjaževac. Sistem integriše 3 obradna centra, dve revolver viševretene bušilice sa paletnim sistemom, odgovarajući broj pripremnih stanica i stanica za odlaganje paleta povezanih šinskim transportnim vozilom. Ovo objedinjuje centralni upravljački računar dajući sistemu visok nivo automatizacije. Rad opisuje projektovan fleksibilni obradni sistem.

1. UVOD

Poznato je da svetski tehnološki razvoj pravi prekretnicu već krajem četrdesetih godina ovog veka. Dolazi do naglog razvoja svih naučnih grana, istina u prvom redu iz vojnih razloga, ali se ubrzo to koristi za razvoj celokupne privrede. Pošto je industrija alatnih mašina morala biti jedna od prvih pratilaca ekspanzionog razvoja vojne industrije i njenom razvoju je pridavan izuzetan značaj. Građe se prve NC mašine, obradni centri, automatske linije, fleksibilne automatske linije i sistemi pa i "fabrike bez ljudi". U prvim decenijama ovog razvoja primat su držale SAD koje su pratile razvijene zemlje zapadne Evrope i Japan. Ako se pogledaju dostignuća u zadnjoj deceniji bez neke posebne analize se stiče utisak da se taj redosled obrnuo, odnosno da su SAD i Japan zamenili mesta.

Logično je da ovakav trend nije mogla pratiti jedna, na početku ovog perioda, industrijski slabo razvijena zemlja kakva je bila Jugoslavija. Zbog toga do odgovarajućih nivoa u ovom razvoju ovde dolazimo sa zakašnjenjem od približno dvadesetak godina. Tempo ovog razvoja uspešno prati i LOLA RIBAR. Nesumnjivo je da u jugoslovenskim okvirima ova fabrika najviše dostigla u projektovanju mašina za obradu operacijama bušenja, glodanja i unutrašnjeg struganja.

Prvi obradni centar ove vrste je predstavljen 1976 godine. Prateći u to vreme velike potrebe domaćih i inostranih kupaca, uglavnom iz istočnog bloka, za ovim mašinama, razvijena je čitava njihova familija. Paralelno s tim išlo se i konceptu razvoja fleksibilnih obradnih sistema u koje bi bili uključeni ovi obradni centri. Neke pilot fleksibilne ćelije su prikazivane na sajmovima u zemlji i inostranstvu. Međutim, iznenađanje dolazi do zastoja u razvoju LOLA FOS-a jer zbog pada investiranja u zemlji i naših ino kupaca nije postijala mogućnost njihovog plasmana. Jedan od ugovorenih fleksibilnih obradnih sistema je u završnoj fazi realizacije. Konceptija, sastav i mogućnosti ovog FOS-a biće opisani u ovom radu.

2. MESTO FOS-a U OBRADNIM SISTEMIMA

Da bi se smanjilo vreme izrade nekog dela išlo se uglavnom u dva pravca:

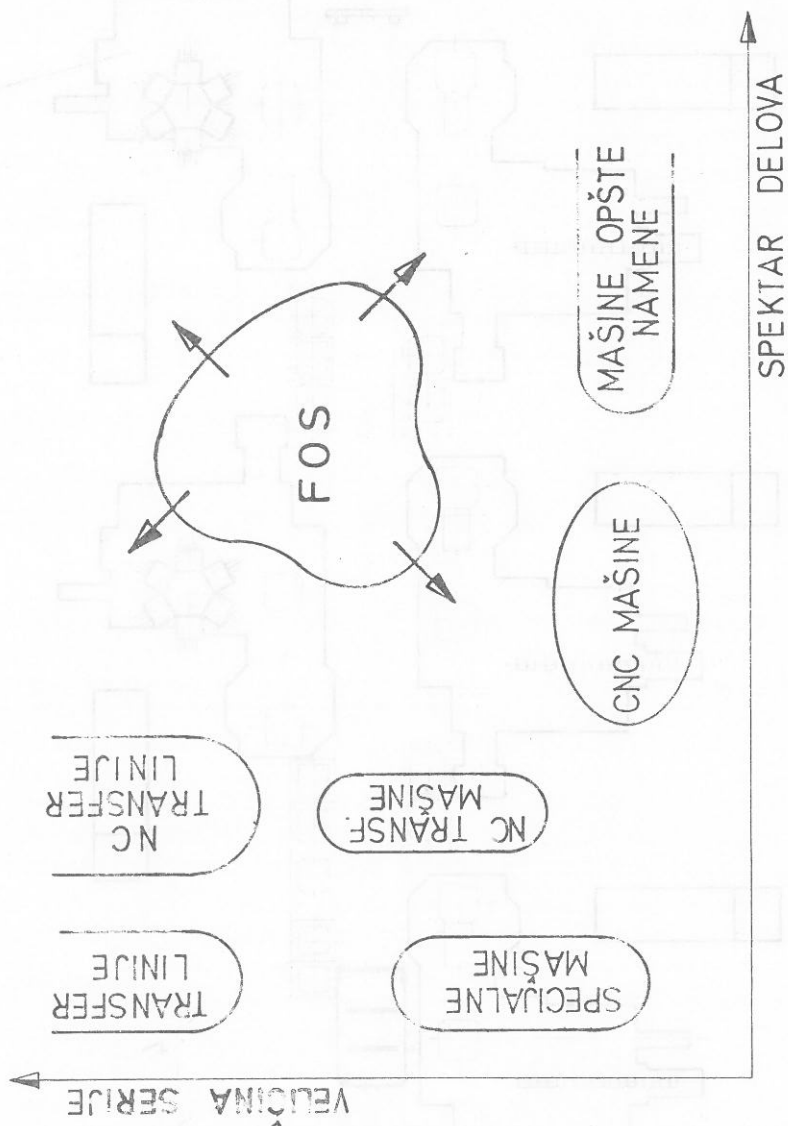
- * poboljšanje kvaliteta reznih alata, radi povećanja režima obrade i
- * smanjenje neproizvodnog i pomoćnog vremena

Pored ovoga na ukupnu proizvodnost mašine utiče i to da li ona radi u drugoj i trećoj smeni, subotom, nedeljom i drugim neradnim danima. Različitim nivoima automatizacije pokušavala su se ova vremena eliminisati ili preklopiti (međusobno ili sa glavnim vremenom obrade). Svakako da je koncepcijom fleksibilnog obradnog sistema na ovom planu najviše postignuto uz istovremeno zadržavanje mogućnosti obrade širokog spektra delova na istim mašinama.

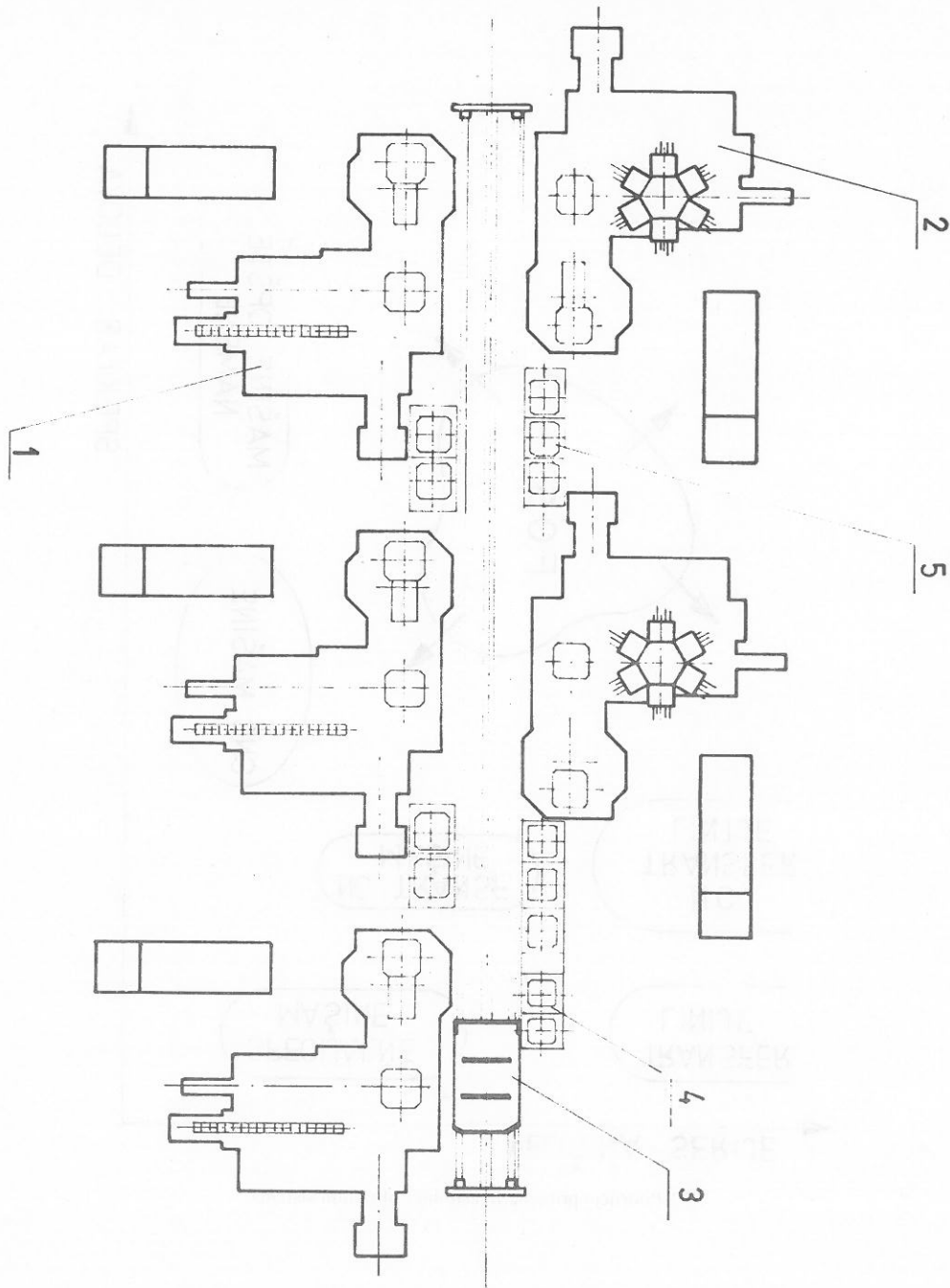
Zbog toga se pri razmatranju mesta FOS-a u koordinatnom sistemu veličina serije-spektar delova (sl.1) može zaključiti da su savremene tendencije razvoja ovih sistema takve da on počinje da zalazi i u područje dojučerašnje neprikosnovenosti transfer linija repna obrada sistema.

Široka primenljivost fleksibilnih obradnih sistema je doprinela da se oni proizvode u velikom broju i da se njihov broj danas meri hiljadama instalisanih sistema, uglavnom u fabrikama razvijenih zemalja. Tek poslednjih nekoliko godina oni počinju da budu stvarnost i u industrijama istočnih zemalja bilo kao uvezena tehnologija bilo kao rezultat razvoja tamošnje industrije alatnih mašina.

Kao dokaz ovakvih trendova je i to što upravo FOS koji je u fazi realizacije upravo namenjen za industriju motora gde je proizvodnja takva da se može svrstati najmanje u srednje serijsku.



SI.1 Područje primene fleksibilnih obradnih sistema



Sl.2 Dispozicija FOS-a FLEXI 50-5

3. LOLA FOS FLEXI 50-5

Dispozicija projektovanog fleksibilnog obradnog sistema na FLEXI 50-5 namenjenog Industriji malolitražnih motora "IMT" Knjaževac data je na slici 2.

Sistem čine:

1. Obradni centar HBG 50 OC+PS.....kom 3
2. Revolver viševretena bušilica sa paletnim sistemom.....kom 2
3. šinsko vozilokom 1
4. Radno mesto za pripremu paletakom 2
5. Stanice za odlaganje paletakom 11
6. Radno mesto za pripremu alata.....nije prikazano
7. Centralni upravljački računarnije prikazan

U prvoj fazi sistem je namenjen za izradu po 25000 delova: glava motora i kućište motora. Posle razrade sistema mogu se u sistem ubacivati i drugi komadi uz promenu kapaciteta ili potpuno promeniti asortiman delova što će mašinski zahtevati samo promenu steznih alata na paletama i novi komplet reznih alata u magacinima.

Tehnološkom analizom za prva dva dela se došlo do rešenja da se delovi moraju obrađivati u po tri različita stezna alata. Izradom planova reznog alata ustanovljen je potreban broj različitih reznih alata i viševretenih glava, što je bilo u skladu sa kapacitetom magacina alata i brojem viševretenih glava. Simulacijom procesa na računaru dobijeni su rezultati na osnovu kojih je zaključeno da je sistem realan.

Obradni centar IIBG 50 OC+PS je mašina koja se već proizvodi preko 10 godina i pouzdano radi u mnogim fabrikama kao pojedinačna. Prilikom njenog uključenja u FOS date su joj još neke mogućnosti:

- opremljena je uređajem za kontrolu loma alata (BALLUFF-ov uređaj sa infracrvenim zracima);
- u nosač reznog alata smešten je: "čip" (takođe BALLUFF-ov) kao nosač informacija o alatu, odnosno za njegovu identifikaciju;
- u magacin alata je smeštena merna sonda "MARPOSS" za povremeno merenje nekih vitalnih dimenzija na obratku;
- palete takođe imaju nosače informacija o svom sadržaju koji se automatski čitaju ili učitavaju;
- upravljačka jedinica pored proširenja mogućnosti praćenja procesa rada pridodatih uređaja mašini još prati "život alata" i ima mogućnost komunikacije sa određenim računaram.

Revolver viševretena bušilica je proistekla iz mašine HBG 50 dodavanjem jednogobrnog stožera sa 6 viševretenih glava umesto stuba sa prenosnikom glavnog kretanja. Za detekciju loma burgije ili navojnih ureznika primenjen je BILZ-ov uređaj sa dojavom signala radio vezom.

Radi ostvarivanja potrebne gustine na slikama bušenja uz postizanje povišene tačnosti međuosnih rastojanja na ovim viševretenim glavama su specijalno za ovaj slučaj ugrađen poseban sistem uležištenja radnih vretena.šinsko vozilo za transport radnih komada u sistemu

na paletama 500x500 mm je savremene konstrukcije i odlikuje se visokim radnim performansama:

- * velika brzina kretanja (preko 60 m/min) i lako zaustavljanje,
- * malo potrebno vreme za prebacivanje palete sa vozila na vozilo,
- * jednostavan sistem upravljanja svim funkcijama.

Radno mesto za pripremu paleta je tako konstruisano i opremljeno da omogućava brzu i laku pripremu paleta sa obradcima. Indeksiranjem paleta u položaje 4x90 poslužiocu su pristupačni svi delovi steznog pribora pa postavljanje obratka, njegova tačna lokacija i sigurno stezanje predstavljaju prvi od uslova da se na kraju procesa obrade dobiju kvalitetni delovi. Stezni pribor je mehanički pa je stoga naročita pažnja poklonjena njegovoj pristupačnosti.

Radna mesta za pripremu palete su opremljena i jednim terminalom koji je povezan sa centralnim računarom i preko koga se potrebne informacije dobijaju i šalju prema njemu.

Stanice za odlaganje su takve konstrukcije da pouzdano vrše svoju funkciju u okviru sistema-akumulaciju paleta koje čekaju na obradu ili skidanje radnih komada.

Podešavanje reznih alata vrši se u posebnoj prostoriji za podešavanje alata UPIH-300/500 PC koji je u odnosu na osnovnu mašinu dopunski opremljen za primenu u fleksibilnim sistemima. Dodat mu je personalni računar i povezan sa centralnim računarom za upravljanje. Ovo omogućuje da se podešeni elementi reznog alata direktno unesu u nosač informacija na alatu ("čip") i kao takvi koriste u procesu obrade tim alatima. Istovremeno se ovim načinom učitava i mogući "život alata" na bazi njegove postojanosti. U početku rada sistema ovo će biti teorijske-očekivane vrednosti što će vremenom preći u stvarne na bazi statistike praćenja zatupljenosti i loma alata.

Centralni upravljački sistem "koordinira" radom obradnih jedinica i šinskim vozilom, odnosno prati proces uz istovremeno predskazivanje toka događaja u sistemu u uslovima njegovog stacioniranog rada-bez ispada iz proizvodnje pojedinih mašina, šinskog vozila ili bilo kog spoljašnjeg uticaja. On prima sve informacije o mašinama, obradcima i reznom alatu i distribuira je korisnicima u obradnom sistemu.

Logika rada centralnog upravljačkog sistema je razvijena u "Lola Institutu" uz obilato korišćenje informacija o radu ovakvih sistema u svetu ali i nekih stečenih iskustava sa upravljanjem fleksibilnim ćelijama koje su pripremane kao sajamski eksponati proteklih godina.

4. ZAKLJUČAK

Uspešna realizacija projektovanog FOS-a treba da pokaže uspešnost dosadašnjeg rada na njegovom razvoju. Njegov pouzdan rad i proširenje asortimana delova ili kapaciteta, što bi trebalo da se ostvari u drugoj fazi njegove nadgradnje biće referenca za buduće kupce i iskustvo za proizvođača za gradnju još složenijih sistema, sa drugim obradnim centrima, za veći asortiman delova i sa još većim tehnološkim zahtevima.

LITERATURA:

LOLA FAM - Interna projektna dokumentacija

EKSPERTNI MODEL ZA DEFINISANJE SETA ALATA U FLEKSIBILNIM TEHNOLOGIJAMA

*dr Ljubomir Lukić, dipl.ing., viši naučni saradnik
Prof.dr Vladimir Šolaja, dipl.ing., savetnik LOLA Institut,
11030 Beograd, Kneza Višeslava 70a*

Expert model for Defining Sets of Tools for FMS Technologies Abstract

Defining sets of tools is one of the main problems in designing and optimizing FMS technologies. Flexible technologies normally performs many different machining operations in various machining conditions. The set of tools must transfer torque and power from the machine tool spindle to the cutting zone in a dynamically stable machining process.

This paper presents an expert model for optimal defining of sets of tools depending on the machining operation, process parameters, machining conditions and the workpiece cutting zone position. The model was realized at the LOLA Institute. It is integrated into the relational database which is a part of the programming system for FMS technologies optimizing.

1.UVOD

U svakoj tehnologiji za CNC obradu, a pogotovo u fleksibilnim tehnologijama koje se realizuju kroz izvođenje više hiljada različitih operacija pri obradi složenih delova u malim serijama, poseban problem predstavlja komponovanje setova alata za svaku operaciju. U LOLA Institutu se razvija specijalni programski sistem za projektovanje i optimizaciju fleksibilnih tehnologija. Unutar tog sistema, implementiran na jedinstvenoj relacionoj bazi tehnoloških podataka i znanja, razvijen je i ekspertni model za automatsko definisanje setova alata, potrebnih za realizaciju kompleksnih tehnoloških zadataka.

Set alata prenosi moment i snagu od glavnog vretena mašine alatke do zone rezanja u obradnom procesu. On se sastoji po pravilu od različitih elemenata komponovanih u jednu celinu koja uvek počinje nosačem sa ISO konusom a završava reznim alatom. Elementi seta alata mogu biti: nosači, produživači, reducirni, adapteri, pribori i rezni alati.

Nosači vezuju set alata sa glavnim vretenom mašine alatke. Izvode se sa nekim od integriranih elemenata koji omogućuje prihvat alata sa sečivom, mada postoje i osnovni nosači koji ne mogu prihvatiti alat bez dodatnih elemenata. Nosači imaju oznaku ISO konusa kojim se vezuju za glavno vreteno.

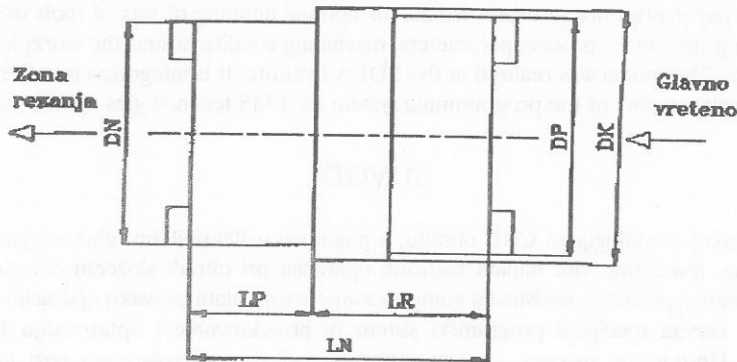
Produživači imaju ulogu da produže set u pravcu Z-ose, od glavnog vretena do zone rezanja, dok se reducirir primenjuju prvenstveno za redukciju prečnika sa većeg na manji. Adapteri sa integriranim dodatnim elementima, ili samostalno prihvataju alat sa sečivom. Adapteri imaju neki od parametara koji definiše prihvat reznog alata. Taj karakteristični parametar ukazuje na tip drške ili tip sečiva alata. Pribori, kao elementi seta služe uglavnom za prihvat reznog alata.

Pod reznim alatom se podrazumeva alat koji je u neposrednom zahvatu sa materijalom obradka. Rezni alat ima sečiva, reznu geometriju i ostvaruje proces skidanja strugotine pomoću glavnog i pomoćnih kretanja.

2. STRUKTURISANJE SETA ALATA

Sa aspekta funkcije pojedinih elemenata, u setu alata mogu biti višestruko komponovani samo produživači i reducirir. Svi ostali elementi mogu biti zastupljeni samo u jediničnim količinama. Struktura svakog seta alata se definiše u smeru od glavnog vretena mašine alatke do zone rezanja, i čini je nosač kao prvi element, rezni alat kao zadnji, pribor/adapter kao predzadnji i produživači i reducirir kao mdjuelementi.

Kompatibilnost elemenata pri komponovanju seta alata zasnovana je na standradnim merama priključaka, odn. nastavaka, i to 40, 50, 63 i 80 mm. Pojam priključak vezan je za smer ka glavnom vretenu a pojam nastavak prema zoni rezanja (sl.1).



DP - Prečnik priključka

DN - Prečnik nastavka

DK - Kontrolni prečnik kolizije

LN - Dužina elementa je računska dužina seta

LP - Dužina odgovarajuća prečniku priključka

LR - Dužina odgovarajuća prečniku nastavka

Sl.1. Opšta parametarizacija elemenata seta alata

Strukturisanje seta alata u ekspertnom modelu odvija se u tri faze:

1. logičko strukturisanje seta alata, koje podrazumeva definisanje svih varijanti komponovanja seta sa stanovišta logičkih i funkcionalnih veza, na osnovu koga se dobija potreban asortiman elemenata za set alata,

2. parametarizacija na bazi geometrijskih veličina i uporedjenja sa postavljenim kriterijumima za optimalni izbor strukture seta

3. izbor optimalne varijante seta alata za izvođenje obradnog postupka.

U prvoj fazi projektovanja i optimizacije fleksibilnih tehnologija na osnovu tehnoloških zahteva za datu operaciju, definišu se režimski parametri, izračunavaju sve karakteristične veličine procesa rezanja i vrše provere svih vrednosti. Time su definisani i elementi potrebni za logičko strukturisanje seta alata, t to:

-OPERACIJA, -ALAT,

-TIP DRŠKE i

-TIP SEČIVA.

Parametarizacijom se rešava pitanje izbora elemenata seta alata potrebnih dimenzija. Osnovni kriterijumi u parametarizaciji su sledeći:

-nosaci se definišu ISO konusom mašine alatke,

-pribori/adaptori se definišu analogno drški izabranog reznog alata, i

ostali elementi se komponuju prema kriterijumu $DP = DN$ (prečnik priključka jednak prečniku nastavka).

Logičko strukturisanje i parametarizacija omogućuju višestruka rešenja koja će zadovoljiti tehnološke zahteve, pa se optimalna varijanta usvaja po pravilu da set ima što manje elemenata i da su elementi što manjeg prečnika uz ispunjenje uslova stabilnosti.

Zona rezanja je locirana na referentnoj površini u odnosu na koju se definišu operacijska ograničenja i operacijske ulazne veličine. Referentne površine su definisane u okviru jedne strane za obradu. Svaka referentna površina se definiše Z koordinatom u pravcu W(Z)-ose i predstavlja kriterijum za izbor elemenata određene dužine i definisanje ukupne dužine seta alata.

3. PRAVILA SETOVANJA

U proceduri automatskog komponovanja seta alata postoje ograničenja, kao osnov za izbor geometrijskih parametara elemenata seta alata, i to:

-operacijsko ograničenje iskazano odnosom prečnik/dužina i

-ulazno ograničenje iskazano odnosom prečnik/odstojanje/dužina.

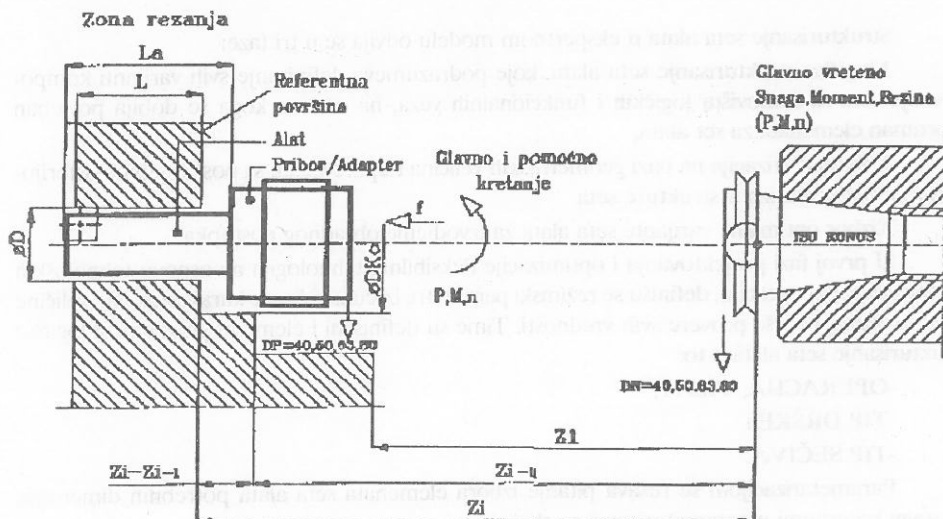
Operacijsko ograničenje se tretira pri izboru reznog dela alata a ulazno ograničenje je uslovljeno pozicijom zone rezanja na obradku i postoji u slučaju više referentnih ravni. Generalni uslov setovanja alata sa aspekta ulaznog ograničenja (sl.2) iskazuje se kao:

$$L_s > L + (Z_i - Z_1).$$

Ovaj uslov podrazumeva ispunjenje operacijskog ograničenja ($L_a > L$) i dužinu alata veću od kontrolne (sl.2):

$$L_k = L + (Z_i - Z_1)$$

$$L_k < L_a.$$



Sl. 2. Model za definisanje pravila setovanja

Setovanje kao postupak realizuje se nakon ispunjenja svih postavljenih uslova i kriterijuma. Osnovni problem pri tome je izbor veličina priključnih mera elemenata seta alata. Uspostavljena pravila u ekspertnom modelu omogućuju definisanje priključaka (DP) i nastavaka (DN) a na osnovu:

1. odnosa dužine seta prema prečniku priključka pribora/adaptera (Z_i/DP) i
2. intenziteta opterećenja seta alata izrazen obrtnim momentom.

Ako je odnos $Z_i/DP < 4$, prečnik priključka DP pribora/adaptera jednak je prečniku nastavka DN nosača, a kao medjuelementi se dodaju samo produživači. Ukoliko nije $Z_i/DP < 4$ redukuje se prečnik DP pribora/adaptera reducirom na nivo prvog većeg prečnika i taj prečnik je jednak prečniku DN nosača. Ostali medjuelementi mogu biti samo produživači.

