

LANA

21. SAVJETOVANJE
PROIZVODNOG
STROJARSTVA
JUGOSLAVIJE

ZBORNİK RADOVA

II

Pokrovitelji

JAZU – JUGOSLAVENSKA AKADEMIJA ZNANOSTI I UMJETNOSTI - ZAGREB
CIRP – MEĐUNARODNA INSTITUCIJA ZA ISTRAŽIVANJA U PROIZVODNOM
STROJARSTVU - PARIS

Opatija, listopad 1987.

II

ZAJEDNICA JUGOSLOVENSKIH ZNANSTVENO- ISTRAŽIVAČKIH INSTITUCIJA PROIZVODNOG STROJARSTVA

Elektromašinski fakultet, Skoplje - Fakultet za strojni-
štvo, Ljubljana - Fakultet strojarstva i brodogradnje,
Zagreb - IOLA-IAMA, Beograd - Mašinski fakultet, Beograd
- Prvomajska-istraživanje i razvoj, Zagreb - Institut za
proizvodno mašinstvo-FTN, Novi Sad - Institut za indus-
trijske sisteme-FTN, Novi Sad - Mašinski fakultet, Kra-
gujevac - Mašinski fakultet, Niš - Mašinski fakultet,
Sarajevo - Mašinski fakultet, Zenica - Tehnički fakultet,
Titograd - Mašinski fakultet, Mostar - Mašinski fakultet,
Banja Luka - Tehnički fakultet, Priština - Pedagoško teh-
nički fakultet, Čačak - Tehnički fakultet, Rijeka - Visoka
tehnička škola, Maribor - Fakultet za strojarstvo, Split

ORGANIZATOR SAVJETOVANJA

TEHNIČKI FAKULTET RIJEKA

N.Ustanka 58

51000 RIJEKA

MJESTO ODRŽAVANJA SAVJETOVANJA

Kongresni centar Adriatik

OPATIJA, 6-7. listopad 1987.

TISAK: Vera Hofbauer, Rijeka

III

ZNANSTVENI ODBOR 21. SAVJETOVANJA PROIZVODNOG STROJARSTVA

Dr E.Kuljanić, predsjednik - Dr V. Šolaja - Dr. V.Milačić -
Dr R. Zdenković - Dr J. Peklenik - Dr B. Ivković - Dr D.
Zelenović - Dr B. Musafija - Dr P. Popović - Dr S. Trajkovski -
Dr V. Vujović - Dr Z.Seljak - Dr S. Sekulić - Dr S. Urošević -
Dr V. Mečanin - Dr D.Milikić - Dr S.Djekić - Dr Z.Mirković -
Dr J. Rekecki - Dr P. Šmarčan - Dr Š.Šavar - Dr V. Savić -
Dr V.Domazetović - Dr S. Živanović

ORGANIZACIJSKI ODBOR

E. Kuljanić, predsjednik, I.Katavić, sekretar, J.Pirš, A.Hri-
ješik, Dj. Meden, L.Sopta, J. Dobrinić, M. Sablić, P.Managarov,
L.Pomenić, B.Smoljan, A. Brzić, A.Sok, A.Grgurina