Ako je obrtni moment koga stvaraju otpori rezanja $M < 450$ Nm, važe ista pravila kao za $Z_i/DP < 4$. Ako je pak obrtni moment u intervalu između 450 i 920 Nm vrši se redukcija reducirom na nivo prvog većeg prečnika. Kod teških uslova obrade sa velikim otporima rezanja gde moment prelazi 920 Nm vrši se redukcija prečnika DP na nivo drugog većeg prečnika. U svim slučajevima kao medjuelementi se koriste produživači koji se komponuju po pravilu $DP = DN$.

5.OPTIMIZACIJA SETA ALATA PRIMENOM EKSPERTNOG MODELA

Pri projektovanju obradnog procesa bušenja, kao jedne od operacija u fleksibilnoj tehnologiji u predhodnoj proceduri definisani su sledeći podaci i veličine:

| | |
|-------------------|---------------------|
| OPERACIJA: | Bušenje |
| ALAT: | Zavojna burgija HSS |
| PREČNIK: | 18 |
| DUŽINA: | 75 |
| ISO KONUS MAŠINE: | 50 |
| TIP DRŠKE: | DD 18 |
| Zi: | 320 |
| M: | 560 |

Iz relacije baze znanja programskog sistema selektovanjem kolona NOSAC i PRIBOR iz tabele SETAL, dobijaju se 4 moguća logička rešenja kombinovanja prvog i predzadnjeg elementa seta alata, i to:

Prvi element u setu

Predzadnji element u setu

| | |
|----------------------------------|------------------------------|
| 1.NOSAČ SA FUTEROM | set alata od jednog elementa |
| 2.NOSAČ GL. SA ELASTIČNOM ČAUROM | set alata od jednog elementa |
| 3.NOSAČ OSNOVNI, | ADAPTER SA FUTEROM |
| 4.NOSAČ OSNOVNI, | STEZNA GLAVA.ZA EL. CAURU |

Parametarizacijom i selektovanjem podataka u relacionoj bazi znanja eliminišu se prva tri logička rešenja. Prvo i treće, zbog toga što futer ne može da primi dršku alata većeg prečnika od 16 mm, a drugo, zbog nedovoljne dužine nosača glave sa elastičnom čauruom ($LN_{max} = 113$ mm). U dalju proceduru automatskog setovanja za definisanje medjuelecnata ide jedino logičko rešenje broj 4.

ISO konus osnovnog nosača je ISO 50, prema prihvatu u glavnom vretenu. Potrebno je definisati DN ($DN = 40, 50, 63$ i 80) i LN ($LN = 44$ i 60) osnovnog nosača. Stezna glava za elastičnu čauru sa DD 18 postoji u dve alternative: $DP = 50, LN = 85$ i $DP = 63, LN = 95$.

Ekspertnom analizom vrednosti odnosa $Zi/DP = 320/50 = 6.4$ i $Zi/DP = 320/63 = 5.1$, i analizom momenta $M = 560 > 450$ Nm ukazuje na potrebu redukcije na prvi veći prečnik seta alata. Za ovaj slučaj generišu se dva rešenja (sl.3):

(a)

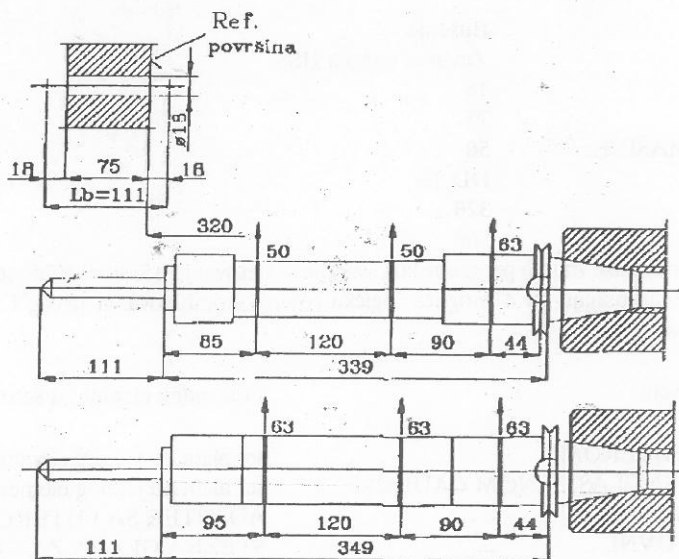
| | | |
|-----------------------------------|---------------|------------|
| 1.ZAVOJNA BURGIIJA HSS, D = 18 mm | DD 18 | Lb = 111mm |
| 2.STEZNA GLAVA ZA ELASTIČNU CAURU | DP = 5 | OLN = 85mm |
| 3.PRODUZIVAC | DP/DN = 50 | LN = 120mm |
| 4.REDUCIR | DN/DP = 50/63 | LN = 90mm |
| 5.NOSAC OSNOVNI | DN = 63 | LN = 44mm |

Ukupna dužina seta alata $L_s = 339 + 111 = 450$ mm > 320 mm.

(b)

| | | |
|-----------------------------------|------------|-------------|
| 1.ZAVOJNA BURGIIJA HSS, D = 18 mm | DD 18 | Lb = 111mm |
| 2.STEZNA GLAVA ZA ELASTIČNU CAURU | DP = 63 | LN = 95mm |
| 3.PRODUZIVAC | DP/DN = 63 | LN = 120 mm |
| 4.PRODUZIVAC | DP/DN = 63 | LN = 90mm |
| 5.NOSAC OSNOVNI | DN = 63 | LN = 44mm |

Ukupna dužina seta alata $L_s = 349 + 111 = 460$ mm > 320 mm.



Sl. 3. Rešenja seta alata za operaciju bušenja

Usvaja se rešenje sa manjim vrednosti DP prihvatnog pribora, u ovom slučaju slučaju varijanta pod (a), kao optimalna. Postupak je sproveden pod pretpostavkom da nema ograničenja u pogledu kontrolnog precnika DKO, koji se u normalnoj proceduri proverava.

6. ZAKLJUČAK

Eksperni model za definisanje setova alata ugradjen je u relaciju bazu tehnoloških podataka i znanja programskog sistema za projektovanje i optimizaciju fleksibilnih tehnologija razvijenu u ORACLE-u. Baza sadrži 77 tabela i obuhvata sve operacije obrade rezanjem na obradnim centrima, sve alate proizvođača: Coromant, Hertel, Widia, PP-Corun, IAT, FRA, Jugoalat i drugih. Sve funkcije obradljivosti su u korelaciji sa vrstom obrade, obradnim uslovima i potrebnim kvalitetom obradjene površine, tako da predstavljaju fundamentalnu osnovu u postupku optimizacije fleksibilnih tehnologija.

LITERATURA

- (1) Lukić, Lj., Polajnar, D., Šolaja, V.: A Yugoslav Approach to Decision Support for Optimization of FMS Technologies, Annals of the CIRP, Vol. 40/1 (1991), pp.99-102.
- (2) Polajnar, D., Lukić, Lj., Šolaja, V.: An Interactive Simulation Model for Multiparameter Optimization of Cutting Processes in FMS, Preprints 6th Symposium on Information Control problems in Manufacturing technology INCOM '89, Vol. I, Madrid (1989), str.251-256.
- (3) Lukić, Lj., Polajnar, D., Radiša, R.: Logička struktura programskog sistema sistema za projektovanje i optimizaciju fleksibilnih tehnologija, Zbornik radova IV naučno - stručnog skupa "MMA'90 - fleksibilne tehnologije", Novi Sad (1990), str. 503-507.

SISTEM IZBORA REZNOG ALATA ZA OBRADU PRIZMATIČNIH DELOVA BAZIRAN NA ZNANJU

*Goran Devedžić asistent, Mašinski fakultet,
Sestre Janjić 6, 34000 Kragujevac*

1. Uvod

Da bi se moglo izvršiti projektovanje tehnologije obrademetala rezanjem bilo kog radnog komada, a u okviru toga i izbor alata, neophodno je prvo izvršiti opis u smislu utvrđivanja njegovih geometrijskih i funkcionalnih karakteristika, a zatim i definisati sva stanja i načine njegovog transformisanja od početnog dokrajnjeg oblika. Znači, potrebno je izvršiti geometrijsko i tehnološko prepoznavanje radnih komada. Nakon toga sledi određivanje vrste, tipa, oblika, materijala i rezne geometrije alata, kao ipovezivanje vrste i načina izvodjenja transformacija koje dati alat može vršiti na radnom komadu, radi stvaranja sprege radni komad - tipska tehnološka sekvenca (TTS) - alat. Ovaj postupak se naziva geometrijskim i tehnološkim prepoznavanjem reznih alata.

Za bliže definisanje svake od navedenih aktivnosti služepodaci koji opisuju karakteristike strukturnih elemenata istih, ali iznanje i iskustvo stručnjaka za ove oblasti. Potrebna znanja mogu biti predstavljena misaonim procesima samih stručnjaka, ili pak, prezentovana u udžbenicima, priručnicima, katalogima, standardima, itd.

Da bi računar mogao na svojevrstan način da "prepozna" relevantne karakteristike radnog komada i površine koja se obrađuje, i u vezi sa tim (kao i ostalim parametrima) da izvrši optimalni izbor alata i način(e) izvodjenja neophodnih transformacija radi generisanja istih, potrebno je formalno ispoštovati jedan od načina akvizicije neophodnih znanja. U cilju ekstrakovanja potrebnih znanja o radnim komadima, alatima, procesu obrade, itd., prolazi se kroz sledeće faze akvizicije znanja /13./14/:

- identifikacija,
- konceptualizacija,
- formalizacija,
- implementacija, i
- testiranje.

U daljem će aktivnosti vezane za svaku od navedenih faza biti samo formalno naznačene.












2. GEOMETRIJSKO I TEHNOLOŠKO PREPOZNAVANJE RADNIH KOMADA

Znanja o radnim komadima mogu se podeliti na:

- znanja o opštim karakteristikama,
- znanja o geometrijskim karakteristikama, i
- znanja o funkcionalnim karakteristikama, koje čine:
 - * znanja o dimenzionim karakteristikama,
 - * znanja o karakteristikama tačnosti, i
 - * znanja o karakteristikama kvaliteta.

Svaka od navedenih grupa može se dalje detaljno rasčlaniti u cilju određivanja svih komponentnih (pod)karakteristika (naprimjer, vrste i osobine materijala radnog komada, vrste i nominalne vrednosti dimenzija, tolerancija, kvaliteta obradjenih površina, itd.) /5/.

Komponovanje tipskih formi (otvor, žljeb, ...)(TF), kao komponentnih elemenata radnih komada, i samih radnih komada vrši se preko elementarnih formi (EF) koje predstavljaju geometrijske (i tehnološke) primitive višeg nivoa (Sl.1), čime se ujedno definišu oblik, dimenzije i funkcija TF i radnog komada u celini.

| GEOMETRIJSKI PRIMITIVI NIŽEG NIVOA | | |
|---|---|---|
| TAČKA | LINIJA | POVRŠINA |
| + |  |  |
| GEOMETRIJSKI PRIMITIVI VIŠEG NIVOA | | |
| PRIZMA | PIRAMIDA | GILINDAR |
|  |  |  |
| KUPA | SFERA | TORUS |
|  |  |  |
| PREDSTAVLJANJE PREBRISAVANJEM ("SWEEPING") | | |
| TRANSLACIJA | ROTACIJA | KRETANJE ALATA |
|  |  |  |

Slika 1: Geometrijski primitivi od kojih se komponuju tipske forme i celi radni komadi

Kada su u pitanju tipske forme opšte i funkcionalne karakteristike su uglavnom iste kao i za radni komad u celini, alina hijerarhijski nižem nivou.

Geometrijske karakteristike tipskih formi se odnose na znanjaza pojedine nivoe ili klase. Tako se u svetlu podređenih i nadređenih komponenti tipske forme mogu podeliti na:

- osnovne,
- kombinovane, i
- specijalne.

U okviru ovakve podele postoje sledeće geometrijske klase tipskih formi:

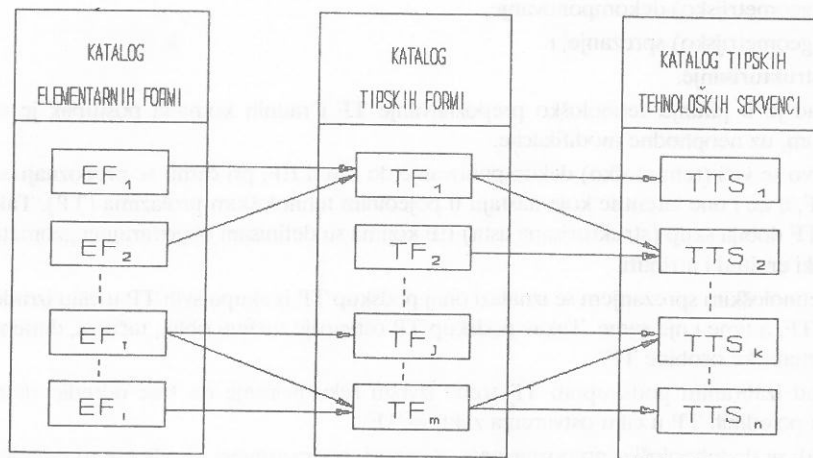
- prolazni otvori,
- neprolazni otvori,
- otvori sa navojem,
- žljebovi i kanali,
- složeni funkcionalni oblici, i
- konturni oblici.

Za tehnološko prepoznavanje radnih komada i tipskih formi, može se reći da predstavlja vezu između radnog komada i tehnološkog procesa obrade, odnosno tipske forme (TF) i tipske tehnološke sekvence (TTS). Drugim rečima /9/, "proces tehnološkog prepoznavanja se definiše kao odgovarajuća heuristička transformacija znanja o obradivanim delovima, i njima odgovarajućim procedurama, za zadate proizvodne uslove". To znači "da za zadata tehnička ograničenja treba odrediti karakteristike tehnološkog procesa i njegovih elemenata, pri tom obezbeđujući dobijanje oblika, parametara tačnosti i fizičko-mehaničkih osobina dela zadatih crtežom".

Relevantna znanja koja se tiču TTS, a neophodna su za ostvarivanje veze sa TF, mogu se takođe podeliti na:

- znanja o opštim (tehnološkim) karakteristikama TTS,
- znanja o geometrijskim karakteristikama TTS, i
- znanja o funkcionalnim karakteristikama TTS, a u okviru ovakve podele moguća su i potrebna detaljnija rasčlanjavanja, slično kao i u slučaju geometrijskog prepoznavanja radnih komada /5/.

Identifikacijom elemenata potrebnih za tehnološko prepoznavanje radnih komada i TF, stvaraju se mogućnosti za formiranje kataloga TTS (Sl.2), koji bi u suštini sadržao tehnološke procedure obrade TF i činio bazu znanja.



Slika 2: Formiranje kataloga TF i TTS

Očigledno je da se znanja o navedenim karakteristikama neophodnim za geometrijsko i tehnološko prepoznavanje radnih komada i TF mogu razvrstati na opšta i posebna. Opšta znanja se odnose na radne komade i TF, odnosno tehnološki proces i TTS, bez obzira kojoj grupi ili klasi pripadali, dok se posebna znanja odnose na pojedine specifičnosti vezane za radne komade, TF, proces obrade i TTS.

Postupak geometrijskog prepoznavanja radnog komada i TF vezanje za dekomponovanje osnovne strukture do nivoa TF ili EF, respektivno. Postoje tri nivoa apstrakcije pri opisivanju radnog komada:

- niži,
- srednji, i
- viši.

Na nižem nivou se nalaze geometrijski (tačka, linija, površina) i topološki (kontura, grana, rebro, vrh) primitivi. Njihovim komponovanjem u skupove koji imaju smisao u realnom svetu vrši se apstrakcija na srednjem nivou, a na višem nivou se nalaze kompleksnije strukture koje su, zapravo, nadskupovi skupova sa srednjeg nivoa. Tako se EF nalaze na srednjem, a TF na višem nivou.

Dakle, prva operacija koja se vrši pri geometrijskom prepoznavanju je dekomponovanje. Ona se vrši, pre svega, do nivoa TF kao realnih geometrijskih i funkcionalnih elemenata, a zatim i do nivoa EF da bi mogao da se odredi nivo povezanosti i struktura komponenata koje čine radni komad.

Nakon dekomponovanja se vrši (geometrijsko) sprezanje koje se odnosi na iznalaženje onog podskupa EF iz skupa svih EF koji odgovara datoj TF, odnosno radnom komadu.

Odredjivanje strukture svake TF (i radnog komada) ima za cilj definisanje njihovih dimenzija, tačnosti, kvaliteta i međusobnih odnosa.

Može se zaključiti, dakle, da se geometrijsko prepoznavanje obavlja kroz tri faze, odnosno operacije, i to:

- (geometrijsko) dekomponovanje,
- (geometrijsko) sprezanje, i
- strukturisanje.

Kad je u pitanju tehnološko prepoznavanje TF i radnih komada postupak je sličan prethodnom, uz neophodne modifikacije.

Prvo se vrši (tehnološko) dekomponovanje do nivoa EF, pri čemu se prepoznaju samo vidljive EF, a ne i one latentne koje nastaju u pojedinim tehnološkim prolazima (TP). Tako se za svaku TF dobija skup (strukturisana lista) EF kojima su definisani odgovarajući geometrijski i tehnološki entiteti i atributi.

Tehnološkim sprezanjem se iznalazi onaj podskup TP iz skupa svih TP u cilju izrade EF koje čine TF, a time i nje same. Takav podskup TP ostvaruje traženi oblik, tačnost, dimenzije i fizičko-mehaničke osobine TF.

Nad izabranim podskupom TP treba izvršiti sekvenciranje da bise odredio redosled izvođenja pojedinih TP u cilju ostvarenja zahteva TF.

Vidi se da tehnološko prepoznavanje, u osnovi, podrazumeva izvođenje tri operacije:

- (tehnološko) dekomponovanje,

- (tehnološko) sprezanje, i
- sekvenciranje.

Ovako izabran i formalno opisan koncept je upravo onaj koji (uglavnom nesvesno) primenjuju tehnolozi prilikom razrade postupaka obrade. Naime, tehnolog prvo vrši analizu radnog komada sa crteža, tj. dekomponovanje, geometrijsko sprezanje i strukturisanje u cilju određivanja složenosti i zahteva u pogledu dimenzija, oblika, tačnosti i kvaliteta, a zatim vrši izbor priprema (polufabrikata) i kroz faze tehnološkog sprezanja i sekvenciranja dolazi do tehnološkog postupka obrade datog radnog komada.

U ovakvom postupku se jasno uočavaju dva osnovna načina povezivanja znanja iz domena - povezivanje unazad (engl. "backward chaining") i povezivanje unapred (engl. "forward chaining"). Za geometrijsko prepoznavanje se koristi povezivanje (olančavanje) unazad, a za tehnološko prepoznavanje povezivanje (olančavanje) unapred.

U fazi formalizacije se vrši preslikavanje definisanog koncepta za logičko predstavljanje identifikovanog znanja o radnim komadima, u formalnu strukturu u prostoru pretraživanja.

Ovde će ta znanja biti data na nivou tipskih formi. Pri tome se neće razmatrati karakteristike kvaliteta i tačnosti u okviru funkcionalnih karakteristika, već samo dimenzione, uz napomenu da se znanja o njima mogu formalizovati analogno znanjima o dimenzionim karakteristikama.

Sistem frejmova za geometrijsko prepoznavanje tipskih formi, u opštem obliku, dat je na slici 3. Na ovaj način se formalno mogu predstaviti znanja za geometrijsko prepoznavanje TF. Može se primetiti da se neki od slotova popunjavaju ulaznim podacima, a neki u procesu izvođenja zaključaka.

Formalno zapisano to izgleda ovako:

1. FRAME: tipska_forma

naziv_tf:

opšte_kar: FRAME(OPŠTE_KAR)

geom_kar: FRAME(GEOM_KAR)

funkc_kar: FRAME(FUNKC_KAR)

3. FRAME: geom_kar

deo_od: tipska_forma

geom_klasa:

2. FRAME: opšte_kar

deo_od: tipska_forma

materijal:

tvrdoća:

4. FRAME: funkc_kar

deo_od: tipska_forma

dimenzije:

kvalitet:

tačnost:

Vrednost slotu geom_kar poziva sub-frejm GEOM_KAR čiji je slot geom_klasa, zapravo, procedura data produkcionim pravilima kojom se određuje vrednost slotu:

AKO je tipska forma TF

ONDA je geometrijska klasa GK

Na osnovu ovog i sličnih formalnih pravila vrši se pretraživanje baze znanja u kojoj se nalaze činjenice o tipskim formama neophodne za generisanje relevantnih zaključaka.

S obzirom da tehnološko prepoznavanje tipskih formi predstavlja svojevrsnu spregu između tipskih formi i tipske tehnološke sekvence, potrebno je formalnim jezikom opisati znanja koja definišu tu spregu.

Sekvence tehnoloških prolaza potrebnih za generisanje date TF definišu se meta-pra-
vilima:

AKO je <tipska forma> forma

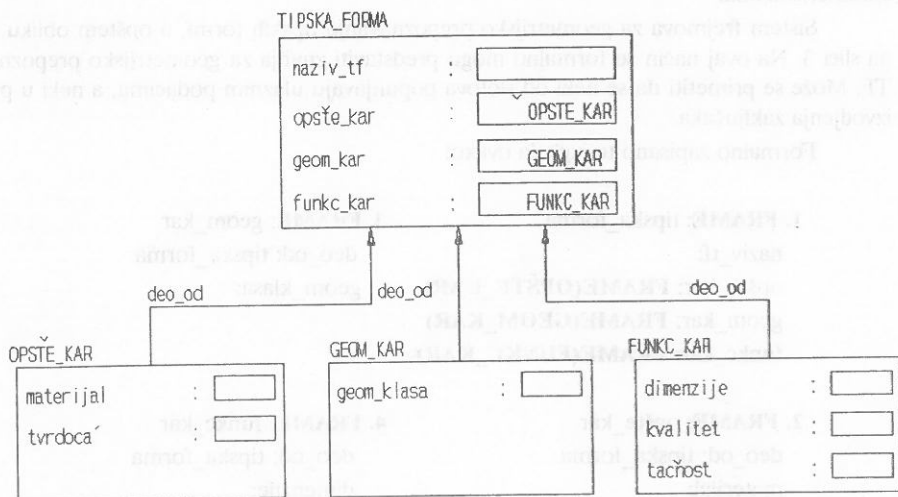
I

potrebna je <tačnost>

I

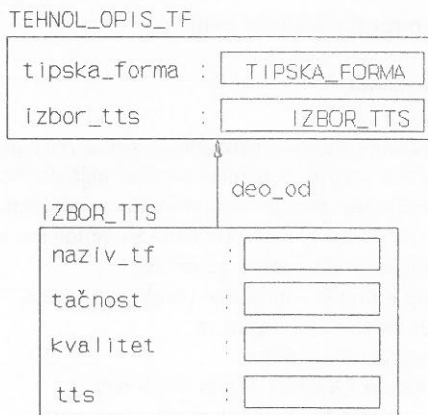
potreban je <kvalitet>

ONDA je sekvenca tehnoloških prolaza <tp1, tp2, ..., tp4>.



Slika 3: Sistem frejmova za geometrijsko prepoznavanje TF (u opštem obliku)

Primećuje se da je i u slučaju tehnološkog prepoznavanja predstavljanje relevantnih znanja izvršeno pomoću frejmova, što je grafički prikazano na slici 4.



Slika 4: Sistem frejmova za tehnološko prepoznavanje TF (u opštem obliku)

Formalno zapisano to izgleda ovako:

1. FRAME: tehnol_opis_tf

tipska_forma: **FRAME(TIPSKA_FORMA)**

izbor_tts: **FRAME(IZBOR_TTS)**

2. FRAME: izbor_tts

deo_od: tehnol_opis_tf

naziv_tf:

tačnost:

kvalitet:

tts:

3. GEOMETRIJSKO I TEHNOLOŠKO PREPOZNAVANJE REZNIH ALATA

Znanja o reznim alatima se mogu podeliti na:

- opšta, i
- posebna.

U opšta znanja o reznim alatima spadaju:

- znanja o opštim (zajedničkim) karakteristikama,
- znanja o funkcionalnim karakteristikama,
- znanja o geometrijskim karakteristikama, i
- znanja o tehnološkim karakteristikama.

Daljom analizom ovih karakteristika ekstrahuju se svarelevantna znanja o reznim alatima neophodna za ostvarivanje sprege radni komad

- rezni alat (materijal reznih elemenata, prevlaka, postojanost, vrsta obrade, osnovni oblik, gabaritne dimenzije, modularnost,...) /5/,/6/.

Posebna znanja o reznim alatima definišu:

- znanja o tipu,
- znanja o dimenzijama,
- znanja o geometriji, i
- znanja o tehnološkim karakteristikama za svaku vrstu alata.

Relevantna posebna znanja o reznim alatima najčešće se predstavljaju u tabelama na osnovu kojih se mogu definisati pravila zaključivanja za problem geometrijskog i tehnološkog prepoznavanja i izbora reznih alata. Tim pravilima su definisane veze:

- materijal radnog komada - rezna geometrija,
- materijal radnog komada - materijal reznih elemenata,
- materijal reznih elemenata - tip alata,
- tip alata - tip reznih elemenata,
- tip reznih elemenata - kvalitet reznih elemenata,
- materijal radnog komada - kvalitet reznih elemenata,
- dimenzije TF - dimenzije alata,
- tačnost TF - tip alata,
- itd.

Za geometrijsko i tehnološko prepoznavanje reznih alata potrebno je nad definisanim podskupovima strukturnih elemenata radnih komada, tehnološkog procesa obrade i samih alata izvršiti sledeće dve operacije:

- sprezanje, i
- komponovanje.

Geometrijskim i tehnološkim prepoznavanjem radnih komada, odnosno TF i EF, odredjen je nivo povezanosti i struktura komponenata koje čine radni komad, sa jedne, i podskup TP iz skupa svih TP, kao i redosled njihovog izvodjenja u cilju generisanja prepoznatih EF i TF, sa druge strane.

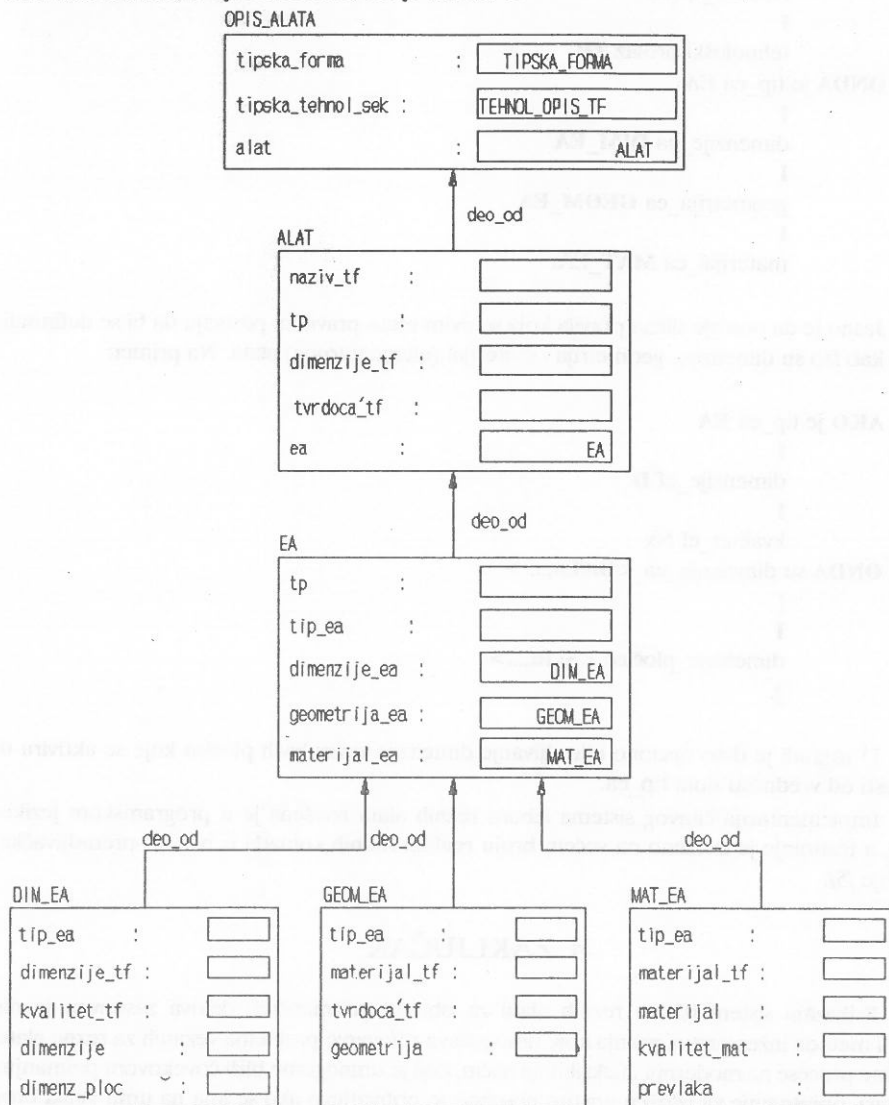
Između svakog TP, u kome se generiše po jedna EF, i elementarnog alata (EA) može se uspostaviti veza, kao i između TF i tipskog alata (TA). Dakle, potrebno je izvršiti operaciju sprezanja nad (pod)skupovima TP i EA, odnosno TF i TA /7/, /8/, /9/, /5/. Ovom operacijom se definišu geometrijske i tehnološke karakteristike alata koji su potrebni za generisanje datih EF i TF, kako opšteg, tako i posebnog karaktera.

Alat, u opštem slučaju, ima složenu (modularnu) strukturu koju čine tri osnovne grupe elemenata: za vezu sa radnim komadom, za vezu sa mašinom i ostalih (pomoćnih) elemenata (za lomljenje i odvođenje strugotine, za SHP, ...). Operacijom sprezanja se, u suštini, uspostavlja veza između strukturnih komponenata radnih komada (EF, TF,...) i strukturnih komponenata tehnološkog procesa obrade (TP, TTS,...), sa jedne, i (tipa) alata, sa druge strane. Da bi se u potpunosti definisao modularni alat potrebno je nad izabranim podskupovima EA i TA i elemenata za vezu sa mašinom (EVM) izvršiti operaciju komponovanja.

Ovakav koncept predstavlja formalan opis pristupa koji imaju tehnolozi prilikom rešavanja problema izbora alata. Drugim rečima, na osnovu geometrijsko-funkcionalno-tehnoloških zahteva TF koje čine radni komad i njihovih opštih karakteristika tehnolog u okviru svojih misaonih aktivnosti vrši, prvo, neophodna sprezanja strukturnih i drugih komponenata radnog komada sa adekvatnim komponentama reznih alata, a zatim vrši komponovanje sistema alata koji treba da obradi dati radni komad.

Povezivanje znanja se ovde vrši olančavanjem unapred (na primer, kod određivanja redosleda elementarnih (EA) ili tipskih (TA) alata) i olančavanjem unazad (na primer, kod određivanja dimenzija alata za obradu otvora na osnovu dodataka za obradu).

Izgradnja prototipa baze znanja za geometrijsko i tehnološko prepoznavanje reznih alata zasniva se na primeni frejmova i produkcionih pravila. Sistem frejmova za predstavljanje znanja o reznim alatima, u opštem obliku, dat je na slici 5.



Slika 5: Sistem frejmova za geometrijsko i tehnološko prepoznavanje reznih alata (u opštem obliku)

Meta-pravilo za pretraživanje baze znanja glasi:

AKO je naziv-tf TF

I

dimenzije_tf <D,L,h,a,... >

I

tvrdća_tf IIB

I

tehnološki-prolaz TP

ONDA je tip_ea EA

I

dimenzije_ea DIM_EA

I

geometrija_ea GEOM_EA

I

materijal_ea MAT_EA.

Jasno je da postoje slična pravila koja se ovim meta-pravilom pozivaju da bi se definisali objekti kao što su dimenzije, geometrija i materijal (elementarnog) alata. Na primer:

AKO je tip_ea EA

I

dimenzije_ef D

I

kvalitet_ef Nx

ONDA su dimenzije_ea <Da,La,... >

(

I

dimenzije_pločice <Si,Ri,...>

).

U zagradi je dato opciono određivanje dimenzija izmenljivih pločica koje se aktivira u zavisnosti od vrednosti slotu tip_ea.

Implementacija čitavog sistema izbora reznih alata izvršena je u programskom jeziku Prolog, a testiranje je izvršeno na većem broju realnih radnih komada iz metalno-preradivačke industrije /5/.

4. ZAKLJUČAK

Prikazani sistem izbora reznih alata za obradu prizmatičnih delova zasnovan je na primeni metoda inženjerstva znanja koje omogućava rešavanje problema vezanih za rezne alate i obradne procese na moderniji i fleksibilniji način, koji je umnogome bliži čovekovom poimanju. Sem toga, objašnjenje za izložen pristup posebno je prihvatljivo ako se ima na umu veliki broj praktikovanih različitih varijanti kojima se može doći do rešenja (makar i neoptimalnih). često su one čisto empirijskog karaktera i ne mogu se matematički formalizovati na prihvatljiv način.

Ovaj sistem izbora reznog alata zasnovan je na programski uokvirenoj simbiozi znanja o radnim komadima, odnosno tipskim formama, i reznim alatima. On, u ovoj fazi razvoja, poseduje mehanizam zaključivanja koji nema mogućnost izvođenja zaključaka sa verovatnoćom različitom od jedinice. Međutim rezultati testiranja i pored toga pokazuju veoma veliku pouzdanost.

Ugrađena logika koristi veoma mali broj ulaznih informacijaza detaljno izvođenje zaključaka. Treba naglasiti da ona nije "kruta" i zatvorenog karaktera. Naprotiv, otvorena je za dalju dogradnju i usavršavanje i povezivanje sa ostalim modulima integralnog sistema za izbor reznih alata. Posebno je otvorena mogućnost dogradnje modula za numeričko rešavanje pojedinih (pod)problema, čijim se rešavanjem stvaraju uslovi za potpunije i pouzdanije izvođenje zaključaka.

LITERATURA

1. Davies B.J., Joseph A., Kalta M.: "An Expert System to Generate NC Data From CAD Product Models", Journal of Materials Processing Technology, Vol.26., No. 2, pp.227-236, 1991.
2. Yeo S.H., Rahman M., Wong Y.S.: "A Frame-Based Approach for the Making of Holes in Turned Parts and its Further Development", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 23, pp.149-162, 1990.
3. Yeo S.H., Wong Y.S., Rahman M.: "Knowledge-Based Systems in the Machining Domain", The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol.6, pp. 35-44, 1991.
4. Joseph A.T., Davies B.J.: "Elicitation of Process-Planning Knowledge in a Manufacturing Environment", The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 6, pp.16-34, 1991.
5. Devedžić G.: "Jedan pristup formiranju metodologije izbora reznog alata za obradu prizmatičnih delova u fleksibilnom obradnom sistemu", Mašinski fakultet, Kragujevac, 1992.
6. Devedžić G.: "Geometrijsko i tehnološko prepoznavanje reznih alata za obradu prizmatičnih delova", XVIII JUPITER Konferencija, Kopaonik, 1992.
7. Putnik G.: "Prilog za izgradnju ekspertnog sistema za izbor alata za obradni centar", magistarski rad, Mašinski fakultet, Beograd, 1988.
8. Milačić V.: "Teorija projektovanja tehnoloških sistema - Proizvodni sistemi III, Mašinski fakultet, JUPITER - zajednica, Beograd, 1987.
9. Veljović A.: "Elementi ekspert sistema za projektovanje tehnoloških procesa", Mašinski fakultet, JUPITER - zajednica, Beograd, 1990.
10. Saharov N.G., Abruzov B.O., Borovoj L. Ju., Grečnikov A.V., Kiseľov S.A.: "Metallorežušćie instrumenti", Mašinostroenie, Moskva, 1989.
11. Fadjušin I.L., Muzikant Ja. A., Meščerjakov A.I., Maslov A.R.: "Instrument dlja stankov s čPU, mnogocel'evih stankov i GPS", Mašinostroenie, Moskva, 1990.
12. Brookes K.: "Worldwide Guide To Sintered Hardmetals", Metalworking Production, December, 1988.

13. Jackson P.: "Introduction to Expert Systems", 2nd ed., Addison-Wesley Publishing Company, Inc., Reading, Massachusetts, 1990.
14. Bratko I.: "PROLOG - Programming For Artificial Intelligence", 2nd ed., Addison-Wesley Publishing Company, Inc., Reading, Massachusetts, 1990.
15. Ueno H., Koyama T., Okamoto T., Matsubi B., Isidzuka M.: "Predstavlenie i ispoljzovanie znaniy", prevod s japonskog, Mir, Moskva, 1989.
16. Iwata K., Sugimura N.: "An Integrated CAD/CAPP System with "Know-hows" on Machining Accuracies of Parts", Journal of Engineering for Industry, Vol.109, May 1987., pp. 128-133.

PREGLEDNA ANALIZA PODSISTEMA ALATA U FLEKSIBILNOM OBRADNOM SISTEMU

*Goran Devedžić asistent, Mašinski fakultet,
Sestre Janjić 6, 34000 Kragujevac*

1. Uvod

Jedan od osnovnih zadataka koje treba obaviti u visoko automatizovanim proizvodnim sistemima, kakvi su fleksibilni obradni sistemi (FOS), jeste obezbedjenje pravilnog funkcionisanja podsistema alata. Osnovni cilj upravljanja alatima u FOS-u je smanjenje broja alata u upotrebi, kao i vremena njihove zamene.

S obzirom da je FOS, zapravo, podsistem fleksibilnog proizvodnog sistema (FPS) na tom se nivou i u takvom okruženju javljaju dodatni zadaci i problemi vezani za njih. U daljem će biti data klasifikacija i analiza pojedinih, najznačajnijih, problema vezanih za alate, kao i preporuke za njihovo rešavanje.

2. Klasifikacija i analiza relevantne problematike u podsistemu upravljanja alatima u FOS-u

Pre nego što se razmotri struktura podsistema alata u FOS-u, bilo bi od značaja, ukratko podsetiti na osnovne faze funkcije planiranja i projektovanja FOS.

Jedan od modela funkcije planiranja i projektovanja FOS, definiše tri nivoa:

- stratejski,
- taktički, i
- operativni.

Na osnovu šematskog prikaza ovog modela (Sl.1) može se zaključiti da su alati, direktno ili indirektno, prisutni na svim nivoima planiranja i projektovanja FOS-a.

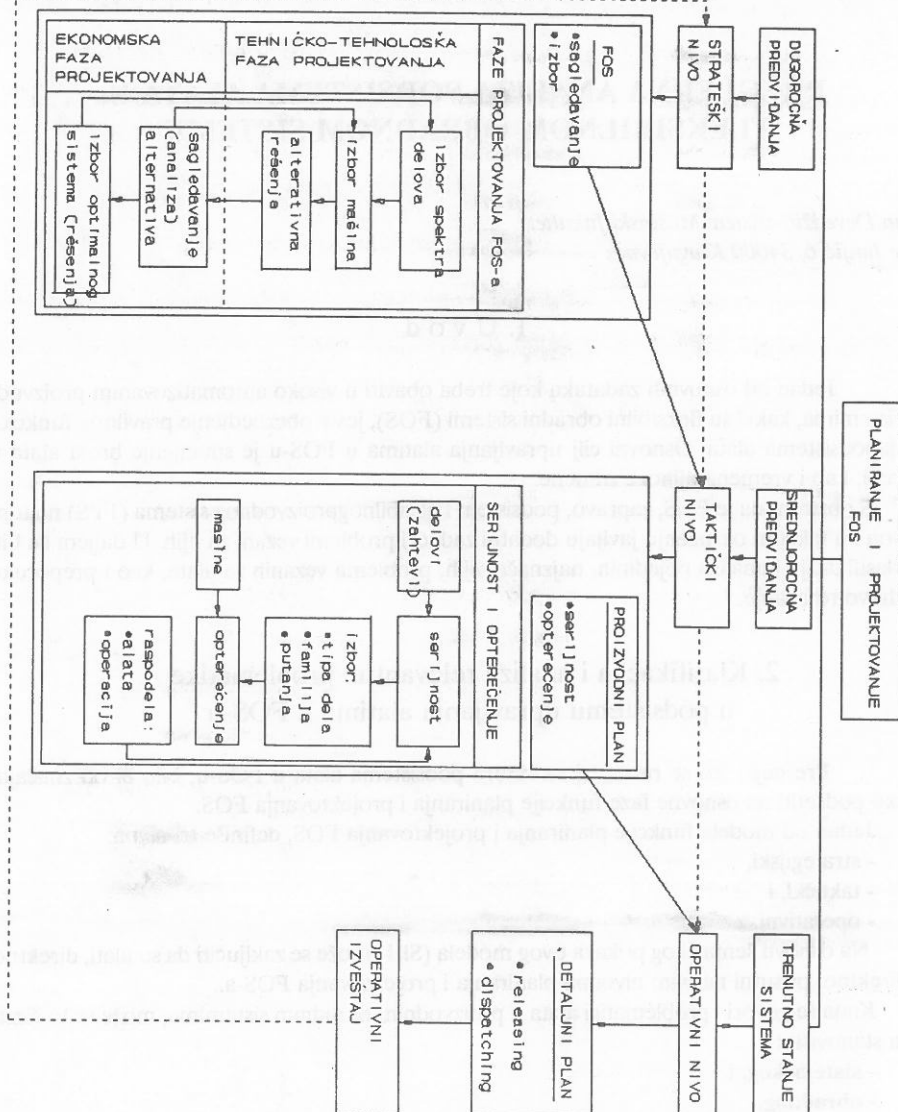
Kada se govori i problematici alata u proizvodnim obradnim sistemima, može se to činiti sa dva stanovišta:

- **sistemskog, i**
- **obradnog.**

Sistemske pristup uključuje rešavanje planiranja, nabavke, distribucije i praćenja alata. Prema hijerarhijskoj podeli faza planiranja i projektovanja FOS-a, ovi problemi se rešavaju na stratezijskom i taktičkom nivou.

Operativni pristup, sa druge strane, uključuje obezbeđenje zahteva nadgledanja, ispitivanja i izbora alata, a koji se rešavaju na taktičkom i operativnom nivou.

Postoji nekoliko kategorija problema na nivou alata čije je proučavanje i rešavanje neophodno za realizaciju upravljanja alatima u FOS-u. Najznačajnije su prikazane na slici 2.



Slika 1: Hijerarhijska struktura funkcije planiranja i projektovanja FOS

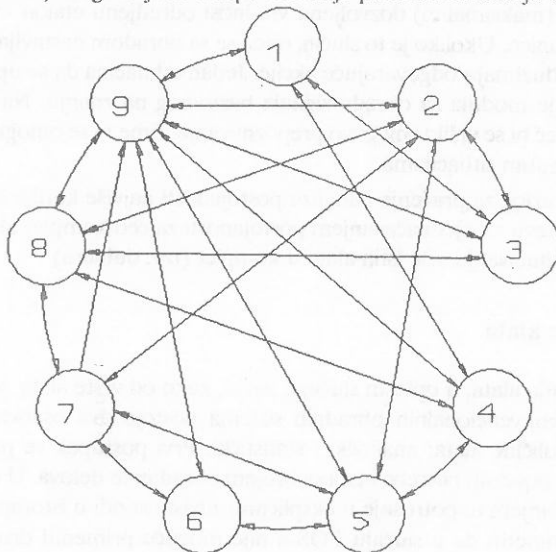
2.1. Standardizacija i izbor alata

U cilju odredjivanja potrebnog broja alata sa stanovišta generisanja datih površina definisanih familija delova, potrebno je prethodno posedovati rezultate geometrijske i tehnološke analizetih delova. Ta analiza se vrši na strategijskom nivou hijerarhijske strukture faza planiranja i projektovanja FOS-a. Na osnovu nje se stiče uvid u nivo zastupljenosti pojedinih elementarnih geometrijskih formi i tipskih formi u okviru definisanih familija delova. Sa stanovišta ekonomskih efekata ovakve analize, veliku pažnju treba posvetiti specijalnim alatima. Opravdanost ovakvog postupka neogleda se samo u značajnom smanjenju broja potrebnih alata, već i u smanjenju troškova zaliha i pojednostavljenom upravljanju alatima.

Pri odredjivanju broja neophodnih alata za izvodjenje obrade delova koji pripadaju definisanim familijama (prema nekim istraživanjima koja su navedena u [2] potrebna su najmanje tri alata iste vrste: jedan na mašini, jedan rezervni u skladištu alata i jedan na stanici za pripremu i održavanje) sprovodi se analiza čiji je zadatak da ekstrahuje znanja o:

1. geometrijskim oblicima delova i karakteristikama površina koje se obrađuju;
2. dimenzijama, tačnosti i kvalitetu obradjenih površina;
3. materijalima (delova) koji se obrađuju.

Dalje, na osnovu logike tehnološkog prepoznavanja (uz prethodno definisane vrste transformacije dela) moguće je izvršiti povezivanje pomenutih znanja sa znanjima o alatima.



- 1 - standardizacija i izbor alata
- 2 - vek alata i metode njegovog praćenja
- 3 - planiranje alata
- 4 - priprema i održavanje alata

- 5 - kodiranje i identifikacija alata
- 6 - transport alata
- 7 - izmena alata
- 8 - upravljanje zalihama
- 9 - baza podataka alata

Slika 2: Veze izmedju pojedinih kategorija problema reznih alata u FOS-u

2.2. Vek alata i metode njegovog praćenja

Razvijeni su različiti uređaji za otkrivanje otkaza (pohabanosti, krzanja, loma) alata koji preko praćenja odgovarajućih "elektro-motora, akustična emisija, dimenzije radnog komada,...) vrše identifikaciju i klasifikaciju nastalog otkaza, sa ciljem blagovremenog delovanja u smislu zamene alata ili promene režima rezanja.

Prema /11/18/ postoje tri različite vrste signala, na osnovu kojih upravljački sistem sprovodi različite mere. U prvom slučaju dobijeni signal odgovara dopuštenoj pohabanosti alata, pa se izdaje komanda za zamenu istog dublerom. Obično se dopušta da alat završi započetu operaciju, odnosno prolaz ukoliko je operacija dugotrajnija, pa se tek onda pomenuta komanda sprovodi u delo. U slučaju krzanja alata izdaje se komanda za prekid dalje obrade, vrši se zamena alata, a deo se u zavisnosti od izabrane strategije odbacuje kao škart ili se nakon kontrole odlučuje o daljoj obradi - ukoliko je moguće izvršiti korekciju nastalog oštećenja. Ako signala nema radi se o lomu alata.

Medjutim, ima slučajeva kada nije moguće sa sigurnošću tvrditi o kakvom se otkazu radi. Obično se to dešava kada je u pitanju krzanje. Naime, ponekad dobijeni signali mogu da lažno alarmiraju kada je došlo do krzanja ili neke druge vrste otkaza, a zapravo se radio postojanju tvrdih uključaka u materijalu radnog komada, raznih kanala, žljebova, otvora i sl., koji stvaraju prekide u toku obrade, izazivaju udarna opterećenja, itd. Zato je neophodno proveriti dali se signal koji je dostigao i/ili prestigao (maksimalno) dozvoljenu vrednost određenu etalon - signalom vraća u prethodno određene granice. Ukoliko je to slučaj, onda se sa obradom nastavlja. U suprotnom proces se zaustavlja i preduzimaju odgovarajuće akcije. Jedan od načina da se upravlja ovakvim situacijama je i formiranje modula za obradu signala baziranog na znanju. Na taj način bi se signal, ne samo beležio, već bi se vršilo i njegovo prepoznavanje, čime bi se omogućilo donošenje ispravne odluke o pomenutim situacijama.

Još jedan bitan razlog za praćenje i analizu postojanosti najviše korišćenih alata ogleda se, sa jedne strane, u zahtevu za ujednačavanjem postojanosti za ceo komplet alata, a sa druge, u donošenju odluke o uključivanju više istih alata u komplet (tzv. dublera).

2.3. Planiranje alata

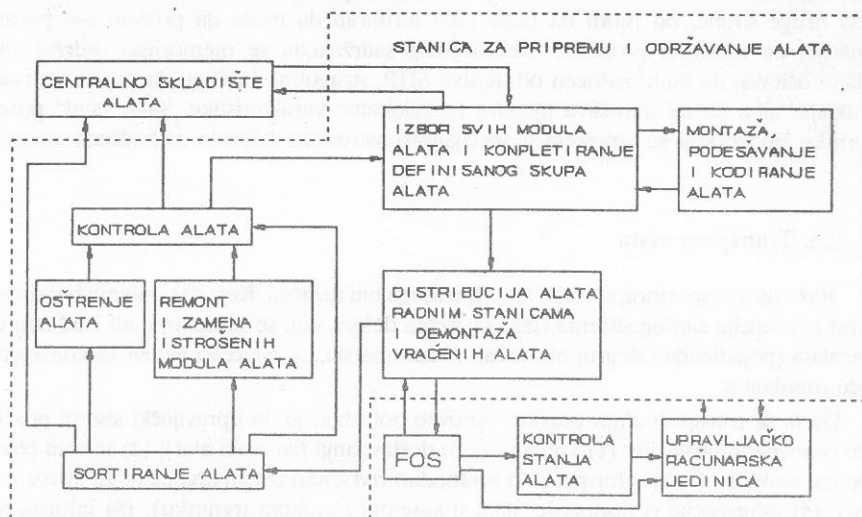
Postupak planiranja alata, u opštem slučaju, zavisi, kako od vrste alata, tako i od načina njegove potrošnje. Kod konvencionalnih obradnih sistema postoje dva osnovna postupka za određivanje potrebne količine alata: analitički i statistički. Prvi postupak se primenjuje onda kada se može eksplicitno povezati potreba alata sa brojem obradjenih delova. U drugom slučaju planiranje alata se "stavljanjem te potrošnje u eksplicitnu zavisnost od, u istom periodu izvršene proizvodnje. Može se primetiti da u slučaju FOS-a nije moguće primeniti drugi postupak na način na koji se to čini kod konvencionalnih obradnih sistema. To stoga što se, u cilju uravnoteženja opterećenja mašina i transportnog sistema, kao i u cilju optimalnog iskorišćenja ograničenog broja paleta i steznih pribora, u FOS-u u jednom trenutku obradjuju tačno definisane kombinacije raznorodnih delova. Pri sledećem lansiranju paleta, tj. delova na obradu, situacija će biti izmenjena. Zbog toga varira, kako zastupljenost pojedinih alata, tako i njihova potrošnja. Dugoročnije gledano, prethodna istorija potrošnje alata ne daje jasnu sliku koja bi poslužila za preciznije planiranje njihovih potreba, s obzirom na česte izmene proizvodnog

programa FOS-a. Zbog toga je eventualno korišćenje kombinovane, analitičko-statističke metode opravdanije.

Analitički metod je, u odnosu na statistički, znatno pogodniji i precizniji kada je u pitanju FOS. Korišćenjem neke od metoda matematičkog programiranja moguće je dobiti pouzdaniju prognozu potrošnje alata kao i kvalitetnije upravljanje zalihama i optimalno opterećenje mašina i sistema u celini. Za sveobuhvatno planiranje potreba reznog alata potrebni su podaci o: (a) obliku i dimenzijama delova; (b) materijalima obrade; (c) karakteristikama serija (kombinacija) raznorodnih delova (veličina serija, zastupljenost pojedinih delova,...); (d) vrsti alata koji se koriste za obradu; (e) zahtevima u pogledu kvaliteta obradjene površine; (f) broju radnih stanica; (g) režimima obrade; (h) karakteristikama transportnog i manipulacionog sistema; (i) mogućnostima skladišta; itd.

2.4. Priprema i održavanje alata

Organizaciono-tehnološka struktura stanice za pripremu i održavanje zavisi, pre svega, od izabrane koncepcije FOS-a. Jedna od mogućih varijanti predstavljena je na slici 3.



Slika 3: Organizaciono - tehnološka struktura stanice za pripremu i održavanje alata

U najvećem broju do sada izvedenih FOS-a najznačajniju ulogu u pripremi i održavanju alata ima čovek. Specifičnost poslova koji su vezani za ovaj segment podsistema alata, sa jedne strane, kao i prevelika složenost mogućeg automatskog sistema za ovakvu namenu, sa druge, čine takve sisteme još uvek teško ostvarljivim i nerentabilnim. Zato je uloga čoveka-operatora veoma velika, ali je ona uz pomoć adekvatno projektovanog i uspostavljenog računarsko - informacionog sistema podignuta na kvalitativno viši nivo.

Zbog zadržavanja preglednosti šeme, na slici 3 nisu prikazani tokovi informacija.

2.5. Kodiranje i identifikacija alata

Da bi se u svakom trenutku moglo znati gde se koji alat nalazi, koji deo obrađuje, koliki mu je preostali vek trajanja, kolike sumu zalihe i sl., vrši se njegovo kodiranje i upisivanje koda na sam alat. Kodiranje se u suštini sastoji od dodeljivanja alfa-numeričke oznake svakom alatu, odnosno njegovim modulima. Ta oznaka u potpunosti određuje konstrukciono - geometrijske karakteristike alata, kao i oblast njegove primene.

Kodiranje alata se ne odnosi samo na označavanje reznih elemenata ili pomoćnih modula, već i na **kompletiranje informacija** od značaja za prepoznavanje alata i ostvarivanje veze rezni alat - radni komad. Sledeće informacije su od značaja za praćenje identifikaciju alata u FOS-u: šifra alata, broj operacije, broj NC-programa, šifra mašine, šifra kompleta alata, dimenzije alata, geometrija alata, (preostali) vek alata, režimi rezanja, broj mesta u magacinu, veličina prostora potrebnog za njegovo smeštanje u magacinu (merise brojem alatnih mesta koje alat zauzima u magacinu), maksimalna potrebna snaga mašine, broj oštrenja, itd.

Da bi sve pomenute informacije bile dostupne kada je to potrebno, tj. da bi mogla da se vrši identifikacija alata unutar FOS-a, neophodno je da postoji fizički nosilac istih na samom alatu. Sa druge strane, on mora da bude tako formiran da može da prihvati sve potrebne informacije, da omogući promenu memorijskog sadržaja, da se memorijski sadržaj lako i pouzdano očitava, da bude zaštićen od dejstva SHP, strugotine i udara, da se u konstrukciju alata uklapa tako da ne narušava njegove funkcionalne karakteristike. Savremeni "posebne memorijske čipove koji su smešteni u specijalno konstruisane kapsule pričvršćene na nosače alata.

2.6. Transport alata

Rešenja transportnog sistema u FOS-u mogu biti različita. Koja će varijanta biti izabrana zavisi od koncepcije samog sistema, vrsta i veličina delova koji se obrađuju, ali i od strategije zamene alata (pojedinačno ili grupno, ručno ili automatski,...). Najčešći vidovi su konvejni i pomoću robokolica.

Da bi se transport alata pravilno sproveo potrebno je da upravljački sistem poseduje sledeće osnovne informacije: (1) vreme i mesto dostavljanja (za svaki alat); (2) termin planove obrade (za svaki deo); (3) informacije o prethodno izvršenim izmenama alata (za svaku radnu stanicu); (4) informacije o rasporedu alata u sistemu (u svakom trenutku); (5) informacije o preostalom veku svakog alata; (6) podatke o prioritetu zamene alata; (7) mogućnost brzog reprogramiranja u slučajevima nepredviđenih otkaza alata; itd.

2.7. Izmene alata: neki konceptijski pristupi i principi

Izmena alata na mašinama u FOS-u predstavlja tehničko - tehnološko - organizacioni problem. Mesto njegovog rešavanja javlja se već na strategijskom nivou (faza planiranja i projektovanja FOS-a), a takodje veliki značaj ima i na taktičkom i operativnom nivou. Kako postoje dva osnovna načina izmene alata na mašinama:

- pojedinačna izmena, i
- izmena celog magacina,

to se izbor jedne od varijanti vrši pri formiranju strukture samog FOS-a, tj. na stratejskom nivou. Treba primetiti da je izmena alata, odnosno izbor varijante i strategije izmene, usko povezana sa izborom mašina i transportnog i manipulacionog sistema. Naime, mašine uslovljavaju vrstu i kapacitet magacina, vrstu i karakteristike izmenjivača alata i slično, dok transportni i manipulacioni sistem uslovljava izbor varijante izmene alata, vremena i pouzdanost sprovođenja akcija vezanih za izmene alata. Naravno, najuticajniji faktori su namena FOS-a i nivo njegove automatizacije. Pod namenom FOS-a podrazumevaju se, pre svega, oblik, dimenzije i vrste delova koji se obradjuju, kao i zastupljenost pojedinih elementarnih i tipskih formi na tim delovima. Sa druge strane, nivo automatizacije se odnosi na: nivo automatizacije pojedinih fleksibilnih obradnih ćelija (FOĆ) u FOS-u, istorodnost nivoa automatizacije komponentnih FOĆ, karakteristike upravljačkog sistema FOS-a, itd.

Postoje dve osnovne strategije izmene alata: **pojedinačna i izmena celog magacina**. **Pojedinačna izmena** (Sl. 4) se primenjuje u slučajevima pohabanosti ili loma alata, kao i kada dati alat nije više potreban za izvođenje narednog skupa operacija. Ovde spada i grupna izmena alata, kada se za to ukaže potreba.

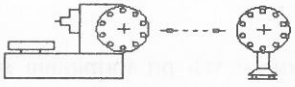
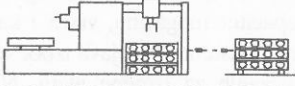
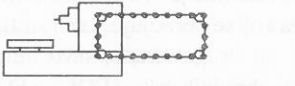
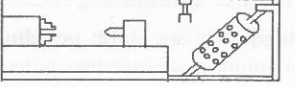
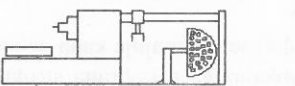
Izmjena celog magacina (Sl.4) se primenjuje kada delovi koji se obradjuju ne zahtevaju veliki broj alata, kada je broj dubleramali, a izabrana struktura i nivo automatizacije celog sistema takvi da omogućavaju primenu ove strategije izmene. Medjutim, treba imati u vidu da, prema nekim analizama /10/,/16/, čak 25% svakog kompleta alata (tj. sadržaja magacina alata) čine glodala, burgije, ureznici i sl., koji se mogu koristiti za obradu i drugih delova koji se nalaze u proizvodnom programu FOS-a. Očigledno je, dakle, da ova strategija izmene alata neizostavno dovodi do uvećanja ukupnog broja alata, što za posledicu može imati znatno usložnjavanje upravljanja alatima. Pored toga, uvećavaju se vremenski gubici i troškovi vezani za alate.

Osnovni pokazatelj koji odredjuje primenu jedne od strategija izmene alata i vrstu magacina je **vreme automatske izmene**, jer ona neposredno utiče na proizvodnost pojedinih mašina i FOS-a u celini. Ovaj pokazatelj se može dvojako definisati:

(a) kao vreme "od reza do reza", a predstavlja, zapravo, "vreme od početka izvođenja alata iz pozicije završetka obrade do završetka uvođenja sledećeg alata u uslovnu poziciju početka obrade";

(b) kao sopstveno vreme automatske izmene alata, a predstavlja "vreme između završetka uvođenja (clemenata) mašine u poziciju automatske izmene alata i početka izlaženja iz te pozicije u poziciju obrade".

Na vreme automatske izmene alata utiče dosta faktora /20/, /17/: vrsta i dimenzije mašine, vrsta magacina alata, vrsta manipulatora, mogućnosti upravljačkih jedinica, itd. Na neke od ovih faktora može se uticati još u stadijumu projektovanja samih mašina, odnosno FOS-a. Medjutim, u mnogo slučajeva, zbog izmena u proizvodnom programu, nije moguće značajnije uticati na karakteristike sistemaza izmenu alata. Zato je od velike važnosti razmeštaj alata u magacinu. U slučajevima dugotrajnih operacija to nije od presudnog značaja dužinu trajanja obrade, ali u ostalim slučajevima je, očigledno od važnosti. "

| VRSTA MAGACINA | ŠEMATSKI PRIKAZ | PROSEČAN KAPACITET |
|--|---|--------------------------|
| DISKASTI • permanentni • izmenjivi |  | • 40 - 60 • 20 - 40 |
| REGALNIČKASETNI • permanentni • izmenjivi |  | • preko 100 • 40 - 60 |
| LANČASTI |  | 60 - 120 |
| DOBOSASTI *) |  | 120 - 240 |
| LOPTASTI *) (SFERNI) |  | 100 - 200 |
| *) Dobosasti i loptasti (sferni) magacini mogu se arrestirati u izmenjivi varijanti; kod loptastog su najčešće izmenjive samo kasete od kojih se sastoji | | |

Slika 4: šematski prikaz magacina alata

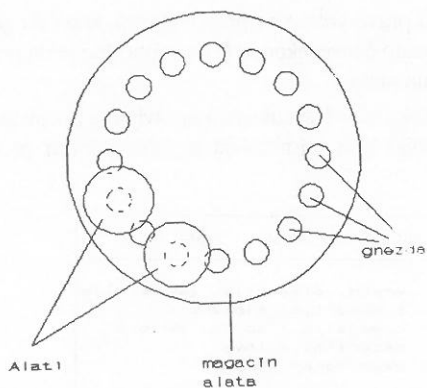
Kada je u pitanju optimalni razmeštaj alata mogu se izdvojiti dva osnovna nivoa:

- mašinski, i
- sistemski.

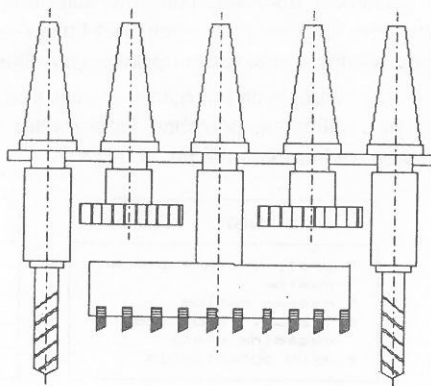
Na mašinskom nivou osnovno ograničenje je kapacitet magacina alata. Dakle, potrebno je optimizirati ukupan broj alata i broj dublera, kao i njihov rameštaj. Pokazalo se da je raspored alata po redosledu tehnološkog postupka u malom broju slučajeva optimalan, jer iziskuje mnogo vremena za pretraživanje i izmenu alata. Sem toga, kapacitet magacina alata, inače ograničen, može se još višesmanjiti pri korišćenju alata većih dimenzija (Sl.5). Ovaj problem se može donekle rešiti, ukoliko za to postoje tehničko-tehnološkemogućnosti, na način prikazan skicom na slici 6.

Na sistemskom (čelijskom) nivou optimizacija broja alata, kao i njihovog rasporeda, je složenija, s obzirom na mogućnosti razmene alata između mašina. Pri proračunu vremena izmene treba uzeti u obzir, u ovom slučaju, i transportna vremena, raspoloživost transportnih sredstava, čekanja i sl. U radu /7/ data je analiza četiri strategije razmeštaja alata u FOČ, koja se sastoji od tri fleksibilna obradna modula (mašine). Šematski prikaz ove analize dat je na slici 7.

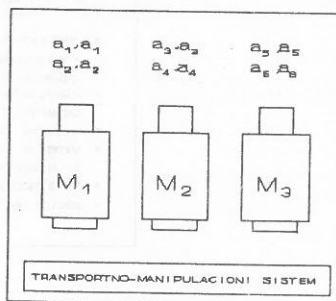
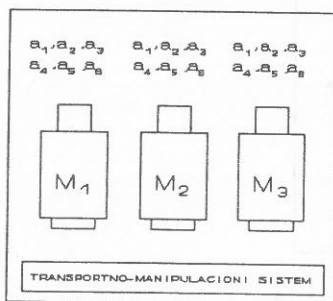
Najčešći načini rešavanja ovih problema sastoje se u matematičkom programiranju, (nelinearnom, celobrojnem ili 0-1 programiranju, heurističkom programiranju i sl.), mada se uposlednje vreme javljaju i tzv. "hibridni modeli", koji pored čisto matematičkih formulacija uključuju i metode bazirane na znanju ("knowledge - based methods").



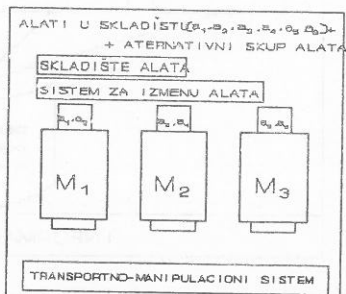
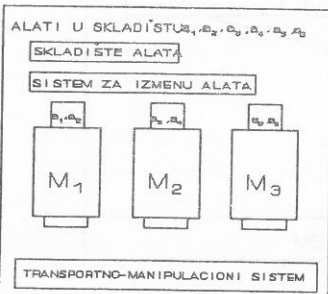
Slika 5: Uticaj alata većih dimenzija na smanjenje kapaciteta magacina alata



Slika 6: Način smeštanja alata većih dimenzija



STRATEGIJE RAZMEŠTAJA ALATA U FOČ

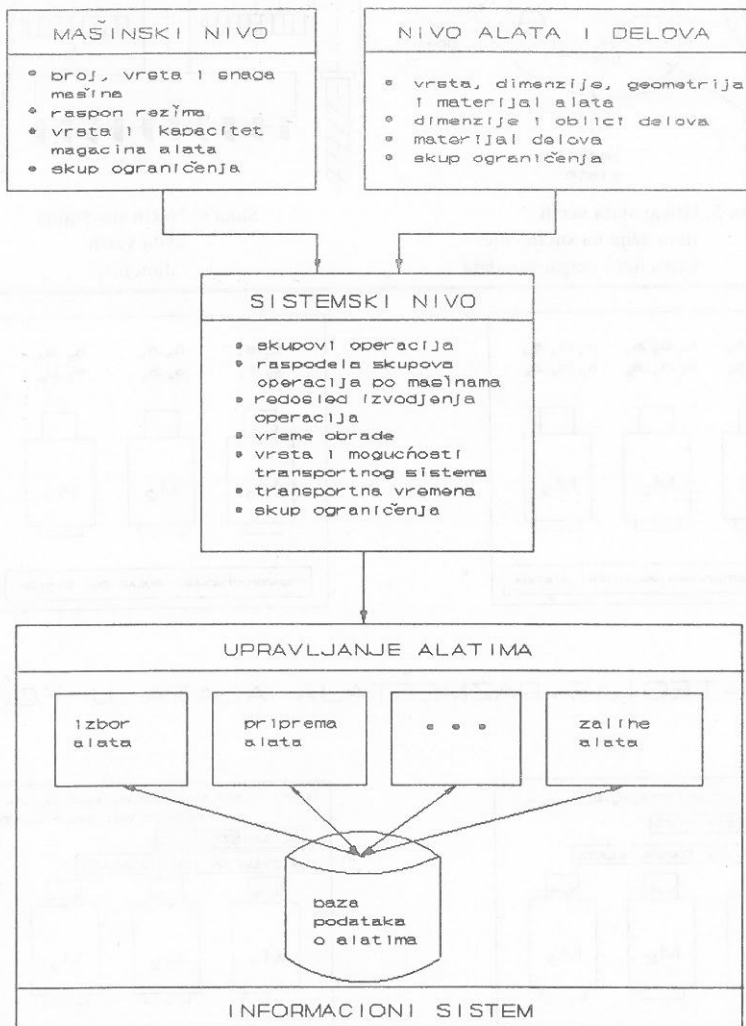


Slika 7. Šematski prikaz četiri strategije razmeštaja alata u fleksibilnoj obradnoj ćeliji

2.8. Upravljanje zalihama alata

Da bi se obezbedilo da pravi alat bude u pravo vreme na pravoj mašini, kao i da ga ima u dovoljnim količinama za smene bez ljudi, odnosno čitave vikende (!), neophodno je da postoji, izmeđuostalog, i adekvatno upravljanje zalihama alata.

Da bi mogla da se organizuje baza podataka i izvrši sveukupno upravljanje podsistemom alata, pa i zalihama, potrebno je obezbediti veliki broj informacija o proizvodnom procesu, resursima, radnim komadima, itd. (Sl.8).

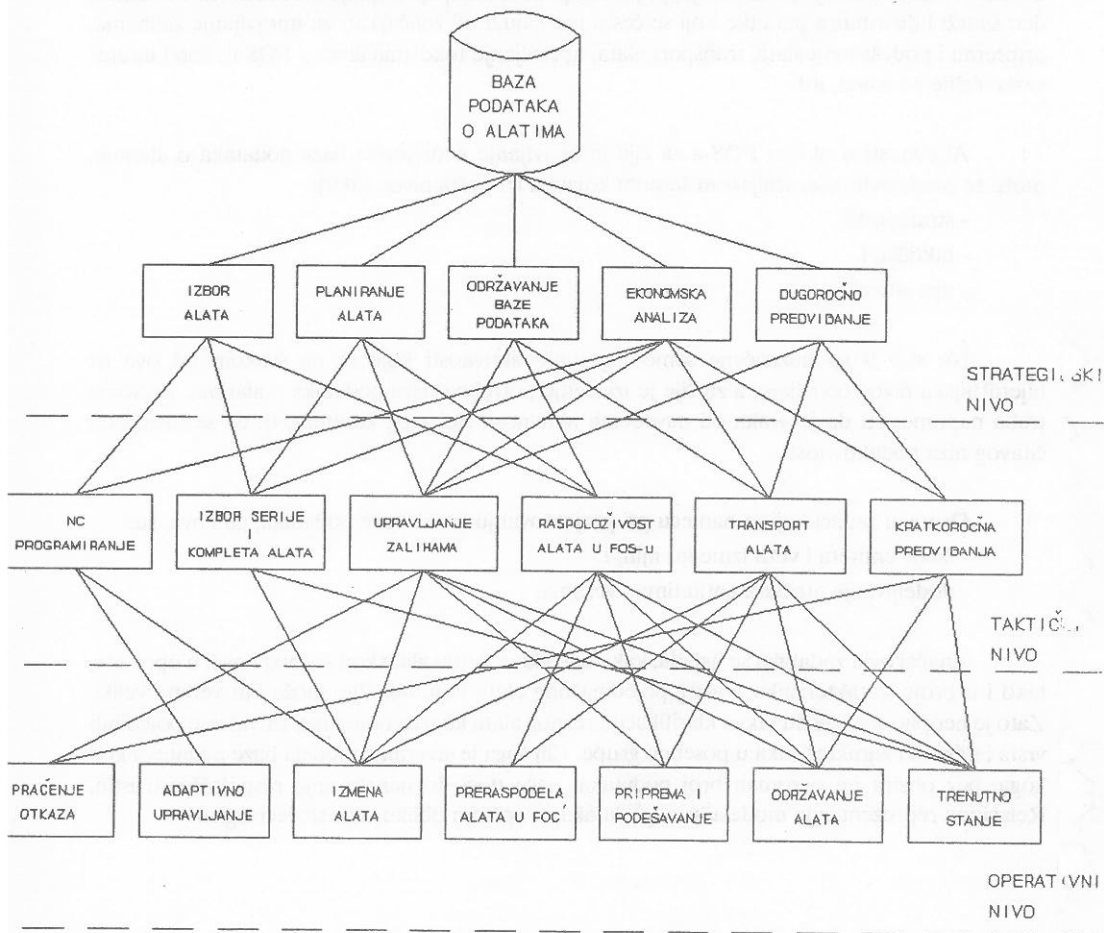


Slika 8: Koncept prikupljanja i organizovanja podataka za upravljanje zalihama alata

Na osnovu šematskog prikaza osnovnih zadataka vezanih za upravljanje zalihama alata u FOS-u, može se zaključiti da suproblemi koji se javljaju veoma kompleksne prirode i povezani sa mnogim drugim segmentima upravljanja alatom (transportom, kapacitetima mašina, vrstom delova, ekonomičnošću, itd.). Upravo zbog svega toga, adekvatna matematička formulacija upravljanja zalihama u FOS-u još uvek ne postoji, ali se parcijalnim rešavanjem pojedinih problema otvaraju mogućnosti za njeno iznalaženje.

2.9. Baza podataka o alatima

Podaci koji se koriste za razvoj upravljanja FOS treba da budu tako organizovani da se mogu koristiti u realnom vremenu. U tom cilju se projektuje čitav niz baza podataka, kao i nadređen sistem za upravljanje njima. Te baze podataka se koriste za planiranje proizvodnje, upravljanje procesom, upravljanje alatima, upravljanje transportom, itd.



Slika 9: Dekomponovana hijerarhijska struktura aktivnosti unutar FOS-a za čije je obavljanje neophodna baza podataka o reznim alatima

Da bi se projektovala baza podataka o reznim alatima, potrebno je izvršiti, između ostalog, i:

- sistematizaciju radnih komada, i
- klasifikaciju alata.

Razlog za pokretanje ovakve akcije leži, kako u značajnom smanjenju broja potrebnih alata i samim tim smanjenju troškovazaliha, tako i u olakšanom izboru i upravljanju alatima. Treba primetiti da je struktura baze podataka o alatima dvojaka. Jedan deo je statičkog, a drugi dinamičkog karaktera. Statički deo sadrži i distribuira podatke koji su manje-više opšteg značaja i relativno retko se menjaju (možda je bolje reći da se radi o kvazi-statičkom delu baze podataka), a vezani su za planiranje proizvodnje, pripremu proizvodnje, upravljanje obradom i sl. Dinamički deo sadrži i distribuira podatke koji se često menjaju, a od značaja su za upravljanje zalihama, pripremu i podešavanje alata, transport alata, upravljanje tokovima alata u FOS-u, kao i unutar svake ćelije posebno, itd.

Aktivnosti u okviru FOS-a za čije je obavljanje neophodna baza podataka o alatima, može se predstaviti hijerarhijskom šemom kojima tri opšta nivoa (Sl.9):

- stratejski,
- taktički, i
- operativni.

Na slici 9 su naznačene samo najbitnije aktivnosti koje se na svakom od ova tri hijerarhijska nivoa obavljaju, a za čije je izvršenje potrebna baza podataka o alatima. Pri tome treba napomenuti da je svaka od navedenih aktivnosti složenog karaktera, tj. da se sastoji od čitavog niza podaktivnosti.

Osnovni zadaci koji se nameću pri projektovanju svake baze podataka, pa i ove, su:

- izbor entiteta i veza između njih, i
- dodeljivanje atributa entitetima i vezama.

Značaj ovih zadataka se ogleda, kako u velikom broju alata koji se mogu naći u upotrebi, tako i u broju karakteristika svakog pojedinačnog alata koji, takođe, može biti veoma veliki. Zato je neophodno izvršiti takvu klasifikaciju reznog alata koja će omogućiti izdvajanje pojedinih vrsta i njihovih karakteristika u posebne grupe. Cilj toga je stvaranje modela baze podataka kod koga, bez obzira na ogroman broj podataka, neće doći do narušavanja raspoloživosti istih. Relaciona reprezentacija modela baze podataka, u opštem obliku, ima sledeći izgled:

ALAT

| #ALAT | NAZIV | STANDARD | KVALITET | PROIZVODJAČ | .. |
|-------|-------|----------|----------|-------------|----|
|-------|-------|----------|----------|-------------|----|

VRSTA

| #VRSTE | PODVRSTA | NAZIV_VRSTE | NAZIV_PODVRSTE | .. |
|--------|----------|-------------|----------------|----|
|--------|----------|-------------|----------------|----|

KARAKTERISTIKA

| # ALATA | DIMENZIJA (prečnik, dužina,...) | |
|---------|---------------------------------|--|
|---------|---------------------------------|--|

| GEOMETRIJA (grad. ug., ug. zav., ug. vrha...) | #MATERIJAL |
|---|------------|
|---|------------|

Zaključak

U radu je data analiza identifikovanih devet kategorija problema vezanih za podsistem alata u fleksibilnom obradnom sistemu (FOS). Svaka od navedenih kategorija je posebno razmatrana ukazujući na one specifičnosti koje su od vitalnog značaja za upravljanje alatima u FOS-u. Analiza je sprovedena, kako sa sistemskog, tako i sa obradnog stanovišta. Ovim problemi alata u FOS-u i teškoće pri njihovom rešavanju, svakako, nisu u potpunosti pobrojani, ali sprovedena analiza dovoljno ukazuje na pravce daljih i sveobuhvatnijih istraživanja.

Literatura

1. Hartley J.: "FMS at Work", IFS (Publications) Ltd., Bedford, UK, Nort-Holland, Amsterdam, 1984.
2. Gray A., Seidmann A., Stecke K.E.: "Tool Management in Automated Manufacturing: Operational Issues and Decision Problems", Working Paper No. 690, Graduate School of Business Administration, University of Michigan, Ann Arbor, USA, 1988.
3. Mamalis A., Bilalis N., Konstantinidis M.: "Analysis of Tool Flow System Requirements for an FMS", Proceedings of Twenty-sixth International Machine Tool Design and Research Conference, Manchester, UK, 1986.
4. Lee L.C., Lee K.S., Kwok K.G.: "Effects of Tool Fracture on Machining Force Dynamics", Journal of Mechanical Working Technology, pp. 205-212, 17/1988.
5. Jang H.S., Bagchi A.: "Tool Selection in Machining by Integration of a Data Base and Rule Based System", Proceedings of the 2nd International CIRP Conference on New Manufacturing Technology, Cookeville TN, USA, 1989.

6. Van Looveren A.J., Gelders L.F., Van Wassenhave L.N.: "A Review of FMS Planning Models", in "Modelling and Design of Flexible Manufacturing Systems", edited by Andrew Kusiak, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 1986.

7. Kusiak A.: "Parts and Tools Handling Systems", in "Modelling and Design of Flexible Manufacturing Systems", edited by Andrew Kusiak, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 1986.

8. Averjanov O.I.: "Sovremennic koncepcii instrumentaljnogo obespečenija gibkih proizvodstv", Stanki i instrument, 5/1988.

9. Osmolovskij F.A., Kovaljunc S.I.: "Osnovnie tendencii razvitija instrumentaljnogo obespečenija GPS dlja korpusnih detalj", Stanki i instrument, 5/1988.

10. Averjanov O.I., Kovaljum S.I., Osmolovskij F.A.: "Sistemi instrumentaljnogo obespečenija GPS dlja korpusnih detalj", Stanki i instrument, 8/1986.

11. Ageev A.D., Noslov A.R.: "Instrumentoobespečenie gibkogo proizvodstva korpusnih detalj", Stanki i instrument, 5/88.

12. Kirjanov V.N.: "Sistemno-informacionnoe i programmnoc obespečenie instrumentaljnih sistem GPS", Stanki i instrument, 5/1988.

13. Kirsanov G.N.: "Instrumentaljnoe obespečenie gibkogo avtomatizirovannogo proizvodstva", Stanki i instrument, 8/1988.

14. Korotaev M.Ju.: "Avtomatizacija proektirovanija instrumentaljnih naladok dlja uslovij gibkogo proizvodstva", Vestnik mašinostroenija, 6/1986.

15. Rabinovič N.G., Petrov V.N., činarev N.A.: "Sistema instrumentaljnogo obespečenija gibkogo avtomatizirovannogo učastka", Stanki i instrument, 3/1987.

16. Sultanov T.A., Bruk V.I.: "Osobenosti organizacii instrumentaljnogo obespečenija GPS", Stanki i instrument, 6/1987.

17. Kovaljunc S.I., Osmolovskij F.A.: "Rasčet vremennih parametrov ustrojstv avtomatičeskoj smeni instrumentov", Stanki i instrument, 5/1988.

18. Jacobs H.-J., Hentschel B., Stange B., Geissler H.-J., Geipel T.: "Intelligent Tool Monitoring System for Rota and Prisma Machining", Proceedings of the IXth International Conference on Production Research, Cincinnati, Ohio, USA, 1987.

19. Kendall L.A., Bayoumi A., Boberg M.: "Automation of a Machining Cell; Intelligent Supervisory Control", Proceedings of the IXth International Conference on Production Research, Cincinnati, Ohio, USA, 1987.

20. Steljman L.N.: "Ustrojstva avtomatičeskoj smeni instrumentov dlja prodoljnih frezerno-rastočnih mnogocelevih stankov", Stanki i instrument, 5/1988, pp. 7-9.

21. Acaccia G.M., Callegari M., Michelini R.C., Molfini R.M.: "A Tactical Tool-Supplier for Flexible Manufacturing", Second International Conference on Advanced Manufacturing Systems and Technology, Trento, Italy, 1990.

22. Devedžić G., Erić M.: "Baza podataka o alatima kao osnova za avtomatizaciju izbora reznog alata", Zbornik radova IV naučno-stručnog skupa MMA 90 - fleksibilne tehnologije, Novi Sad, 1990.

23. Zavarella L., Bugini A.: "Flexible Manufacturing: Workpiece Batch Size and Related Tool Requirements", Proceedings of the Second International Conference on Advanced Manufacturing Systems and Technology - AMST 90, Trento, Italy, 1990.
24. Devedžić G.: "Jedan pristup formiranju metodologije izbora reznog alata za obradu prizmatičnih delova u fleksibilnom obradnom sistemu", Magistarski rad, Mašinski fakultet, Kragujevac, 1992.
25. Devedžić G.: "Klasifikacija fleksibilnosti i značaj reznih alata u fleksibilnom obradnom sistemu", XVII JUPITER Konferencija, Kopaonik, juli 1991.
26. Liang M., Dutta S.P.: "The Concurrent Part Selection and Machine Loading Decision Problem in Flexible Manufacturing Systems", Proceedings of the 11th International Conference on Production Research, China, 1991.
27. Pater H-G.: "Integration and Automation of the Material Flow in the Field of Tools", Proceedings of the 11th International Conference on Production Research, China, 1991.
28. Warnecke H.J., Roth H.-P., Schuler J.: "FMS Applications in Germany - Objectives and Constraints", in "Modelling and Design of Flexible Manufacturing Systems", edited by Andrew Kusiak, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 1986.
29. Kodali R.: "Knowledge-Based Systems in FMS", Proceedings of the 11th International Conference on Production Research, China, 1991.
30. Arbel A., Seidmann A.: "Performance Evaluation of Flexible Manufacturing Systems", IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Vol.14, No.4, 1984.
31. Acaccia, G.M., Micheline R.C. and Molfino R.M.: "A Knowledge Based Computer - Simulator for Functional Scaling and Performances Evaluation of Automated Tool Handling Service", Proceedings of the IXth International Conference on Production Research, Cincinnati, Ohio, U.S.A., 1987.

1. The first of these is the fact that the...
2. The second is the fact that the...
3. The third is the fact that the...
4. The fourth is the fact that the...
5. The fifth is the fact that the...
6. The sixth is the fact that the...
7. The seventh is the fact that the...
8. The eighth is the fact that the...
9. The ninth is the fact that the...
10. The tenth is the fact that the...

INKREMENTALNI DIGITALNI PRETVARAČI ZA MERENJE DUŽINE I ODREDJIVANJE POZICIJE

Miodrag Arsić Dragan Denić
Elektronski fakultet - Niš

SADRŽAJ

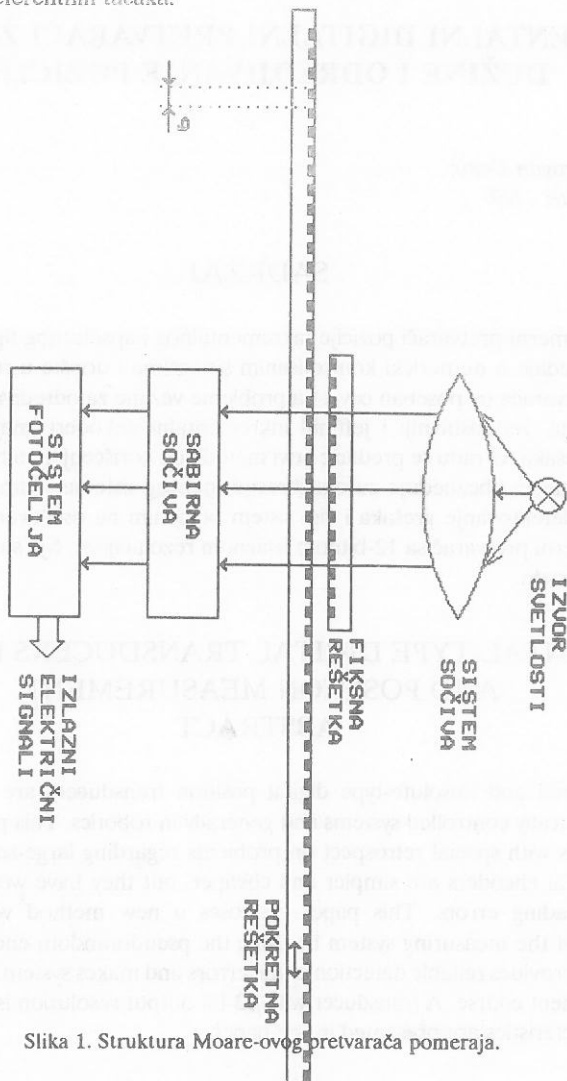
Digitalni merni pretvarači pozicije inkrementalnog i apsolutnog tipa predstavljaju neophodne merne uređaje u numerički kontrolisanim sistemima i uopšte u robotici. U radu je dat pregled ovih pretvarača uz poseban osvrt na probleme vezane za određivanje pozicije pri većim opsezima kretanja. Jednostavniji i jeftiniji inkrementalni enkoderi imaju poznat nedostatak akumuliranja grešaka. U radu se predlaže novi metod koji korišćenjem tehnike pseudoslučajnog kodiranja jednostavno obezbeđuje autokalibraciju mernog sistema. Primenjeni metod obezbeđuje pouzdano detektovanje grešaka i čini sistem otpornim na oscilovanje u pravcu kretanja. Realizovan je merni pretvarač sa 12-bitnom izlaznom rezolucijom, čije su najvažnije karakteristike prikazane u radu.

INCREMENTAL-TYPE DIGITAL TRANSDUCERS FOR LENGTH AND POSITION MEASUREMENT ABSTRACT

Incremental and absolute-type digital position transducers are necessary measuring devices in numerically controlled systems and generally in robotics. This paper gives a review of these transducers with special retrospect on problems regarding large-scale position measurement. Incremental encoders are simpler and cheaper, but they have well-known drawback of accumulating reading errors. This paper proposes a new method which simply provides autocalibration of the measuring system by using the pseudorandom encoding technique. The applied method provides reliable detection of the errors and makes system resistant on oscillation along the movement course. A transducer with 12-bit output resolution is realized, and its most important characteristics are presented in the paper.

1. UVOD

U mašinstvu, robotici, u oblasti upravljanja i naravno u elektronici se dužine i uglovi moraju meriti sa visokom tačnošću. Tačnost od 0.1m nije više retkost i često se zahteva. Ona se dostiže pomoću pretvarača inkrementalnog tipa, zahvaljujući njihovoj jednostavnoj konstrukciji, malom broju spojnih žica i mogućoj velikoj gustini deljenja opsega merenja. Međutim, inkrementalna tehnika ima veliki nedostatak usled akumuliranja grešaka. Učinjeni su pokušaji kompenziranja ovih nedostataka upotrebom metode optičke kalibracije ili kodnog markiranja specijalno namenjenih lokacija, [1]. Na žalost, primena ovih rešenja je iz ekonomskih razloga ograničena brojem referentnih tačaka.



Slika 1. Struktura Moare-ovog pretvarača pomeraja.

Problem tačnog i pouzdanog određivanja pozicije je posebno izražen kod u industriji sve više primenjivanih fleksibilnih sistema, koji predstavljaju kombinaciju automatski upravljanih vozila (AUV) i robota. Ovakvi sistemi imaju veliki opseg kretanja (100m i više), a istovremeno se zahteva i visoka rezolucija merenja. U radu se predlaže rešenje koje je zadovoljavajuće i za slučaj ovako visokih zahteva. Koristi se hibridni merni sistem koji sadrži funkcionalne elemente i inkrementalne i apsolutne tehnike. Apsolutna tehnika obezbeđuje čestu autokalibraciju mernog sistema, dok inkrementalna tehnika obezbeđuje visoku rezoluciju merenja. Pri tome je za određivanje apsolutne pozicije primenjeno najnovije rešenje koje koristi pseudoslučajne binarne sekvence (PSBS) i samo jednu kodnu traku.

2. INKREMENTALNE METODE MERENJA

Detekcija diskretnih pomaka kod inkrementalne tehnike se može ostvariti pomoću kontaktnih, magnetnih ili optičkih sistema. U industrijskim primenama su dominantni optički merni pretvarači pomeraja (optički enkoderi). Pri tome se koriste dve metode: metoda propuštanja i metoda refleksije svetlosti. U skladu s tim, disk osnog enkodera ili merna traka linearnog enkodera sadrže, ili niz proreza (merna rešetka) ili niz naizmeničnih svetlih (refleksivnih) i tamnih polja. Respektivno, izvor svetlosti i fotoelektični detektor se nalaze sa različitih, odnosno istih strana diska ili merne trake. Elektronska kola koja su obavezno prisutna kod inkrementalnih pozicionih enkodera uključuju dvosmerne brojače, koji obezbeđuju digitalni izlaz u zahtevanom kodu. Rezultat je proporcionalan broju diskretnih pomaka koje načini sistem od neke referentne (početne) pozicije.

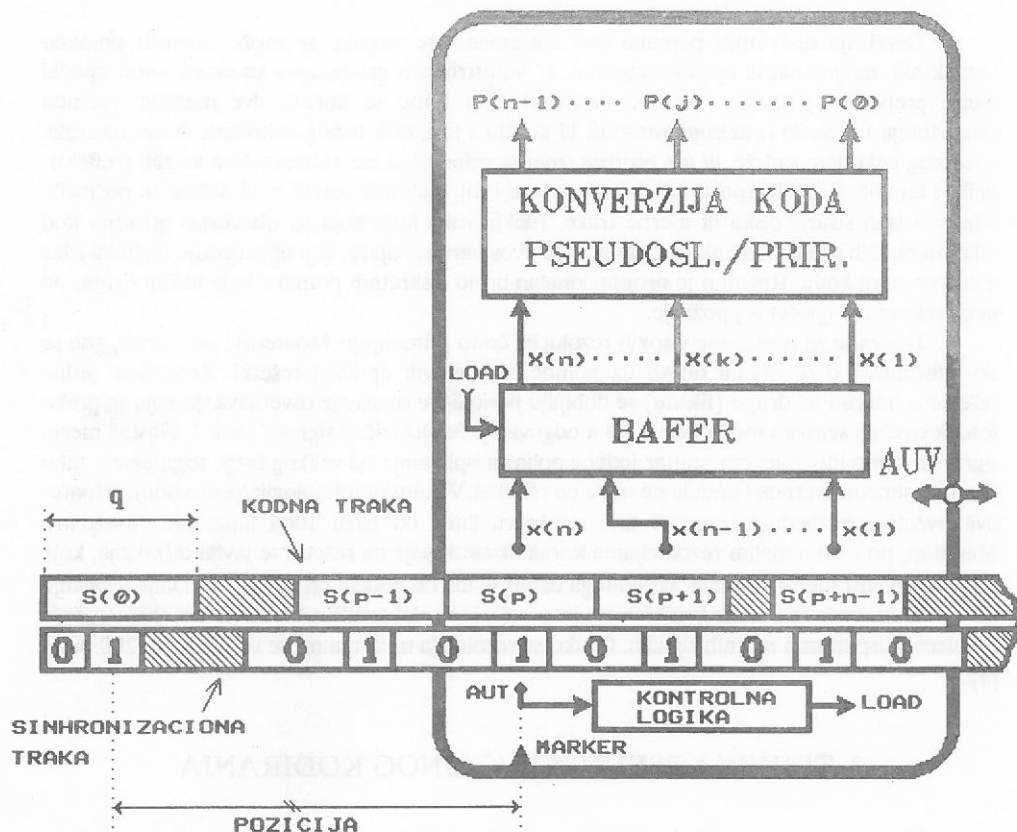
Danas se za postizanje visokih rezolucija često primenjuju Moare-ovi pretvarači, gde se do informacije o pomeraju dolazi uz pomoć Moare-ovih optičkih rešetki. Kretanjem jedne rešetke u odnosu na drugu (fiksnu) se dobijaju periodične oscilacije osvetljavanja koje se preko fotoelektičnih senzora mogu pretvoriti u odgovarajuće električne signale, slika 1. Nastali merni signal se stvara integracijom unutar jednog polja za ispitivanje od velikog broja segmenata, tako da male neravnomernosti podele ne utiču na rezultat. Vrhunska tehnologija proizvodnje Moare-ovih rešetki obezbeđuje izuzetno finu strukturu linija od blizu 1000 linija/mm ($q=1\mu\text{m}$). Međutim, pri ovako malim rezolucijama koraka kvantizacije na rešetki se javlja difrakcija, koja utiče na tačnost mernih signala. Usled toga danas se ide do podele od $q=10\mu\text{m}$. Dalje uvećanje rezolucije merenja se postiže korišćenjem interpolacione elektronike, kojom se umnogostručuje frekvencija ispitivanih mernih signala. Ovakvo se rezolucija merenja može uvećati i do 200 puta, [4].

3. TEHNIKA PSEUDOSLUČAJNOG KODIRANJA

Kao rezultat najnovijih istraživanja na polju digitalnih pretvarača pozicije razvijena je tehnika pseudoslučajnog kodiranja, koja za određivanje apsolutne pozicije zahteva samo jednu kodnu traku (jedan bit po koraku kvantizacije). Identifikovanje apsolutne pozicije je bazirano na "osobini prozora" pseudoslučajnih binarnih sekvenci (PSBS) $\{S(p)/p=0,1,\dots,2^n-2\}$, [5]. Prema ovome bilo koja n -to bitna reč, $\{S(p+n-k)/k=n,\dots,1\}$, obezbeđena skeniranjem PSBS

pomoću prozora širine n , $\{X(k)/k=n, \dots, 1\}$, je jedinstvena i može u potpunosti identifikovati apsolutnu poziciju prozora p u odnosu na početak sekvence.

PSBS-a maksimalne dužine $2^n - 1$, generisana pomoću n -to bitnog pomeračkog registra i odgovarajuće povratne sprege [3], se nanosi na kodnu traku (slika 2). Problem neodređenosti očitavanja je rešen upotrebom spoljne sinhronizacione trake smeštene duž pseudoslučajne kodne trake, [2]. Uvek kad sinhronizaciona glava AUT detektuje marker predstavljen "logičkom 1" na sinhronizacionoj traci, vrši se očitavanje koda. Iako očitana pseudoslučajna kodna reč u potpunosti određuje trenutnu poziciju sistema u odnosu na početak staze, neophodno je izvršiti njenu konverziju u prirodni kod. Princip konverzije koda je detaljno opisan u [3], gde su autori predložili i novi algoritam sa dva puta manjim vremenom izvršenja. Time se uvećava maksimalna dozvoljena brzina kretanja.



Slika 2. Ilustracija primene tehnike pseudoslučajnog kodiranja

4. REALIZACIJA PRETVARAČA SA 12-BITNOM IZLAZNOM REZOLUCIJOM

Pretvarači pozicije inkrementalnog tipa su daleko jednostavnije konstrukcije od pretvarača apsolutnog tipa. Pored toga, u mnogim industrijskim primenama su neophodni, jer mogu obezbediti visoku rezoluciju merenja. Međutim, usled akumuliranja grešaka javljaju se veliki problemi u primeni ove metode. Ovde se predlaže rešenje koje eliminiše ovaj problem, a zadržava dobre osobine inkrementalne metode. To se postiže primenom metode pseudoslučajnog određivanja apsolutne pozicije, kojom se ustvari obezbeđuje autokalibracija mernog sistema. Iskorišćena je činjenica da je tehnika pseudoslučajnog kodiranja pogodna za kombinovanje sa inkrementalnom metodom. U eksperimentalne svrhe razvijen je merni pretvarač sa 12 bita izlaza u prirodnom kodu, slika 3.

Obzirom da su svi problemi rešeni softverski rešenje je fleksibilno i jednostavno se može prilagoditi postavljenim konkretnim zahtevima.

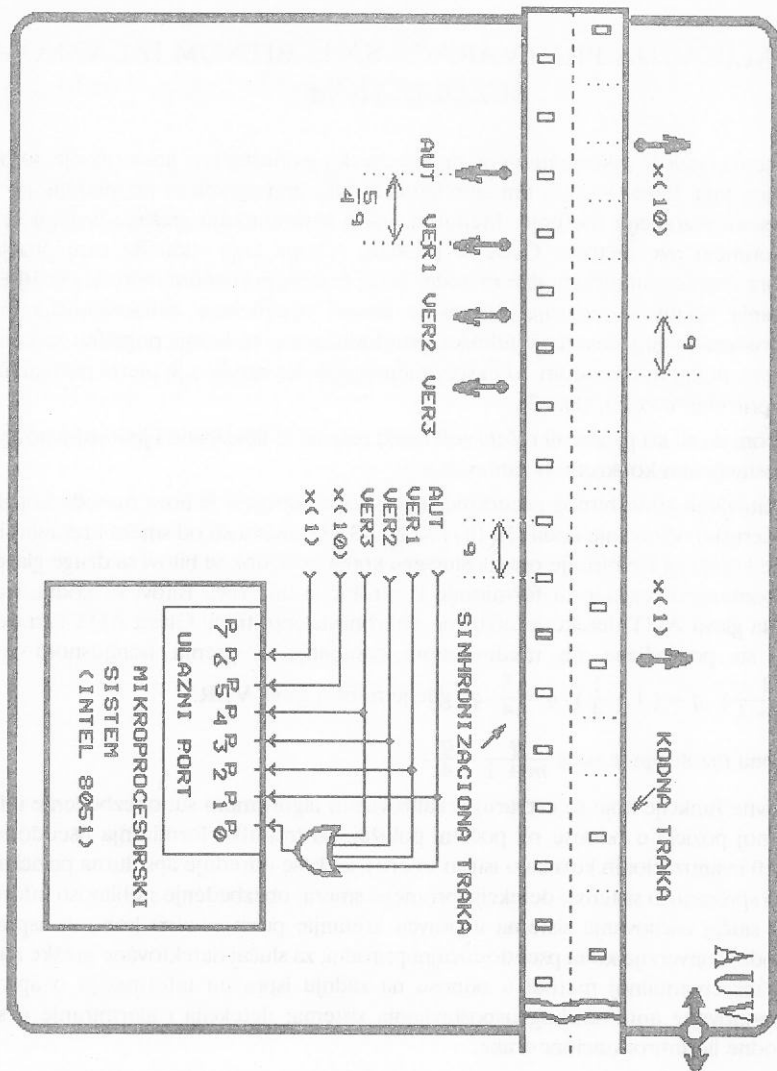
Za očitavanje 10-to bitnog pseudoslučajnog koda razvijena je nova metoda koja koristi dve glave za serijsko očitavanje koda ($X(10)$ i $X(1)$), [3]. U zavisnosti od smera kretanja sistema jedna glava se koristi za formiranje pseudoslučajne kodne reči, dok se bitovi sa druge glave vode u pomoćni pomerački registar za formiranje kontrolne kodne reči. Bitovi sa kodne trake se očitavaju kada glava AUT detektuje otvor na sinhronizacionoj traci. Glava AUT i tri dodatne glave VER su postavljene na međusobnom rastojanju S prema nonijusnom zakonu,

$$S = (1 + \frac{1}{m+1}) \cdot q = (1 + \frac{1}{4}) \cdot q = \frac{5}{4} \cdot q, \text{ gde je } m \text{ broj glava VER.}$$

Ukupna rezolucija je sada $\frac{q}{m+1} = \frac{q}{4}$.

Osnovne funkcije koje se ostvaruju realizovanim algoritmom su: obezbeđenje informacije o relativnoj poziciji u odnosu na početni položaj, do trenutka formiranja pseudoslučajne kodne reči (10 kvantizacionih koraka u istom smeru), kada se određuje apsolutna pozicija i daje informacija o spremnosti sistema; detekcija promene smera; obezbeđenje stabilnosti informacije o poziciji za slučaj oscilovanja sistema u pravcu kretanja; permanentna kontrola ispravnosti očitavanja koda; konverzija koda pseudoslučajni/prirodni; za slučaj detektovane greške nastavak rada prema inkrementalnoj metodi u odnosu na zadnju ispravnu informaciju o apsolutnoj poziciji, do ponovnog automatskog uspostavljanja sistema; detekcija i alarmiranje u slučaju zaprljanja kodne ili sinhronizacione trake.

Ovakvim pristupom su istovremeno omogućene znatno veće brzine kretanja u odnosu na klasične pseudoslučajne enkodere. U okviru simulacije kritični delovi algoritma su realizovani na mašinskom jeziku korišćenjem Intelovog mikroprocesora 8051, koji radi na 12 MHz. Za konkretnu realizaciju merenjem je određena maksimalna dozvoljena relativna brzina kretanja (izražena u broju pređenih kvantizacionih koraka u sekundi) i ona iznosi $118 \frac{kv \cdot kor}{s}$.



Slika 3. Pretvarač pozicije sa 12-bitnom izlaznom rezolucijom.

5. ZAKLJUČAK

Tehnika pseudoslučajnog kodiranja pozicije omogućava prevazilaženje problema akumuliranja grešaka kod inkrementalnih pretvarača pozicije. Primenom metode pseudoslučajnog određivanja apsolutne pozicije vrši se autokalibracija mernog sistema. Između dva određivanja

apsolutne pozicije merni sistem radi prema inkrementalnoj metodi. Kao što je prikazano u radu, pri tome se rezolucija merenja može uvećati primenom metode "nonijusa". Druga mogućnost je primena interpolacione elektronike. Ovakvim pristupom su istovremeno omogućene znatno veće brzine kretanja u odnosu na klasične linearne pseudoslučajne enkodere. Za konkretnu realizaciju je eksperimentalno određena maksimalna dozvoljena brzina kretanja i ona iznosi $118 \frac{kv \cdot kor}{s}$. Merni sistem nastavlja inkrementalno da radi i nakon prekoračenja ove brzine, ali se proporcionalno smanjuje učestanost autokalibracije. Pri tome, što je od velikog značaja, stalno pruža informaciju o režimu svog rada.

LITERATURA

/1/ J. Zygmunt, "Guided vehicles set manufacturing in motion", High Technology, pp. 16-21, Dec. 1986.

/2/ E. M. Petriu, "On the position measurement of automated guided vehicles using pseudorandom encoding", IEEE Trans. Instrum. and Meas., Vol. 38, No. 3, pp. 799-803, June 1989.

/3/ D. Denić, M. Arsić, D. Živanović i M. Pešić, "Apsolutni digitalni merni pretvarači pozicije sa pseudoslučajnim kodiranjem", ETAN 1991, IX sveska, pp. 417-424, Ohrid, Jun 1991.

/4/ S. Borner, "Langen and winkel inkremental messen: grenzen der genauigkeit", Elektronik, Vol. 39, No. 3, pp. 88-91, 2Feb. 1990.

/5/ F. J. MacWilliams and N. J. A. Sloane, "Pseudo-random sequences and arrays", Proceeding of IEEE, Vol. 64, No. 12, pp. 1715-1728, December 1976.

AUTOMATIZACIJA OBRADNIH SISTEMA PRIMENOM PERSONALNIH RAČUNARA*

THE APPLICATION OF PC IN AUTOMATIZATION OF CONTROL OF MACHINE TOOLS

- *Dr Ratomir M. Ječmenica, dipl.maš.ing., vanr.prof., Tehnički fakultet - Čačak*
- *Miodrag Kukić, dipl.maš.ing., projektant, Tehnički fakultet - Čačak*

0. REZIME

U radu je prezentiran jedan primer, odnosno pristup, modernizaciji mašina alatki u cilju povećavanja njihovih eksploatacijskih karakteristika, odnosno tehničkih svojstava.

Izloženim postupkom, univerzalni koordinatni sto, pokretan koračnim motorima, preko PC računara, može se montirati na svaku bušilicu ili glodalicu i na taj način dobiti računarom upravljana mašina alatka.

ABSTRACT

The paper gives one example, that is, the approach to modernizing machine tools in order to increase their exploiting and technical features.

In the given procedure, a universal coordinate table can be mounted on each drilling or milling machine by mobile step motors, through PC. In that way CNC machine-tool can be obtained. A methodology and an example of automatization of product control applied in the industry of cutting-tools production is given in the paper.

-
- *Rad je nastao kao rezultat istraživanja na projektu "Revitalizacija postojećih tehnologija u industriji prerade metala" koga realizuju Mašinski fakultet Kragujevac i Tehnički fakultet Čačak a sufinansira RFTR.*

1. UVOD

Analizom proizvodnih kapaciteta domaće mašinske industrije, može se izvući sveopšti zaključak da je ona na niskom stepenu tehnološkog nivoa i uz to slabo iskorišćena. Sa druge strane, svetski trendovi u projektovanju proizvodnih sistema su maksimalno korišćenje naprednih visokih tehnologija: CAD/CAM (dizajniranje i proizvodnja uz pomoć računara), Rad je laserska merna tehnika, automatsko projektovanje tehnologije itd.

Imajući sve ovo u vidu, Institut tehničkog Takulteta u Čačku, nudi svoje viđenje mogućnosti za osavremenjavanje klasičnih obradnih sistema, opremanjem koordinatnim radnim stolom, pokretanim koračnim motorima a kojima se upravlja personalnim računarom. Ovim se značajno povećavaju proizvodni potencijali mašine sa aspekta proizvodnosti, tačnosti kao i mogućnosti novih oblasti primene.

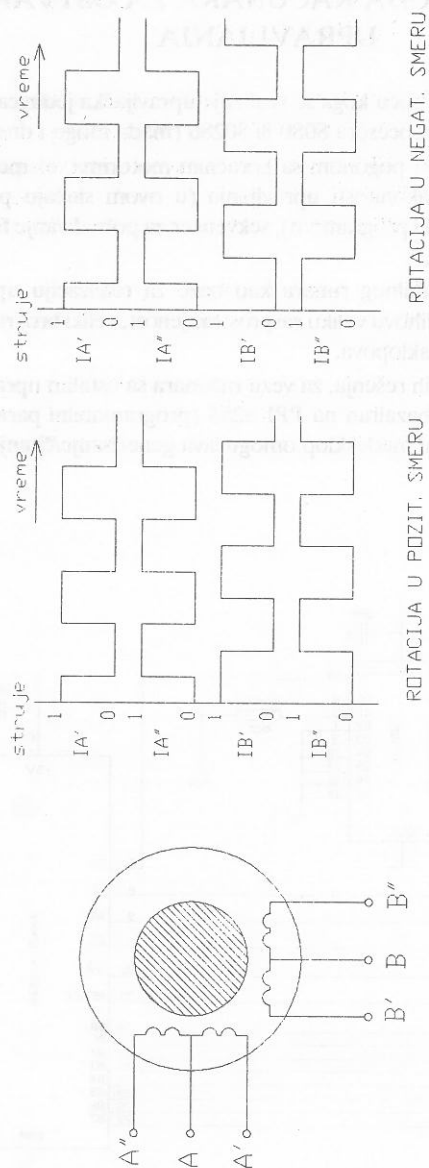
2. KONCEPCIJA UPRAVLJANJA KOORDINATNIM RADNIM STOLOM

Koordinatni radni sto je namenjen za montažu na univerzalnu bušilicu ili alatnu glodalicu, čineći joj pomoćni pribor. Pošto su ovo faze obrade nakon kojih najčešće sledi završna fina obrada, usvojen je koncept otvorenog sistema automatskog upravljanja, s obzirom na blaže kriterijume zahtevane tačnosti.

Za izbor pogona radnog stola su izabrani koračni motori spregnuti sa kugličnim zavojnim vretenima, koja ostvaruju radna kretanja sa moksimalno mogućom tačnošću, svodeći na minimum aksijalne zatore.

U kraćem prikazu koračnih motora može se reći da su to elektro - motori sa velikim brojem polova, kod kojih se odgovarajućim pobuđivanjem pojedinih namaotaja postiže "koračanje" rotora, odnosno, njegovo zaokretanje za mali ugao. Najčešće se u praksi sreću dvofazni motori sa bipolarnim napajanjem i 200 koraka - impulsa za pun obrtaj, koji u punokoračnom radu daju najmanji ugaoni pomeraj od 1.8 stepeni.

Za potpunu kontrolu upravljanja kretanja radnog stola, za svaku osu, potreban je po jedan davač (mikro-prekidač) krajnjeg položaja, za definisanje koordinatnog sistema mašine.



Sl.1. Šematski prikaz koračnog motora i dijagram pobude pojedinih faza motora

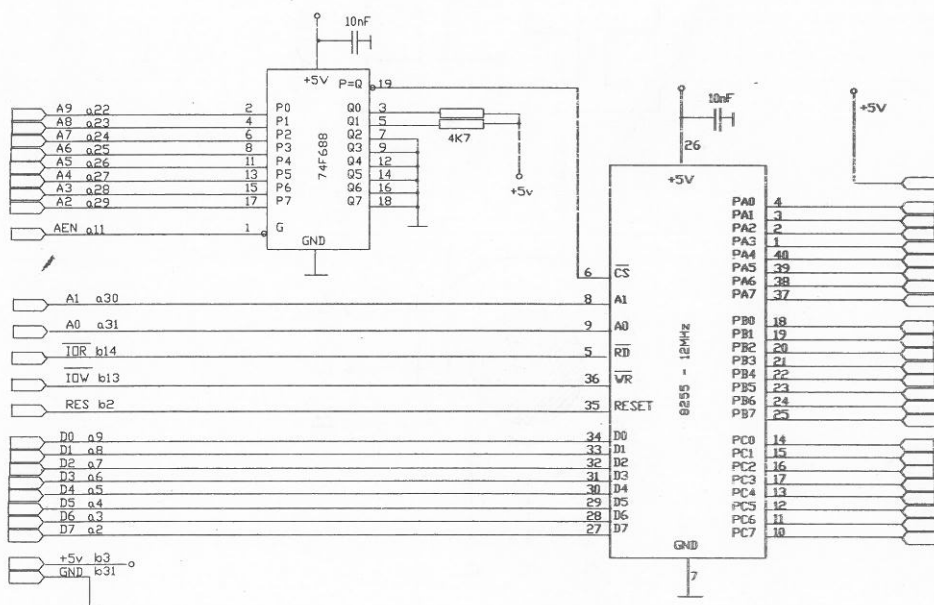
3. KONFIGURACIJA RAČUNARA ZA OSTVARIVANJE UPRAVLJANJA

Kao bazični računar pomoću koga se realizuje upravljačka jedinica, pogodan je IBP-PC ili kompatibilan, na bazi mikroprocesora 8080 ili 80286 (mada mogu i drugi).

Pri realizaciji upravljanja pogonom sa koračnim motorima, elementi koje takav sistem mora da ima su: generator zakonitosti upravljanja (u ovom slučaju personalni računar sa odgovarajućim veznim sklopom i programom), sekvencer za pobuđivanje faza motora, električni pojačivački sklop i sami motori.

Izbor PC-IBM/kompatibilnog runara kao baze za realizaciju upravljačke jedinice je danas opravdan s obzirom na njihovu veliku rasprostranjenost, veliki broj razvijenih programskih aplikacija i raznih veznih međusklopova.

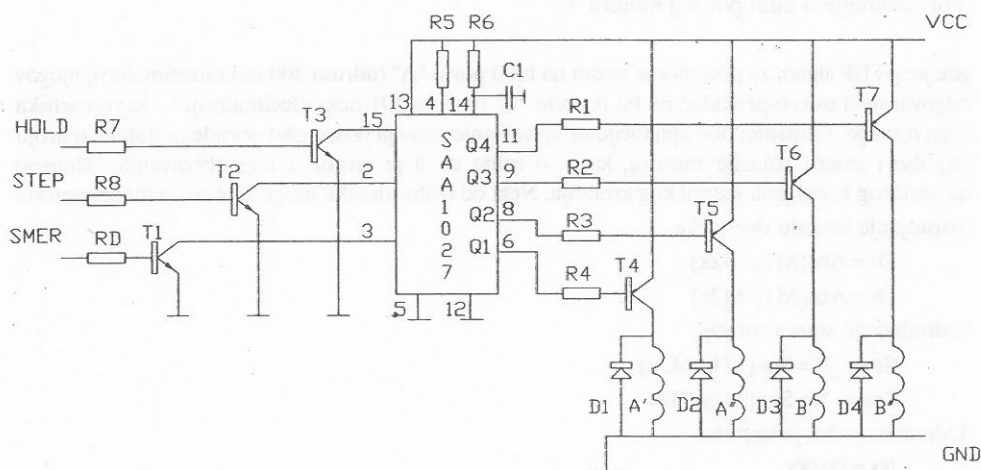
Pored postojanja gotovih rešenja, za vezu računara sa ostalim upravljačkim sklopovima, razvijen je namenski interfejs baziran na PPI 8255 (programabilni paralelni interfejs) čija je šema data na sl.br.2. Ovaj vezni međusklop omogućava generisanje/čitanje 24-bitnih paralelnih signala.



Sl. 2. Interfejs za vezu PC sa ostalim delovima upravljačkog sklopa: dekodera adresa - 74688 i programabilni paralelni ulazi/izlazi - 8255

Funkcija sekvencera za generisanje redosleda pobuđivanja faza motora, može se programski (logički) simulirati što uslođnjava razvoj upravljačkog program ili primeniti gotov - integrisani sklop koji obavlja pomenute funkcije. Autori su se odlučili za primenu integrisanog kola SAA1027 proizvodnje PHILIPS, koje u sebi objedinjava funkciju sekvencera i drajvera male snage. Na ulaze ovog kola potrebno je dovesti signale: CLOCK - takt u kome motor korača, SMER - informacija o smeru koračanja, HOLD - držanje punim momentom, dok kola na izlazima Q1, Q2, Q3 i Q4 daje signale za pobudu faza, sl.3.

Pojačivački sklop za napajanje faza motora zavisi od izbora motora kao i željenih karakteristika koje motori treba da postignu. Zbog jednostavnosti primene, izabrani su dvofazni koračni motori unipolarnog tipa (dve faze sa srednjim izvodom), uz linearno napajnje (ovakve motore proizvodi industrija ISKRA).



Sl. 3. Izgled sekvencera na bazi kola SAA1027 i pojačivačkog sklopa za napajanje unipolarnih koračnih motora - linearnog tipa

4. RAČUNARSKI PROGRAMI ZA OSTVARIVANJE UPRAVLJANJA

Prvi zadatak koji upravljački program nakon startovanja treba da obavi je inicijalizacija paralelnog porta koja se sastoji od upisa kontrolne reči uregistre kola 8255.

Sledeći zadatak je dovođenje mašine u nulti položaj. Ova operacija se sastoji od pokretanja pojedinih motora i očitavanja stanja mikro prekidača, sve dok ne detektuju kontakt, što se može ilustrovati sledećim primerom (Bo-rlan Turbo BASIC):

'Inicijalizacija portova

Out (&300,0)

Out (&301,0)

t=0.1

'Pozicioniranje u nulti položaj motora X

Do While In(&301)=1

Out (&300,1)

Delay t

Out (&300,0)

Delay t

Loop

'Pozicioniranje u nulti položaj motora Y

...

gde je: STEP signal za prvi motor vezan na bit 0 porta "A" (adresa 300 heksadecimalno), njegov odgovarajući mikro-prekidač na bit 0 porta "B" (adresa 301 heksadecimalno). t - je vremenska baza rotacije. Centralni deo aplikacije za upravljanje obavlja posao oko obrade podataka o broju impulsa i smeru rotacije motora, kao i o tome da li je motor u fazi ubrzavanja, odnosno dinamičkog kočenja ili jednolikog kretanja. Neki od ovih zadataka mogu se ilustrovati primerom:

'Rastojanje između dve tačke

$Dx = \text{Abs}(M1x - M2x)$

$Dy = \text{Abs}(M1y - M2y)$

'Određivanje smera rotacije

$\text{Smer_X} = \text{Sgn}(M1x - M2x)$

$\text{Smer_Y} = \text{Sgn}(M1y - M2y)$

'Određivanje broja impulsa

$Nx = Dx / Kx$

$Ny = Dy / Ky$

'Konstante

$\text{Dat} = 2^{\text{Smer_X}}$

$\text{Dat} = \text{Dat} + 3^{\text{Smer_y}}$

'Rotacija X motora

For I=1 to Nx

Out (&300, Dat+1)

Delay T(i)

Out (&300, Dat-1)

Delay T(i)

Next I

...

gde je: Kx i Ky prenosni odnosi mehanizma (mm/po impulsu motora), T(i) složena funkcija stanja motora - ubrzanje/kočenje (čije rešavanje zahteva posebnu analizu koja se ovde ne daje),

Dat konstanta koja definiše način priključivanja pojačivačkog stepena na interfejs, npr. signal SMER motora X priključen je na bit 2 porta "A", signal SMER motora Y priključen je na bit 3 porta "A" itd...

Sledeći potprogram ilustruje način postizanja kompatibilnosti sa AutoCAD - AUTO-DESK standardnim ASCII zapisom grafičkih informacija (DXF), čime je stvorena mogućnost preuzimanja podataka iz ovog a i drugih programskih paketa za crtanje i projektovanje u mašinstvu:

'Citanje DXF zapisa

Dim X(N), Y(N), R(N)

k=0

Open "I", #1, Im\$ + ".DXF"

Do While NOT Eof(1)

Iput #1, b\$

If b\$ = "CIRCLE" Then

k=k+1

INPUT #1, b8\$

INPUT #1, b0\$

INPUT #1, b10\$

INPUT #1, X0\$

INPUT #1, b20\$

INPUT #1, Y0\$

INPUT #1, b40\$

INPUT #1, r\$

X(k) = Val(X0\$)

Y(k) = Val(Y0\$)

r(k) = Val(r\$)

End if

Loop

Close

gde su sa X(k), Y(k) i R(k) obeležene koordinate i prečnici krugova, a Im\$ sadrži ime DXF fajla. Navedeni primer važi za AutoCAD V2.6 (R8), dok se za ostale verzije neznatno razlikuje.

5. ANALIZA TAČNOSTI UPRAVLJANJA

Tačnost putanje alata u odnosu na željenu konturu dela koji se obrađuje zavisi od tačnosti ugrađenog matematičkog aparata, logike koja upravlja motorima i same mašine alatke. Za sam matematički aparat koji se koristi pri analizi konture, može se smatrati da je dovoljno dobar i da neće akumulirati značajniju grešku dovoljnu za primenu u mašinstvu.

Logika koja se koristi za generisanje impulsa za pokretanje koračnih motora, stalno vrši kontrolu akumulirane greške tokom rotacije motora i vrši njenu korekciju, tako da ona ne može biti veća od 1 impulsa - koraka. Prevedeno na linearno kretanje radnog stola, za primer zavejnog

vretena sa korakom od 5 mm, iznosi 5/200 delova mm ili 0.025mm, što predstavlja i najmenje moguće pomeranje rezoluciju.

Takođe, sama mehanika radnog stola i mašine unosi grešku u ostvarivanju željene putanje alata, koja zavisi od kvaliteta koračnih motora (greška oko 3% od jednog koraka), spojnice, reduktora (ako motor nije direktno spojen sa zavojnim vretenom), kvaliteta vodica i zavojnih vretena itd.

6. ZAKLJUČAK

Ovde izneta koncepcija predstavlja otvoren sistem automatskog upravljanja koji nema povratnih informacija o stvarnom položaju alata u odnosu na željeni položaj. Međutim, ispravno dimenzionisan koračni motor u odnosu na posao koji obavlja uz optimalno opterećenje garantuje da će se za svaki impuls upravljanja ostvariti potrebna akcija.

Iz iznetih razmatranja, može se izvesti zaključak da na ovakav način modernizovan obradni sistem, može da zadovolji zahtevima u velikom broju primena, pogotovu u slučajevima prethodnih obrada glodanja i bušenja iza kojih slede završne fine obrade.

Jedan od glavnih razloga za primenu ovakvog pristupa osavremenjavanju proizvodne opreme su mala investiciona ulaganja s obzirom na ostvarene efekte. Još neke primene upravljačke jedinice za pogon koračnih motorana na bazi PC-ja, su u procesima automatizacije, robotici itd.

7. LITERATURA

1. Ječmenica R., Kukić M., Primena PC računara u upravljanju koordinatnim stolom kod mašina alatki, BIAM, Zagreb, 1990.g.
2. M. Tešević, PC/XT HARDWARE, Tehnička knjiga, Beograd, 1989.
3. ISKRA, elektromotorji, Proračun i izbor koračnih motora, Železniki, 1989.g.
4. AUTODESK LTD., Auto CAD R11 REFERENCE MANUAL, London, GB.
5. Takashi Kejno, DRIVE SYSTEM AND CIRCUITRY, Tpkyo, Japan, 1988.
6. Phitron-Elektronik GmbH, Lieferubersicht, SRN.

OPTIMIZACIJA KORAKA KUGLIČNIH ZAVOJNIH VREtenA
ZA FAMILIJU OBRADNIH CENTARA TIPa HMC

Bojović Prvoslav, dipl. inž., viši saradnik
LOLA Institut, Kneza Višeslava 70a, 11030 Beograd

Rezime

Pogoni pomoćnih kretanja, kod savremenih višeosnih numerički upravljivih mašina alatki, kao što je familija obradnih centara HMC se sastoje iz regulacionog kola, motora i mehaničkog prenosnika. Nove konstrukcije motora i regulatora su omogućile direktno spajanje motora i kugličnog zavojnog vretena, pa optimalni izbor koraka zavojnog vretena presudno utiče na kvalitet kompletnog obradnog sistema. U ovom radu se daje opis strukture pomoćnih pogona familije HMC, osnovni matematički izrazi za određivanje optimalne vrednosti koraka kugličnog zavojnog vretena, sa opisom programskog paketa koji omogućava efikasan i jednostavan način izbor ovog parametra.

OPTIMIZING PITCH OF BALL SCREW FOR THE FAMILY OF HORIZONTAL MACHINING CENTERS

SUMMARY

The drive auxiliary motion by modern moreaxes numerically controlled machine tools, i.e. the family of machining centres -HMC- are composed of controlling device, induction motor and mechanical transmission gear. New constructions of induction motors and controllers have enabled direct connection of a motor with ballscrew so that optimal choice of pitch of ballscrew decisively influenced to the quality completely machining center. In this article a structure of auxiliary drive for family horizontal machining center, basic mathematics expressions for determining pitch of ball screw with Software-system which make possible efficiency and simply way to the choice this parameter are described.

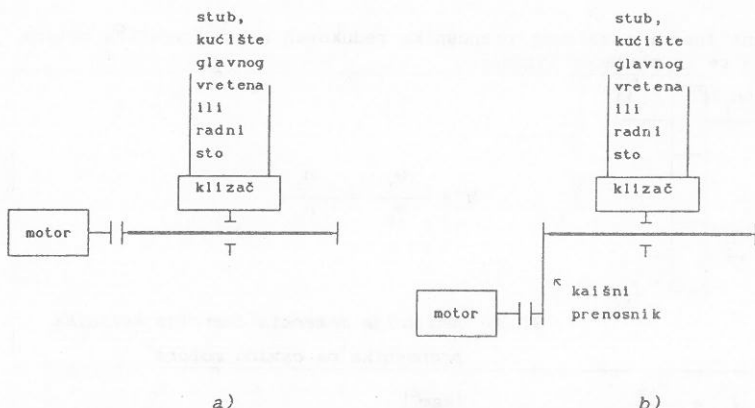
U V O D

Na bazi višegodišnjeg iskustva stručnjaka HK "Ivo Lola Ribar", u oblasti proizvodnje mašina alatki posebno horizontalnih obradnih centara, proizašla je familija nove generacije obradnih centara tipa HMC sa znatno poboljšanim karakteristikama u odnosu na predhodnu familiju tipa HBG. Nova familija horizontalnih obradnih centara obuhvata pet mašina u osnovnom izvođenju i to: HMC 400, HMC 500, HMC 630, HMC 800 i HMC 1000.

Nova generacija obradnih centara ima znatno viši nivo radnih režimskih i energijskih karakteristika u odnosu na predhodna rešenja. Izvodi se sa paletnim izmenjivačima i novim sistemom CNC upravljanja, što omogućuje ovim obradnim centrima ugradnju u FPS i upravljačku komunikaciju sa čelijskim kontrolerom, odnosno sa nadređenim upravljačkim sistemom. Kako u FPS-u, tako i u autonomnom izvodjenju ovi obradni centri omogućuju visoku stabilnost obradnog procesa i visoku produktivnost rezanja, što ih svrstava u svetski konkurentne proizvode najviše tehnologije. To potvrđuju i tehnološke mogućnosti, oblast primene, i tehničke karakteristike obradnih centara tipa HMC /5/. Ovde se navode osnovne karakteristike samo nekih tipova iz familije horizontalnih obradnih centara nove generacije i to one koje karakterišu pogone pomoćnih kretanja:

| RADNO PODRUČJE | | Tipovi obradnih centara | | |
|--|--------|-------------------------|----------|-----------|
| | | HMC400 | HMC630 | HMC1000 |
| X-osa | mm | 600 | 1000 | 1400 |
| Y-osa | mm | 550 | 800 | 1200 |
| Z-osa | mm | 550 | 800 | 1200 |
| Min rastojanje ose vretena od površine stola | mm | 100 | 150 | 180 |
| Min rastojanje čela vretena od ose stola | mm | 100 | 120 | 120 |
| RADNI STO/PALETA | | | | |
| Veličina | mm | 400x400 | 630x630 | 1000x1000 |
| Max opterećenje | kg | 600 | 1200 | 2500 |
| GLAVNO KRETANJE | | | | |
| Sile rezanja u X,Y,Z pravcu | N | 10000 | 15000 | 20000 |
| BRZINE KRETANJA | | | | |
| Radni hod X,Y,Z-osa | mm/min | 1-5000 | 1-5000 | 1-4000 |
| Brzi hod X,Y,Z-osa | m/min | 20 | 20 | 15 |
| POZICIONIRANJE X, Y, Z-OSE | | | | |
| Direktni sistem | mm | +/-0.010 | +/-0.010 | +/-0.015 |
| Indirektni sistem | mm | +/-0.016 | +/-0.016 | +/-0.020 |
| PONOVLJIVOST X, Y, Z-OSE | | | | |
| Direktni sistem | mm | +/-0.005 | +/-0.008 | +/-0.010 |
| Indirektni sistem | mm | +/-0.008 | +/-0.012 | +/-0.012 |

Moduli pomoćnih translatorskih kretanja se odnose na ose X, Y i Z, sa direktnim prenosom momenta i snage za tipove obradnih centara od HMC 400 do HMC 630, a za tipove HMC 800 i HMC 1000 moduli su sa remenim prenosnikom izmedju motora i kugličnog zavojnog vretena, kao što je šematski prikazano na slici 1.



Sl. 1. Šematski prikaz pogona pomoćnih kretanja horizontalnih obradnih centara
a) - kod HMC 400, 500 i 630; b) - kod HMC 800 i 1000

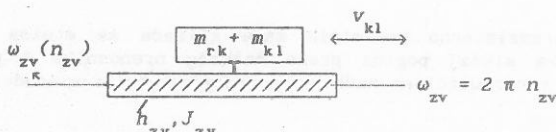
Dimenzionisanje i definisanje strukture pogona pomoćnih kretanja

Dimenzionisanje i definisanje strukture pogona pomoćnih kretanja obuhvata postupak izbora parametara i modula regulacionog kola, pogonskog motora sa napajanjem, mehaničkog prenosnika i mernog sistema. Ovde se prikazuje postupak optimizacije koraka kugličnog zavojnog vretena i maksimalnog ubrzanja translatorno pokretnog izvršnog organa obradnih centara.

Odredjivanje momenata inercije

Za optimalno definisanje prenosnika pogona pomoćnog kretanja, potrebno je izvršiti izračunavanje momenata inercije mehaničkih komponenta prenosnika i redukovati ih na osu pogonskog motora.

Moment inercije translatorno pokretnih masa redukovan na osu vratila motora, u slučaju prenosnika zavojno vreteno-recirkulaciona navrtka, izračunava se iz sledećeg izraza:



Sl. 2. Redukcija inercije translatorno pokretnih masa na osovinu motora, prenosnik zavojno vreteno-recirkulaciona navrtka

$$J_{tm-1} = (m_{rk} + m_{kl}) \left(\frac{h_{zv}}{2\pi} \right)^2 \quad [kgm^2]$$

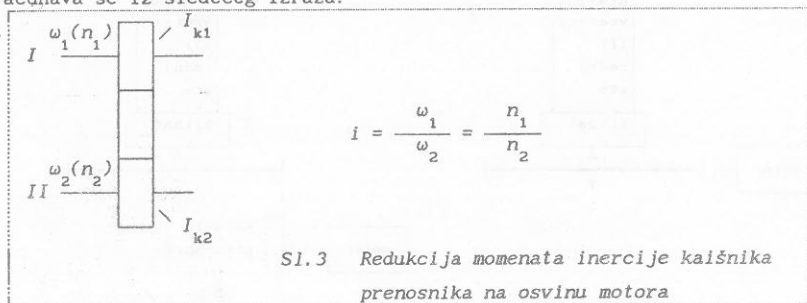
$$J_{tm-1r} = J_{tm-1} / i^2 \quad [kgm^2]$$

Moment inercije zavojnog vretena se izračunava iz sledećeg izraza:

$$J_{zv} = \frac{\rho}{32} \pi d_1^4 l_1 \quad [kgm^2]$$

$$J_{zv-r} = J_{zv} / i^2 \quad [kgm^2]$$

Moment inercije kaišnog prenosnika redukovano na osu vratila motora, izračunava se iz sledećeg izraza:



$$J_p = J_{k1} + \frac{J_{k2}}{i^2} \quad [kgm^2]$$

$$J_{k1} = \frac{\rho}{32} \pi D_1^4 b_1 \quad [kgm^2]$$

$$J_{k2} = \frac{\rho}{32} \pi D_2^4 b_2 \quad [kgm^2]$$

Momenti inercije rotora motora (J_m) i spojnice (J_s) se uzimaju iz kataloga proizvođača.

Ukupan moment inercije masa redukovano na osu vratila motora, za slučaj pogona pomoćnog kretanja preko kaišnog prenosnika i prenosnika kugličnog zavojnog vretena, izračunava se iz sledećeg izraza:

$$J_{uk1} = J_{tm-1r} + J_p + J_{zv-r} + J_m + J_s \quad [kgm^2]$$

U slučaju pogona pomoćnog kretanja gde su zavojno vreteno i motor direktno spojeni, ukupan moment inercije se izračunava iz izraza koji je adekvatan prethodnom pri čemu treba izostaviti sabirak koji definiše moment inercije kaišnog prenosnika.

Ubrzanje klizauča

Ugaono ubrzanje na osovini motora je definisano sledećim izrazom:

$$\varepsilon = M_{uk} / J_{uk}$$

Ubrzanje translatorno pokretnih masa klizauča sa stolom ili stubom mašine alatke za slučaj pogona preko kaišnog prenosnika i prenosnika zavojno vreteno recirkulaciona navrtka, izračunava se iz sledećeg izraza:

$$a = \frac{v_t}{dt} = \frac{\frac{h}{2} \frac{z_v}{i} \omega}{2 \pi i} \cdot \frac{M_{uk}}{(m_{rk} + m_{k1}) \left(\frac{h}{2} \frac{z_v}{i} \right)^2 + J_p + J_{zv-r} + J_m + J_s}$$

Optimizacija koraka zavojnog vretena

U cilju postizanja što veće efikasnosti pogonskih jedinica odnosno ostvariti željena ubrzanja klizauča sa manjom snagom neophodno je izvršiti optimizaciju nekih parametara mehaničkog prenosnika pogona pomoćnog kretanja mašina alatki.

Na osnovu napred navedenih izraza može se izvesti zaključak da je najpovoljnije izvršiti optimizaciju koraka (h_{zv}) zavojnog vretena, prenosnika zavojno vreteno recirkulaciona navrtka, i prenosni odnos (i) kaišnog prenosnika. Ovi parametri imaju dominantan uticaj na veličinu ubrzanja, a sa aspekta konstrukcije najlakše se mogu menjati odnosno optimizirati.

Da bi smo izvršili optimizaciju koraka (h_{zv}) zavojnog vretena potrebno je da nadujemo ekstremnu vrednost funkcije ubrzanja za promenljivu h_{zv} , pa

Je:

$$a_1 = f_1(h_{zv}) = \frac{h_{zv} i}{2\pi} \frac{M_{uk}}{(m_{rk} + m_{kl}) \left(\frac{h_{zv}}{\pi}\right)^2 + (J_p + J_{zv-r} + J_m + J_s) i^2}$$

Ova funkcija će imati maksimum ako je:

$$h_{zv-opt} = 2\pi \sqrt{\frac{(J_p + J_{zv-r} + J_m + J_s) i^2}{m_{rk} + m_{kl}}}$$

Maksimalna vrednost ubrzanja će biti određena izrazom:

$$a_{1max} = M_{uk} \frac{\pi i}{(m_{rk} + m_{kl}) h_{zv-op}}$$

Optimizacija prenosnog odnosa i kaišnog prenosnika

Optimizacija prenosnog odnosa (i) kaišnog prenosnika se vrši na taj način što nadujemo ekstremnu vrednost funkcije ubrzanja za promenljivu i pa

Je:

$$a_2 = f_2(i) = \frac{h_{zv} i}{2\pi} \frac{M_{uk}}{(m_{rk} + m_{kl}) \left(\frac{h_{zv}}{\pi}\right)^2 + (J_r + J_{zv-r} + J_m + J_s) i^2}$$

Ubrzanje će imati maksimalnu vrednost za:

$$i = i_{opt} = \sqrt{\frac{(m_{rk} + m_{kl}) \left(\frac{h_{zv}}{2\pi}\right)^2 + J_{zv}}{J_r + J_m + J_s}}$$

Maksimalna vrednost ubrzanja će biti određena izrazom:

$$a_{2max} = M_{uk} \frac{h_{zv}}{4\pi (J_r + J_m + J_s) i_{opt}}$$

Programski paket za optimizaciju i izbor mehaničkog prenosnika

Na osnovu napred iznetih razmatranja, očigledno je da sprovođenje potrebnih proračuna za dimenzionisanje i izbor optimalnog mehaničkog prenosnika predstavlja obiman posao. Zadatak projektanta pogona pomoćnih kretanja je da odabere optimalne komponente, što još više usložava zadatak i predstavlja veoma mukotrpan i dugotrajan posao, ukoliko se ne koristi računar. Prema napred izloženim metodama razvijen je programski paket pod radnim nazivom LOLA-Feed, za dimenzionisanje i optimizaciju mehaničkog prenosnika pogona pomoćnih kretanja. Ovaj programski paket je testiran na primerima dimenzionisanja i optimizacije mehaničkog prenosnika za pomoćna kretanja na obradnim centrima familije HBG i HMC. Program je napisan u fortranu za PC IBM kompatibilne računare. Organizacija programa je takva da

se na ekranu posle startovanja programa pojavljuju maske koje vode projektanta kroz program. Izgled ulaznih maski prikazan na sledećoj slici.

| ILR - LOLA Institut Maš. sistemi i tehn. obrade rezanjem | | ILR - LOLA Institut Maš. sistemi i tehn. obrade rezanjem | |
|--|-----------------------|--|-----------------------|
| Tip mašine: Osa mašine: | Datum: Projektant: | Tip mašine: Osa mašine: | Datum: Projektant: |
| DIMENZIONISANJE I IZBOR ELEMENATA MEHANIČKOG PRENOSNIKA 1. Zavojno vreteno rec. navrtka 2. Hidrostatički zavojni par 3. Zupčanik zupčasta letva Izaberite opciju: | | DIMENZIONISANJE I IZBOR ZAVOJNOG VREtenA SA RECIRKULACIJOM NAVRTKOM 1. Unos ulaznih podataka 2. Prikaz parametara izabranog zavojnog para 3. Optimizacija koraka kugličnog zavojnog vretena Izaberite opciju: | |
| F1-Pomoć ESC - Kraj | | F1-Pomoć ESC - Kraj | |

Program je organizovan tako da pored proračuna mehaničkih karakteristika pri dimenzionisanju i optimizaciji mehaničkog prenosnika uzima u obzir i ekonomske parametre, kao što su cena, vreme nabavke, želja kupca i usvojeni modularni sistem projektovanja u našem preduzeću.

Zaključak

Pogoni pomoćnih kretanja savremenih obradnih sistema predstavljaju osnovni podsistem čiji kvalitet i pouzdanost presudno utiču na kvalitet i pouzdanost kompletnih obradnih sistema. Projektant pogona pomoćnih kretanja ima odgovoran zadatak da izvrši dimenzionisanje i optimalan izbor velikog broja komponenta ovog podsistema, kako bi se realizovali tehnološki zahtevi postavljeni pred određeni obradni sistem.

Programski paket LOLA-Feed, omogućavaju relativno brz ali pre svega pouzdan način rešavanja ovih problema. Projektantu pogona pomoćnih kretanja su na raspolaganju baze podataka kako sa pogonskim motorima, zavojnim vretenima, ležajevima, tako i sa svim podacima koji definišu moguće tehnološke operacije na nekom obradnom sistemu, za definisane tehnološke zahteve. Dok mu razvijeni programski paket omogućava komunikaciju sa ovim bazama i u interaktivnom radu on definiše parametre i bira optimalne komponente kompletne strukture pogona pomoćnih kretanja obradnih sistema.

Literatura

- [1] P. Bojović, Z. Kočović, Dimenzionisanje i izbor motora pogona pomoćnih kretanja "Lola" obradnih centara, 17 Jupiter konferencija, Zbornik radova, Kopaonik (1991), str. 73-80.
- [2] H. Gross, Electrical Feed Drives for Machine Tools, Siemens, (1983)
- [3] M. Kalajdžić, Tehnologija Mašinogradnje 1, Mašinski fakultet Beograd (1986)
- [4] R. Motika, D. Ciglar, Optimizacija posmičnih pogona NU-alatnih strojeva, Strojarsvo 28(1986), 229-233
- [5] Milačić, V., Mašine alatke I, Mašinski fakultet, Beograd (1980)
- [6] Weck, M., Werkzeugmaschinen, band 3, Automatisierung und Steuerungstechnik VDI-Verlag, Dusseldorf (1982)
- [7] Katalogi proizvođača motora i zavojnih vretena

PRILOG ISPITIVANJU MAGNETNIH PRIBORA ZA STEZANJE OBRADAKA KOD RAVNIH BRUSILICA

A CONTRIBUTION TO THE TESTING OF MAGNETIC PLATFORMS FOR WORKPIECE CLAMPING ON SURFACE GRINDERS

Borojev mr Ljubomir, asistent

Zeljковић mr Milan, asistent

Gatalo dr Ratko, red.prof.

ČInstitut za proizvodno mašinstvo, FTN, Novi Sad

Rezime:

Ekperimentalna ispitivanja koja se realizuju u okviru Laboratorije za mašine alatke IPM-FTN usmerena su u dva pravca. Prvi predstavlja razvoj metodologije ispitivanja i provera novih konstrukcionih rešenja. Drugi se odnosi na ispitivanja prema poznatoj ili postavljenoj metodologiji izabranih predstavnika iz proizvodnje radi utvrđivanja njihovih karakteristika ili ponašanja.

U ovom radu je dat prikaz takvih ispitivanja na primeru magnetne stezne ploče projektovane i realizovane od jednog domaćeg proizvođača. Opisan je način ispitivanja i primenjena instrumentacija, a dati su i neki od rezultata.

Summary:

Experimental investigations realized in Laboratory for machine tools IPM-FTN are aimed at two directions. The basic one represents the development of methods for testing and verification the new constructions. The second direction refers to the standardized and more often specific testing some representative from production because of its behaviour or features determination.

This paper deals with an example of such investigations. The object was a permanent magnetic chuck, designed and produced in a domestic factory. Testing procedure is discussed, applied devices and instrumentation are described and some results are presented too.

1.0 UVOD

Eksperimentalna ispitivanja predstavljaju najpouzdanije metode za određivanje tehničkih parametara nekog proizvoda. U mnogim slučajevima metodologija eksperimentalnog ispitivanja nije jednoznačno definisana, te je često neophodno, zavisno od objekta, tehničkih parametara i raspoložive instrumentacije, definisati metodologiju i postupak ispitivanja. Nije retkost da kod proizvoda šire namene u različitim zemljama, odnosno kod različitih proizvođača, postoje različite metodologije ispitivanja. Pri korišćenju prezentiranih podataka treba uvek imati u vidu i metodologiju, tj. način na koji se došlo do datih podataka. Sem toga, pri postavljanju metodologije ispitivanja treba voditi računa i o svrhi ispitivanja tj. da li ono ima za cilj proveru projektovanog rešenja ili se treba koristiti u serijskoj proizvodnji nekog proizvoda.

Imajući prethodno u vidu u radu je izvršen pokušaj da se definiše metodologija ispitivanja magnetnih pribora, i na primeru jednog konstrukcionog rešenja ista proveriti. Pri tome se napominje da je predložena metodologija prikladna prvenstveno za ispitivanje pojedinačnih rešenja.

2.0 ISPITIVANJE SILE STEZANJA MAGNETNE PLOČE

2.1 Objekat ispitivanja

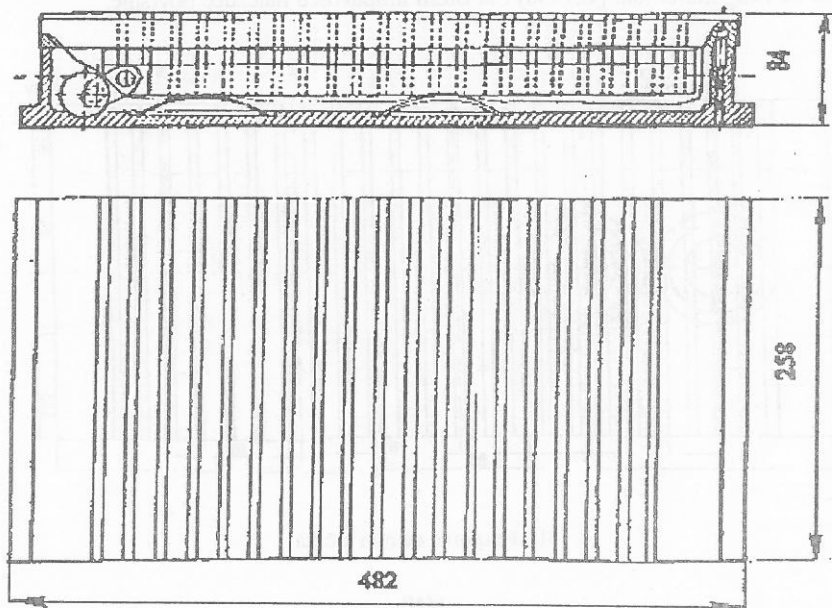
Magnetne ploče sa permanentnim magnetima su namenjene za stezanje radnih predmeta pri izvođenju operacija obrade ravnog brušenja, poluzavršnog i završnog glodanja, rendisanja i sličnih operacija obrade ravnih površina. Primena magnetnih ploča sa permanentnim magnetima uslovljena je karakteristikama istih, među kojima su najznačajnije: skraćivanje pomoćnog vremena za stezanje i zamenu obradaka (5-8 puta u odnosu na mehaničko stezanje [1]); prosta i kruta konstrukcija; energetska autonomnost; prosto i lako rukovanje i dug vek eksploatacije (velika pouzdanost). Pouzdanost ovih pribora definisana je prvenstveno pouzdanošću mehanizma za uključivanje i isključivanje.

Pokazatelji kvaliteta ovih pribora mogu se iskazati kroz tehničke, konstrukcione i ekonomske parametre. Prvi su vezani sa tehničkim uslovima i standardima, a odnose se na veličinu sile stezanja, tačnost, dimenzije, krutost itd. Konstrukcioni pokazatelji magnetnih ploča predstavljaju karakteristike konstrukcije vezane za udobnost eksploatacije, opsluživanje i upravljanje, podobnost za remont i održavanje, ergonomske parametre itd. Osnovni konstrukcioni pokazatelji kvaliteta magnetnih ploča sa permanentnim magnetima su parametri zaštite magnetnih lamela od nedozvoljenih udara, vibracija i zagrevanja, kao i otkaz mehanizma za ručno uključivanje. Ovi konstrukcioni parametri se ponekad prikazuju kroz objedinjen kriterijum kvaliteta - srednje vreme eksploatacije pribora bez otkaza. Ekonomski pokazatelji kvaliteta vezani su za troškove izrade i eksploatacije ovih pribora.

Ispitivana magnetna ploča, čije je prvenstveno tehničke parametre kvaliteta trebalo utvrditi, prikazana je na sl.1.

2.2 Postupak ispitivanja

Postupak ispitivanja je u uskoj povezanosti sa tehničkim parametrima koje treba ustanoviti. Za magnetne ploče sa permanentnim magnetima, su prema nekim od inostranih izvora [1], [2] osnovni tehnički parametri specifična sila stezanja - odvajanja, hrapavost radne i osnovne površine, krutost, veličina sile na ručici za uključivanje i slično. Metodologija ispitivanja pojedinih od ovih parametara nije jednoznačno određena i različita je u pojedinim zemljama, odnosno kod pojedinih proizvođača ovih pribora.

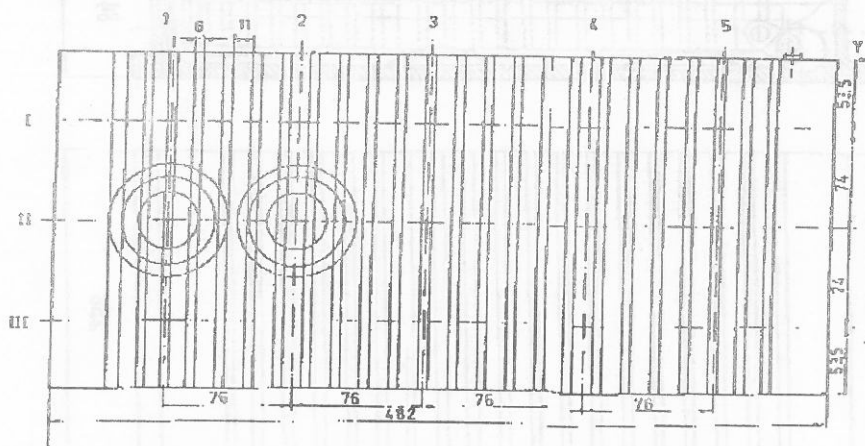


Sl.1 Magnetna ploča sa permanentnim magnetima

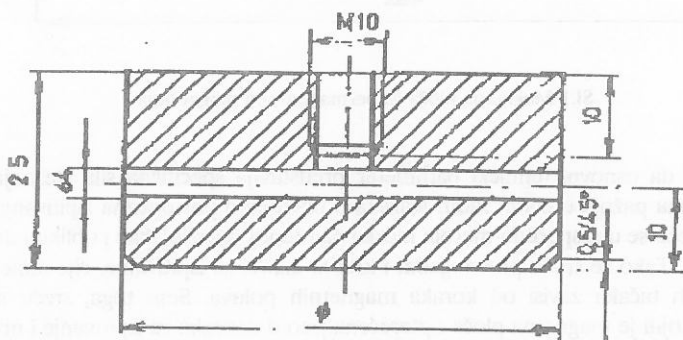
Svakako da osnovni tehnički parametar predstavlja specifična sila stezanja, čemu se posvećuje posebna pažnja u ovom radu. Razlika u pojedinim postupcima ispitivanja specifične sile stezanja ogleda se u rasporedu mernih tačaka na radnoj površini, kao i obliku i dimenzijama opitnih uzoraka. Tako se sreću pravougaoni i kružni uzorci za ispitivanje, čije dimenzije, kao i raspored mernih tačaka zavisi od koraka magnetnih polova. Sem toga, sreću se postupci ispitivanja kod kojih je magnetna ploča opterećena pored uzoraka za ispitivanje i nizom drugih uzoraka istih dimenzija koji su postavljeni proizvoljno, ili po strogo definisanim zonama na radnu površinu magnetne ploče. Neki autori [2] predlažu ispitivanje sile stezanja duž radne površine

pomeranjem uzorka za ispitivanje u tangencijalnom pravcu i kontinualnim zapisivanjem vrednosti sile.

Na osnovu prethodno izloženog, za ispitivanje magnetne ploče sa permanentnim magnetima predložena je metodologija sa kružnim uzorcima različitog prečnika sa diskontinualnim mernim tačkama po radnoj površini bez dodatnog opterećenja drugim uzorcima. Sem toga, imajući u vidu mogućnost korišćenja datog pribora za različite operacije obrade, a ne samo ravno brušenje, predlaže se ispitivanje specifične sile stezanja u dva pravca: normalnom i tangencijalnom. Izbor i raspored mernih tačaka je izvršen tako da se sa što manjim brojem obuhvati cela radna površina, naravno sa uzorkom najvećih dimenzija (sl. 2). Dimenzije uzoraka su tako odabrane da omogućuju stezanje preko jednog permanentnog magneta, dva, tri četiri i pet, na osnovu čega su definisani prečnici uzoraka $\varnothing 17$, $\varnothing 23$, $\varnothing 40$, $\varnothing 57$ i $\varnothing 74$ /mm/ (sl.3). Pri tome se vodilo računa da se isti uzroci koriste za ispitivanje normalne i tangencijalne sile. Svi uzorci su od istog materijala (Č.1530) i sa istom hrapavošću naležuće površine.



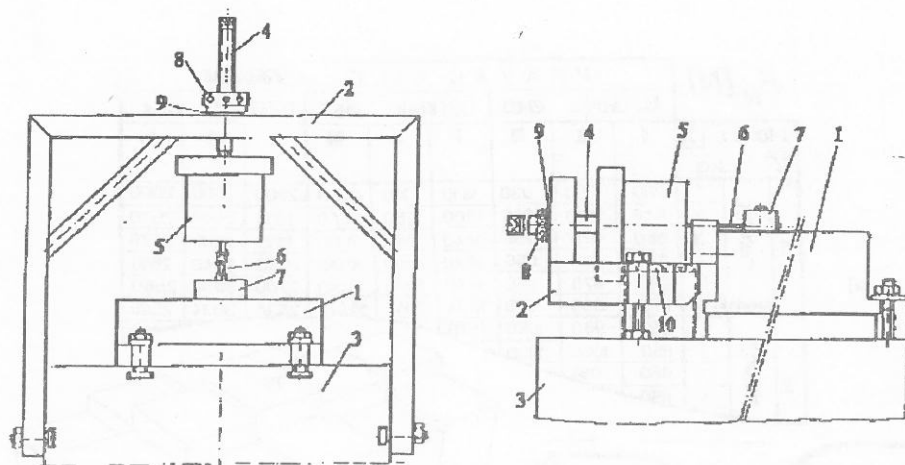
Sl.2 Raspored mernih tačaka



Sl.3 Izgled uzorka za ispitivanje veličine sile odvajanja i pokretanja

2.3 Pribor i instrumentacija

U skladu sa definisanom metodologijom, projektovani su odgovarajući pribori za ispitivanje sile stezanja u normalnom pravcu i sile pokretanja u tangencijalnom pravcu (sl. 4). Magnetna ploča (1) i kruti ramni nosač (2), pričvršćeni su za fiksni sto (3). Na nosač je preko zavrtnja (4) postavljen piezoelektrični dinamometar KISTLER tip 9271A (5). Dinamometar je elastičnim spojem (6) (lanac u slučaju FN i sajla pri F_r) povezan sa uzorkom (7). Generisanje sile vršeno je ručno putem navrtke (8). U cilju smanjenja sile trenja između navrtke i ramnog nosača, postavljen je aksijalni kuglični ležaj (9). Registrovanje veličine sile vršeno je putem analognog pokazivača KISTLER tip 5511 i svetlosnim pisačem Hottinger AF8UV-G. U svakoj mernoj tački vršeno je ispitivanje primenom uzoraka prečnika $\varnothing 40$, $\varnothing 57$ i $\varnothing 74$. Manji prečnici uzoraka koji su bili predviđeni, nisu se mogli koristiti jer su probna merenja pokazala nepouzdanost rezultata pri stezanju preko samo jednog permanentnog magneta.



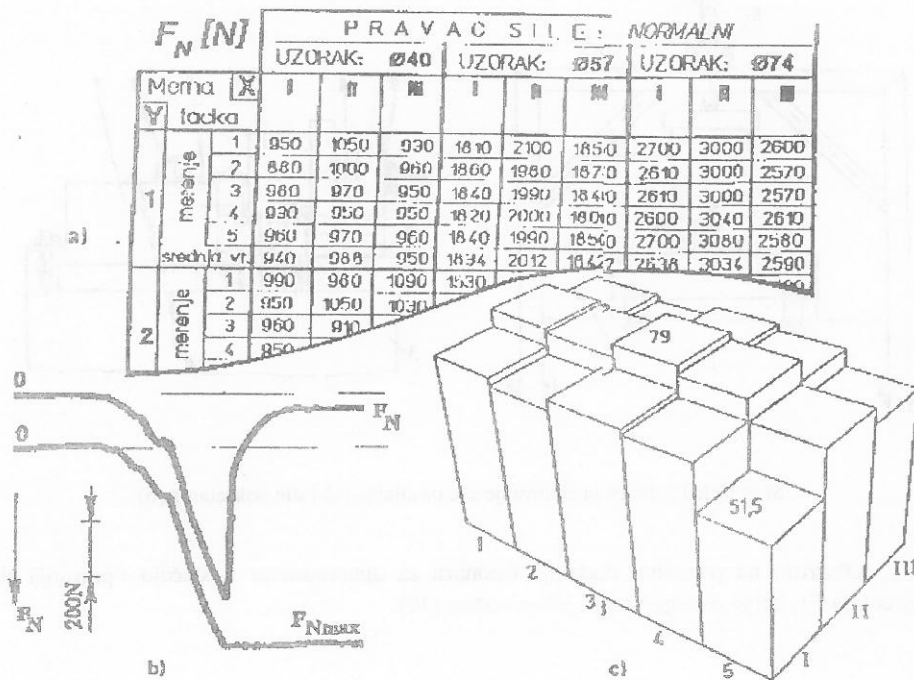
Sl. 4 Izgled pribora za ispitivanje sile odvajanja (a) i sile pokretanja (b)

Obzirom na prisustvo dodatnih oslonaca za dinamometar u slučaju ispitivanja sile pokretanja F_r , isti je oslonjen na kuglične vodice (10).

3.0 REZULTATI ISPITIVANJA

Prema usvojenoj metodologiji, pomoću izrađenih pribora i odgovarajuće instrumentacije, izvršeno je merenje sile odvajanja uzorka od magnetne ploče (F_N) i sile pokretanja uzorka po površini ploče (F_T). Registrovanje sila je izvedeno prema rasporedu mernih tačaka (sl. 2) sa petostrukim ponavljanjem i određivanjem srednje vrednosti za svaki od tri ispitivana uzorka. Delimičan pregled ovakvih podataka prikazan je tabelarno na sl. 5a (za F_N) i sl. 6a (za F_T).

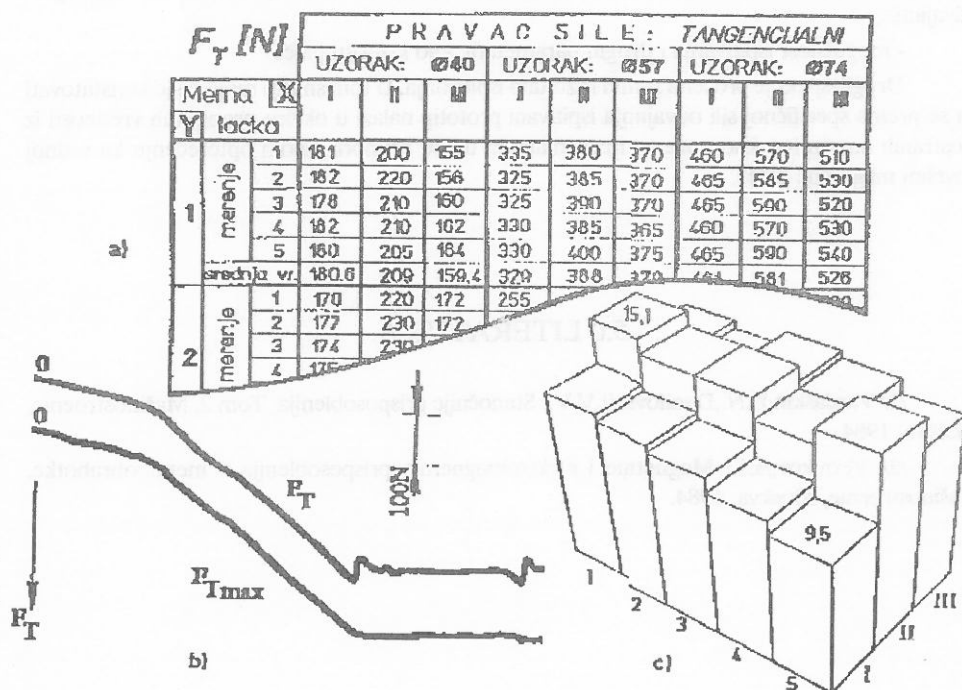
Problem registrovanja merodavne sile, prvenstveno u normalnom pravcu lako se prevazilazi primenom pisača i odgovarajućeg potrošnog materijala. Zbog velikog broja merenja je u sadšnjim uslovima to bilo teže izvodljivo, pa je zato ispitivanje izvršeno samo pomoću višekanalnog analognog pokazivača. Obzirom da ovaj instrument ima mogućnost pokazivanja kako trenutne, tako i vršne (maksimalne) vrednosti, signal sile je paralelno doveden do dva kanala analognog pokazivača. Prema uvidu u trenutnu silu registrovana je njena merodavna vrednost sa kanala vršne veličine.



Sl.5 Rezultati ispitivanja sile odvajanja (F_N)

Kalibrisanju kanala posvećena je posebna pažnja, a dokumentovanje izloženog prikazano je na sl. 5b (za F_N) i sl. 6b (za F_T), prema snimku na pisaču paralelno priključenom na kanale za registrovanje trenutne i maksimalne vrednosti sile. Nevraćanje trenutne normalne sile na početnu vrednost objašnjava se dejstvom magnetnog polja i posle razdvajanja uzorka od ploče, registrovanog naglim padom trenutne sile. Neravnomernost trenutne sile povlačenja objašnjava se pojavom STICK-SLIP efekta, očigledno prisutnim i dokazanim u ovakvim uslovima eksperimenta.

Prema ponovljenim rezultatima merenja određena je srednja 2 specifična (jedinična) sila N/cm^2 za svaku mernu poziciju i svaki uzorak. Prosečna srednja specifična sila za sve uzorke pri kazana je na sl. 5c (za F_N) i sl. 6c (za F_T). Grafik je dat u strogo diskretnom histogramskom prikazu, prvenstveno radi ilustracije podataka.



Sl.6 Rezultati ispitivanja sile pokretanja (F_T)

Osim ispitivanja sile stezanja vršeno je i ispitivanje kruto sti magnetne ploče kao i sile na ručici za uključenje.

4.0 ZAKLJUČNE NAPOMENE

Istraživanja prezentirana u radu moguće je posmatrati sa dva stanovišta. Prvo se odnosi na ocenu samog postupka i sredstava ispitivanja, pri čemu kao opšte karakteristike konstatuje sledeće:

- relativno kratko vreme ispitivanja;
- pouzdanost rezultata sa stanovišta ispitivanja celokupne radne površine magnetne ploče;
- korišćenje kružnih uzoraka kao pogodnijih
- mogućnost klasificiranja magnetnih ploča prema veličini specifične sile stezanja - odvajanja;
- mogućnost ispitivanja i drugih parametara, kao krutosti ploče

Drugi aspekt je procena samih rezultata ispitivanja. U tom smislu moguće je konstatovati da se prema specifičnoj sili odvajanja ispitivani prototip nalazi u okviru propisanih vrednosti iz inostranih normativa, kao i prema maksimalnom ugibu pri normalnom opterećenju ka radnoj površini magnetne ploče.

5.0 LITERATURA

/1/ Vardaškin, B.N., Danilovskij, V.V.: Stanočnije prisposobljenja, Tom 2, Mašinstroenie, Moskva, 1984.

/2/ Vernikov, A.J.: Magnetnie i elektromagnetnie prisposobljenja v metaloobrabotke, Mašinstroenie, Moskva, 1984.

TRIBOLOŠKE POJAVE KOD ALATNIH MAŠINA

*Dr. Ing. RAKIĆ Radoslav,
NIS Naftagas promet, Novi Sad*

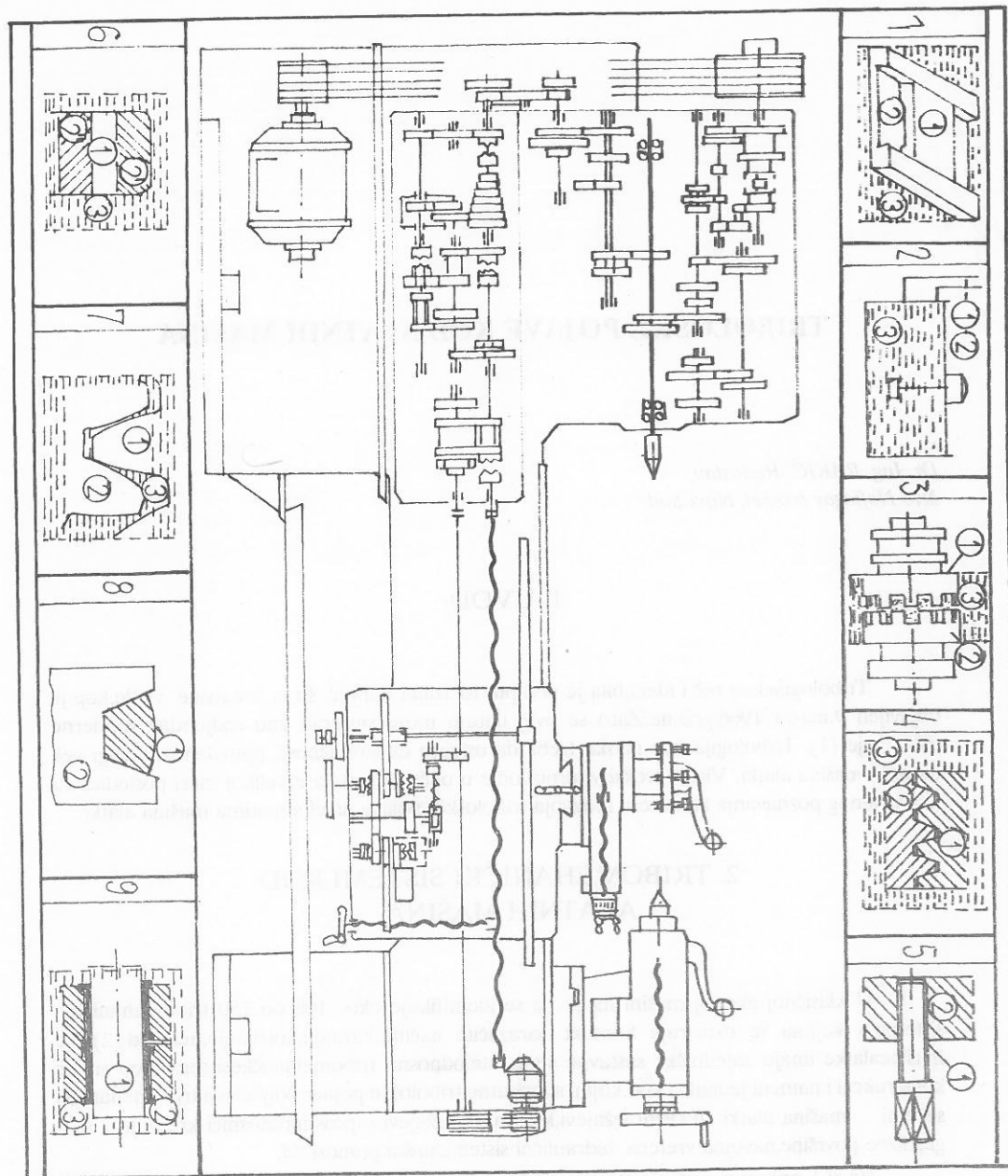
1. UVOD

Tribologija, kao reč i ideja, bila je prvi put iskazana u izveć štaju britanske vlade, koji je objavljen 9. marta 1966. godine. Zato se ovaj datum može smatrati kao rođendan moderne tribologije (1). Tribologija kao nauka treba da osigura ekonomičnost, pouzdanost i dugi vek trajanja mašina alatki. Visoki troškovi proizvodnje u obradi metala u velikoj meri posledica su nedovoljnog poznavanja karaktera i razvoja triboloških pojava na elementima mašina alatki.

2. TRIBOMEHANIČKI SISTEMI KOD ALATNIH MAŠINA

U klasičnoj alatnoj mašini može da se identifikuje oko 100 do 150 tribomehaničkih sistema, u kojima se ostvaruje kontakt narazličite načine (klizanje, kotrljanje, udar, itd.) (2). Sve mašine alatke imaju zajedničke sastavne elemente, odnosno tribomehaničke sisteme, koji su po konstrukciji i nameni jednaki i kod kojih suprisutne tribološke pojave. Najvažniji tribomehanički sistemi mašina alatki su: klizni ležajevi, kotrljajući ležajevi, zupčasti prenosnici kretanja i snage, klizne površine, navojna vretena, hidraulični sistemi, kaišni prenos, itd.

Na sl. 1 prikazan jedan odtipova mašina alatki koji je posmatran u eksperimentalnom deluradu, a to je strug sa identifikovanim tribomehaničkim sistemima. Ima ga su registrovani zastoji kao posledica triboloških procesa. Iz eksperimentalnog istraživanja isključen je tribomehanički sistem.



Sl.1 Prikaz struga sa identifikovanim tribomehaničkim sistemima: 1 - klizna površina, 2 - sistem za hladjenje i podmazivanje, 3 - spojnica, 4 - navojno vreteno i navrtka, 5 - vijčani spoj, 6 - kotrljajući ležaj, 7 - zupčasti prenosnik kretanja i snage, 8 - kaišni prenos, 9 - klizni ležaj.

3. TRIBOLOŠKI PROCESI

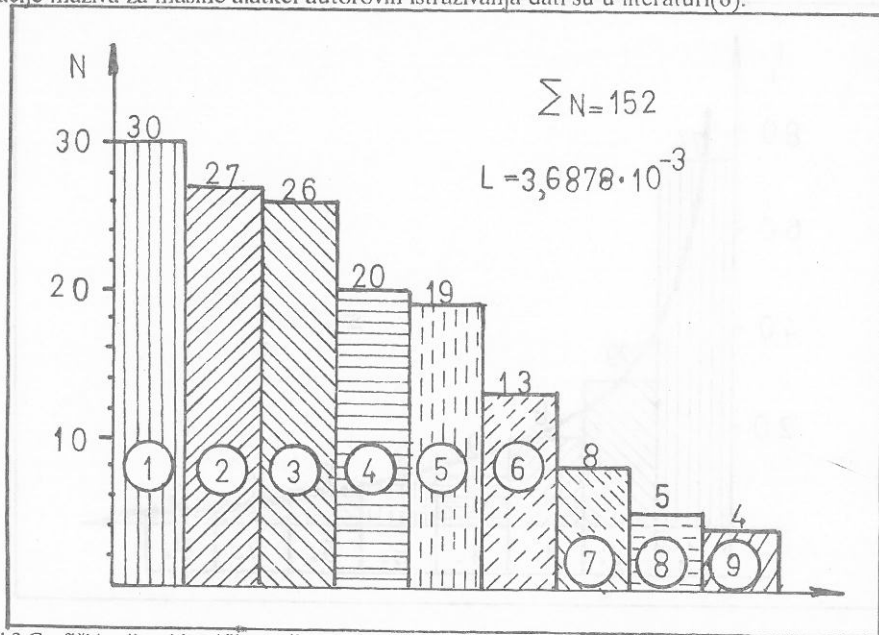
Osnovni uzročnici pojave neispravnosti su tribološki procesi, odnosno povećano trenje i habanje materijala ima dominantnu ulogu pri oštećenju i otkazu delova mašina i opreme(3). Razvoj triboloških procesa na elementima tribomehaničkih sistema funkcija je velikog broja faktora koji definišu:

a.) uslove pod kojima se kontakt između elemenata ostvaruje (brzina, broj obrtaja, opterećenje, temperatura okoline, radna temperatura, itd.),

b.) strukturu tribomehaničkog sistema (geometrija kontakta, materijali elemenata, itd.) i

c.) tribološke karakteristike elemenata tribomehaničkog sistema.

U ovom slučaju ove karakteristike su definisane prekovremena a u radnim časovima do pojave zastoja tribomehaničkog sistema, naravno kao posledica triboloških pojava. U procesu rada mašine alatke, na kontaktnim površinama elemenata tribomehaničkih sistema dolazi do neprekidnih promena (4). Pri tome, menjaju se njihove karakteristike i to kako geometrijske (mašinski element 1, mašinski element 2), tako i fizičko-hemijske kod sva tri elementa tribomehaničkog sistema (mašinski element 1, mašinski element 2 i mazivo 3) (Sl.1). Jedan od osnovnih elemenata konstrukcije tribomehaničkih sistema je mazivo sa svim svojim tribološkim karakteristikama (5). Vrste industrijskih ulja i masti obzirom na tehničku primenu, preporuke proizvođača mašina, preporuke proizvođača maziva, fizičko-hemijske karakteristike, ISO klasifikacije maziva za mašine alatke autorovih istraživanja dati su u literaturi (6).



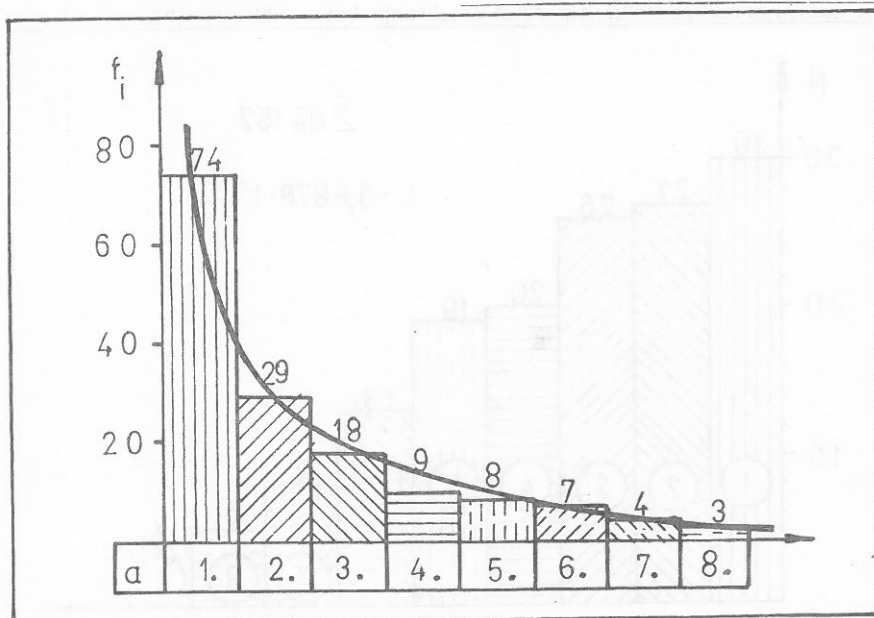
Sl.2. Grafički prikaz identifikovanih zastoja.: N - broj identifikovanih zastoja, 1 - klizna površina, 2 - sistem za hlađenje i podmazivanje, 3 - spojnica, 4 - navojno vreteno i navrtka, 5 - vijčani spoj, 6 - kotrljaјуći ležaj, 7 - zupčasti prenosnik kretanja i snage, 8 - kaišni prenos, 9 - klizni ležaj, L - intenzitet zastoja (zastoj/h)

4.REZULTATI EKSPERIMENTALNIH ISTRAŽIVANJA

Eksperimentalna istraživanja triboloških pojava kod mašinskih sklopova i pripadajućih tribomehaničkih sistema strugova sprovedena su u jednoj metaloprerađivačkoj industriji. Istraživanja su vršena na 28 strugova u radu u dve smene (2 puta po 8 radnih časova) u 92 radna dana, odnosno ukupno 1472 radnih časova. Unavedene statističke podatke nije uključen tribomehanički sistem alat (nož) - predmet obrade.

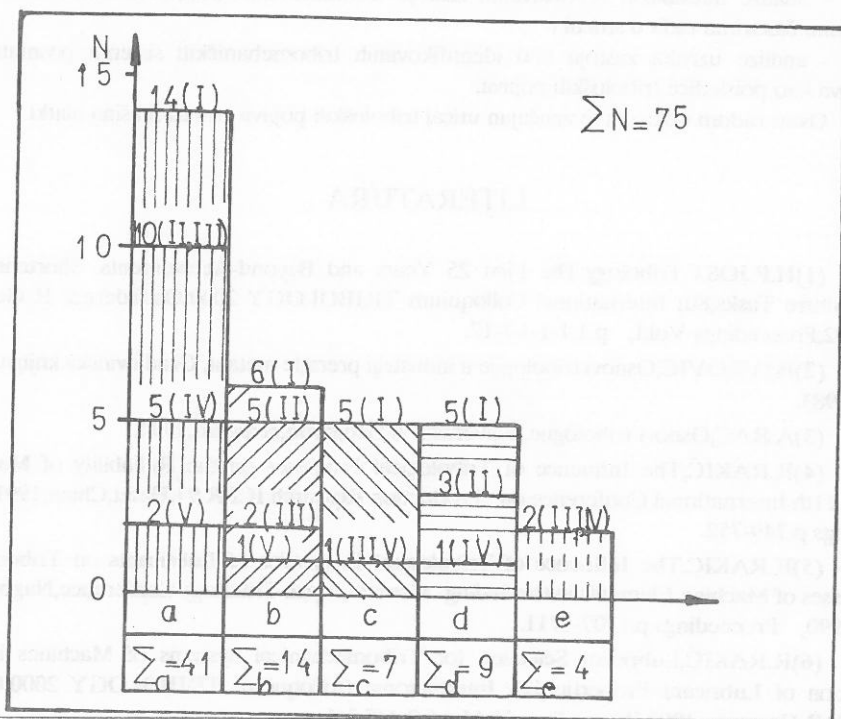
Na sl.2 prikazana je analiza broja registrovanih zastoja popojedinim identifikovanim tribomehaničkim sistemima ispitivanih strugova kao posledica triboloških pojava. Na osnovu sl.2 može se zaključiti da je najkritičniji identifikovani tribomehanički sistem kod posmatranih strugova klizna površina. Zato se i mora veoma pažljivo birati mazivo za klizne površine kao veoma važnog uticajnog faktora.

Na sl.3 prikazana je učestalost registrovanih zastoja svih identifikovanih tribomehaničkih sistema posmatranih strugova upojedinim časovima rada u smeni, kao posledica triboloških pojava. Na osnovu sl.3 može se zaključiti da najkritičniji period rada posmatranih strugova je prvi čas rada u smeni. U ovom periodu suočigledno najintenzivniji tribološki procesi na pokretnim elementima identifikovanih tribomehaničkih sistema.



Sl.3. Grafički prikaz učestalosti identifikovanih zastoja, a - čas rada mašine alatke u smeni, f_i - učestalost zastoja

Na sl.4 prikazana je analiza uzroka zastoja kod karakterističnih pet identifikovanih tribomehaničkih sistema(I-V) posmatrâ ranih strugova kao posledica triboloških pojava.Na osnovu sl.4 može se konstatovati da su najčešći uzroci zastoja kao posledicatriboloških pojava su prekomerni zazor i zaribavanje elemenatatribomehaničkog sistema.



Sl.4. Grafički prikaz uzroka zastoja identifikovanih tribomehaničkih sistema: I - klizna površina, II - navojno vreteno/navrtka, III - kotrljajući ležaj, IV - zupčasti prenosnik kretanja i snage,V- klizni ležaj, a - prekomerni zazor, b - pojava zaribavanja, c - neravnomerno kretanje, d - kontaminacija površina, - kidanje / lom, N -broj zastoja.

5. ZAKLJUČAK

Rezultati eksperimentalnih istraživanja izneti su putem:

- prikaza identifikovanih tribomehaničkih sistema posmatranih strugova,
- analize broja registrovanih zastoja kod identifikovanih tribomehaničkih sistema,
- analize učestalosti registrovanih zastoja identifikovanih tribomehaničkih sistema u pojedinim časovima rada u smeni i
- analize uzroka zastoja kod identifikovanih tribomehaničkih sistema posmatranih strugova kao posledice triboloških pojava.

Ovim radom dokazan je značajan uticaj triboloških pojava na rad mašina alatki.

LITERATURA

(1) H.P.JOST, Tribology: The First 25 Years and Beyond-Achievements, Shortcomings and Future Tasks, 8th International Colloquium TRIBOLOGY 2000, Ostfildern, F R Germany, 1992, Proceedings Vol.I, p.1.1-1-1.1-17.

(2) B.IVKOVIĆ, Osnovi tribologije u industriji prerade metala, Gradjevinska knjiga, Beograd, 1983.

(3) A.RAC, Osnovi tribologije, Univerzitet u Beogradu, Beograd, 1991.

(4) R.RAKIĆ, The Influence of Tribological Processes on the Reliability of Machine Tools, 11th International Conference on Production Research ICPR 91, Hefei, China, 1991, Proceedings p.749-752.

(5) R.RAKIĆ, The Influence of Tribological Properties of Lubricants on Tribological Processes of Machine Elements in the Sliding Contact, Japan Tribology Conference, Nagoya, Japan, 1990, Proceedings p.1707-1711.

(6) R.RAKIĆ, Lubricant Selection for Tribomechanical Systems of Machines in the Function of Lubricant Properties, 8th International Colloquium TRIBOLOGY 2000, Ostfildern, F R Germany, 1992, Proceedings Vol.I, p.5.3-1-5.3-6.

TRIBOLOGICAL PHENOMENONS ON MACHINE TOOLS SUMMARY

During the contact between the machine elements of tribomechanical system, tribological processes occur on these elements. Consequences of tribological processes developed on the elements cause wear out and failures of the systems. The aim of investigation in this paper consists of:

- determining the character of appearances of tribological processes,
- decreasing the frequency of failures and
- extending the life of machine tools.

The experimental investigations of tribological processes on the elements of tribomechanical systems of machine tools have been carried out in the metalworking factory.

JEDAN PRIMER AUTOMATIZACIJE KONTROLE PROIZVODA*

ONE EXAMPLE OF AUTOMATIZATION OF PRODUCT CONTROL

Dr Ratomir M. Ječmenica, dipl.maš.ing., vanr.prof., Tehnički fakultet - Čačak
Miodrag Kukić, dipl.maš.ing., projektant, Tehnički fakultet - Čačak

0. REZIME

U radu je prezentirana jedna metodologija i primer automatizacije kontrole proizvoda primenjena u industriji proizvodnje reznih alata.

Radni predmet, složene geometrijske konfiguracije, koji bi se konvencionalnim metodama veoma teško indentifikovao, ovom metodologijom se automatski definiše.

ABSTRACT

A methodology and an example of automatization of product control applied in the industry of cutting-tools production is given in the paper.

A workpiece of complex configuration, hard to beidentified by conventional methods, is automatically defined by this methodology.

-
- * Rad je nastao kao rezultat istraživanja na projektu "Revitalizacija postojećih tehnologija u industriji prerade metala" koga realizuju Mašinski fakultet Kragujevac i Tehnički fakultet Čačak a sufinansira RFTR.

1. UVOD

Kontrola i merenje predstavljaju jednu od važnih karika u lancu dobijanja kvalitetnih proizvoda, mada im se u domaćoj metalnoj industriji ne pridaje odgovarajući značaj. Posebno važna uloga preciznog merenja je u proizvodnji alata. Netačan alat, svoju grešku predaje i finalnom proizvodu u koga se reprodukuje. Kao takvog, sa tehnno-ekonomskog aspekta, opravdano je eliminisati ga iz proizvodnog procesa odmah po ustavovljenju greške koja se ne može ispraviti.

Problem kontrole je posebno složen kod izrade alata za obradu lima, alata za livenje obojenih metala i plastičnih masa. Radni elementi ovih alata često mogu biti izuzetno kompleksnog geometrijskog oblika koji se vrlo teško ili skoro nikako ne mogu determinisati klasičnim metodama merne tehnike. U praksi se često primenjuju približne metode definisanja oblika putem raznih šablona, uvećanja crteža itd. Sveobuhvatno rešenje ove problematike, ekonomski isplativo, predstavljaju CNC merni sistemi (računarom vođene merne mašine).

2. PRIKAZ CNC MERNOG SISTEMA

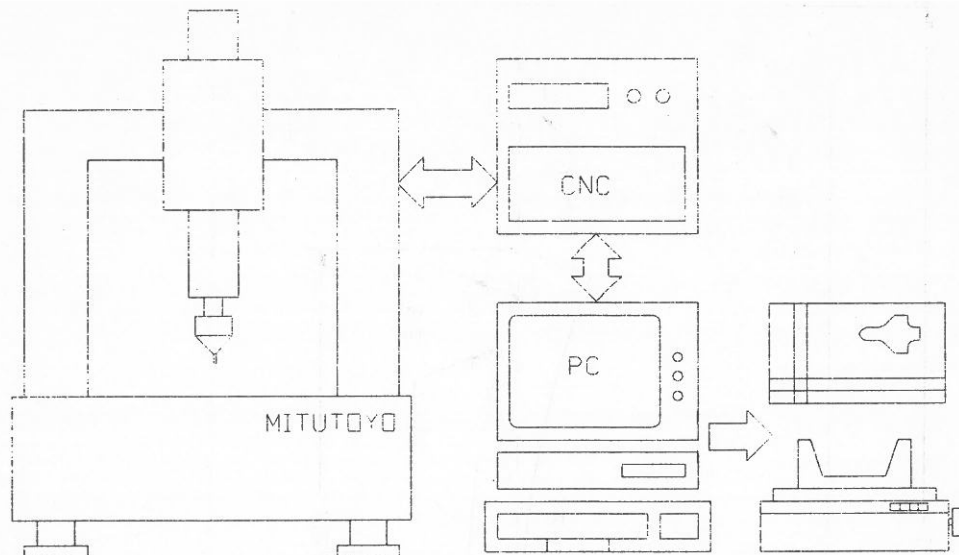
Konfiguracija jednog CNC mernog sistema će se analizirati na primeru MITUTOYO 3D merne mašine, instalirane u FRA Čačak.

U sastav mernog sistema ulaze: tro-kordinatna merna mašina MITUTOYO KN810, MITUTOYO CMMC-1 upravljačka jedinica, HP računar serija 9000 model 216, HP 7475 ploter i HP matrični štampač. Merne performanse ovog sistema su sledeće: kretanja po osama - X, Y, Z su 870, 1020, 600, tačnost - 0,003 mm +/- 0.004 mm / 1 m. Merni pipak, dijamantska kuglica prečnika $d=2$ mm, može se sa svojim nosačem zokretati - zauzimati sledeće prostorne uglove: u horizontalnoj ravni od 0 do 360 sa korakom po 7.5 i u vertikalnoj ravni od 0 do 105 sa korakom po 7.5.

Uležištenje mašine je izvedeno na vazдушnim jastucima, pogon je sa servo kontrolisanim DC motorima i optičkim davačima pomeraja, uz maksimalnu brzinu kretanja mernog pipka - 70 mm/s.

Programi koji upravljaju radom mašine su grupisani u 3 celine:

- GEOPAK, za ručno upravljanje mašinom sa mogućnošću programiranja i automatskog ponavljanja postupka merenja.
- SCANPAK, automatsko ispitivanje oblika, pri kome mašina prati mernim pipkom složenu geometrijsku konturu koju ispituje. Identifikovana kontura može da se memoriše i analizira isctavanjem na ploteru u nekoj razmeri, ispisivanjem koordinata tačaka konture na štampaču ili se može upoređivati sa nekim prethodno izmerenim oblikom.
- STATPAK, programi za statističku identifikaciju izmerene serije delova, čime se određuju kriterijumi kvaliteta proizvodnje.



Sl. 1. Konfiguracija MITUTOYO mernog sistema

3. IDENTIFIKACIJA SLOŽENE GEOMETRIJE DELA

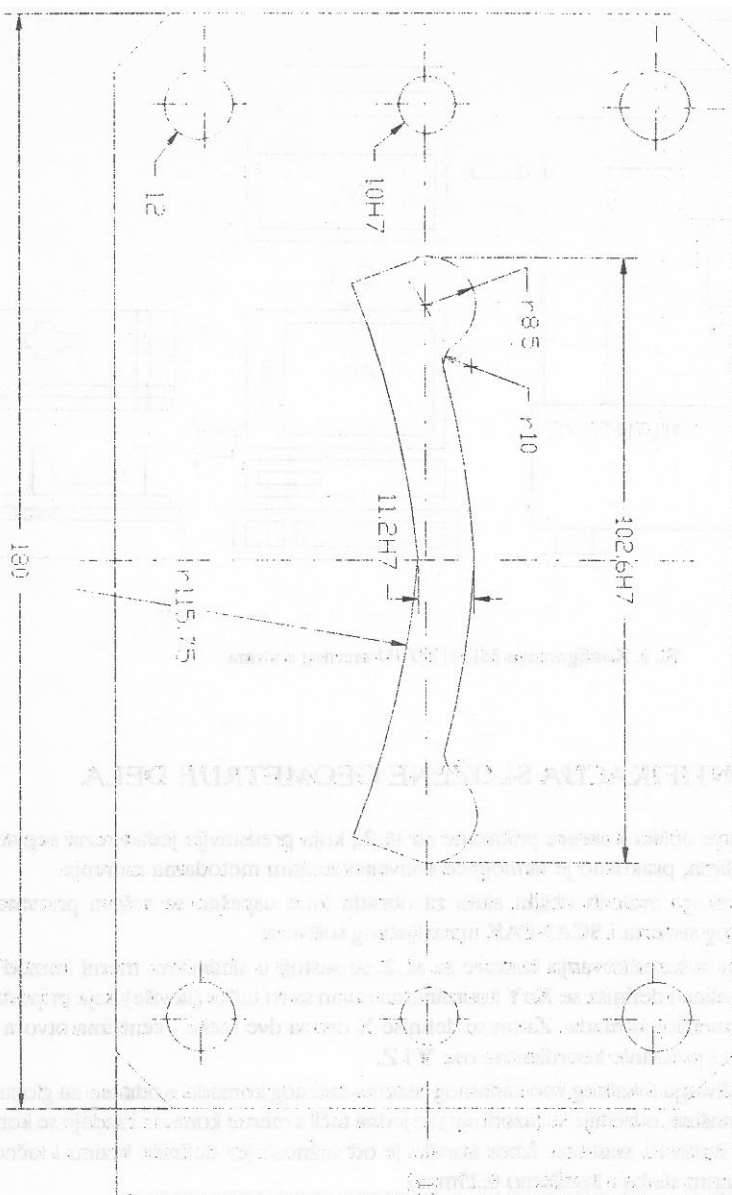
Identifikovanje oblika konture prikazane na sl. 2., koja predstavlja jedan rezni segment alata za prosecanje lima, praktično je nemoguće konvencionalnim metodama merenja.

Problem merenja ovakvih oblika alata za obradu lima uspešno se rešava primenom MITUTOYO mernog sistema i SCANPAK upravljačkog softvera.

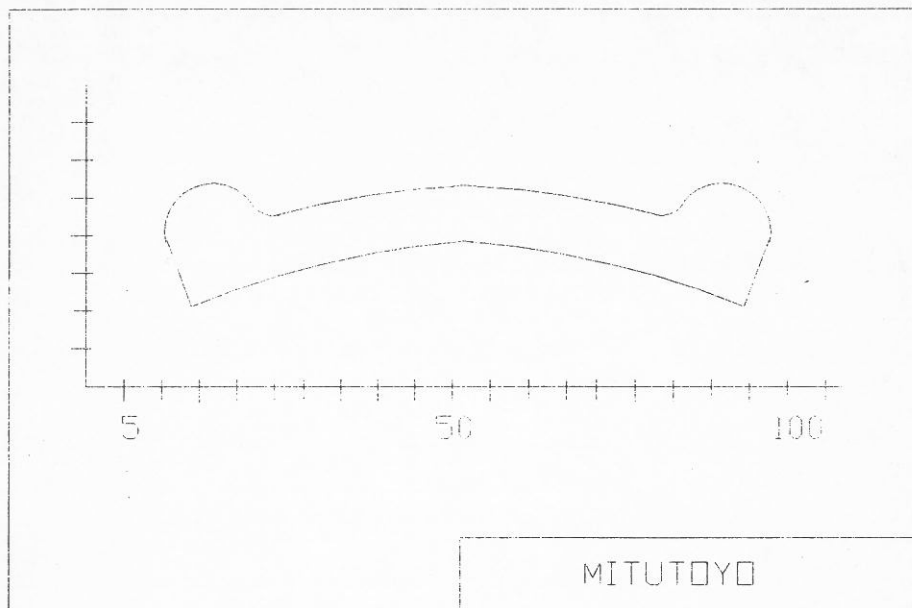
Metodologija indentifikovanja konture sa sl. 2. se sastoji u sledećem: merni komad se pozicionira na sto mašine i definiše se XoY koordinatna ravan sa tri tačke (ili više) koje pripadaju obrađenoj površini mernog komada. Zatim se definiše X osa sa dve tačke - centrima otvora za čivije, a iz toga slede i preostale koordinatne ose Y i Z.

Nakon određivanja lokalnog koordinatnog sistema mernog komada u odnosu na globalni koordinatni sistem mašine, odredi se (uzorkuje) se jedna tačka merne konture i zadaje se korak sa kojim će mašina ispitivati konturu. Izbor koraka je od važnosti jer definiše brzinu i tačnost merenja (u konkretnom slučaju korišćeno 0.25mm).

Nakon potvrde da je kontura indentifikovana uzorkovanjem velikog broja tacaka koje joj pripadaju, ista se memoriše i omogućava dalje analize. Moguć je izlaz na štampač gde se dobiju podaci kako je definisan lokalnikoordinatni sistem i tabela sa izmerenim koordinatama svih tacaka. Takođe se dobijaju podaci o površini i dužini opisane konture, težištu i momentima inercije. Dalje, moguće je utvrditi centre i radijuse kružnih lukova, presečne i tangentne tače itd.



Sl. 2. Rezna ploča alta za prosecanje lima, složene geometrije



Sl. 3. Merni izveštaj indentifikovane konture na ploteru

4. ZAKLJUČAK

Ovde je iznet samo jedan mali segment mogućnosti primene CNC mernih sistema na primeru 3D merne mašine MITUTOYO. Analizirana je mogućnost indentifikacije složenih ravanskih kontura samoispitivanjem konture od strane mašine, dok su ostale mogućnosti samo naznačene.

Investiciona ulaganja u jedan ovakav merni sistem, koja su velika, opravdana su u uslovima izrade prototipova, izradi alata, uslovima malih i srednjih serija gde je od ključne važnosti uvek vladati podacima o tačnosti i kvalitetu proizvodnje kao i procentom škarta.

5. LITERATURA

1. MITUTOYO Precizni merni instrumenti, MITUTOYO, Japan, 1988.
2. SAMPOH Mesgerate Vertriebsgesellschaft mbH, Deutsche, 1989.

ВОЈВОЂАНСКА БАНКА



БАНКА УНИВЕРЗИТЕТА У НОВОМ САДУ