Zbornik uredili

Dr I.Katavić
A. Brzić
I. Šajn

IV

POČASNI ODBOR

- Akademik Hrvoje Požar, glavni tajnik Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti, Zagreb
- Prof.dr. John Bollinger, predsjednik Colledge international pour l'etude scientifiques de production mecanique -CIRP, Paris
- dr. Božidar Matić, predsjednik Saveznog komiteta za nauku i tehnologiju Beograd.
- Prof.dr. Velimir Srića, predsjednik republičkog komiteta za znanost, tehnologiju i informatiku, Zagreb
- Prof.dr. Mirko Krpan, rektor Sveučilišta "Vladimir Bakarić" u Rijeci
- Dr. Darko Šeparović, predsjednik Skupštine Republičke zajednice za znanstveni rad SR Hrvatske, Zagreb
- Zvonko Rubinić, prof., predsjednik Skupštine SIZ-a usmjerenog obrazovanja brodogradnje, elektro i metala, Rijeka
- Jozo Petović, dipl.oec., predsjednik Privredne komore Hrvatske, Zagreb
- Tomislav Blažić, dipl.oec., predsjednik Privredne komore Rijeka
- Šime Vidulin, prof., predsjednik Privredne komore Istre-Pula
- Stanislav Antić, dipl.inž., direktor RO "SAS", Zadar
- Antun Crneka, dipl.inž., predsjednik SOUR-a "Prvomajska", Zagreb
- Dr. Božidar Frančić, predsjednik SOUR-a "Rade Končar", Zagreb
- Alceo Frank, dipl.inž., predsjednik SOUR-a RI "3.maj", Rijeka
- Želimir Gručić, dipl.oec. predsjednik SOUR-a "INA", Rijeka
- Mr. Gvido Kac, predsjednik SOUR-a "Željezara Ravne", Ravne
- Stanislav Licul, dipl.iuris., direktor RO "INDA", Labin
- Mirko Lovrić, dipl.inž., direktor RO "Sintal", Zagreb
- Ivan Miler, dipl.inž., generalni direktor RO "Torpedo", Rijeka
- Prof.dr. Mihajlo Milojević, predsjednik SOUR-a "Ivo Lola Ribar", Beograd
- Ivica Perić, dipl.oec., direktor RO "Prvomajska-Raša", Raša
- Karlo Radolović, dipl.oec., predsjednik SOUR BI "Uljanik", Pula
- Maksimilian Senica, dipl.inž., predsjednik SOUR-a "TAM", Maribor
- Damir Vrhovnik, dipl.inž., generalni direktor RO Brodogradilište "Viktor Lenac", Rijeka
- Mr. Vitomir Vujović, dipl.inž., direktor SOUR-a "Industrija alata", Trebinje
- Jože Žagar, dipl.inž., predsjednik SMELT-a Ljubljana

PRETHODNA SAVJETOVANJA PROIZVODNOG STROJARSTVA JUGOSLAVIJE

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

Odlukom Zajednice jugoslavenskih znanstveno istraživačkih institucija proizvodnog strojarstva XXØ Savjetovanje proizvodnog strojarstva Jugoslavije povjereno je Tehničkom fakultetu Rijeka, Sveučilišta "Vladimir Bakarić" u Rijeci.

Koristimo priliku da se najtoplije zahvalimo autorima radova, radnim organizacijama, društveno političkim organizacijama, i pojedincima koji su doprinjeli održavanju XXI Savjetovanja proizvodnog strojarstva Jugoslavije.

VII

S A D R Ž A J

B - OBRADA DEFORMACIJOM

V. Vujović	: UTICAJ POZITIVNIH NAPONA NA DEFORMABILNOST MATERIJALA	1
B. Rančić, V. Stoiljković	: NAPONSKO-DEFORMACIONO STANJE NA DELOVIMA TIPA T-RAČVE DOBIJENIM PROŠIRIVANJEM NESTIŠLJIVIM FLUIDOM NA HLADNO	9
A. Ljevar, S. Eremić, G. Banjac-Mijanović, M. Kelčov	: OBRAZOVANJE "PREKLOPA" PRI KOVANJU U KALUPIMA	17
B. Rančić, V. Stoiljković	: NAPONSKO-DEFORMACIONO STANJE PRI PROŠIRIVANJU NESTIŠLJIVIM FLUIDOM DELOVA TIPA SPOJNICE ZA RAM BICIKLE	25
I. Duplančić, J. Prgin	: KARAKTERISTIKE TOKA MATERIJALA KOD ISTISKIVANJA ŠUPLJIH PROFILA	33
M. Stefanović, S. Aleksandrović	: NEKI ASPEKTI KORIŠĆENJA LIMOVA POVIŠENE ČVRSTOĆE ZA DUBOKO IZVLAČENJE	41
V. Stoiljković, B. Dimitrov	: SPAJANJE METALA IMPULSNIM OPTEREĆENJEM	49
B. Musafia	: GRANIČNE METODE ISTRAŽIVANJA PROCESA PLASTIČNE REDUKCIJE	57
M. Vukčević, V. Domazetović	: PRILOG ISPITIVANJU KOEFICIJENTA TRENJA PRI TOPLOM SABIJANJU CILINDRIČNIH UZORAKA OD Al-LEGURE	65
B. Devedžić	: ČINIOCI KOJI UTIČU NA KRIVE GRANIČNE DEFORMABILNOSTI LIMOVA	73
J. Pipan, J. Kadivnik	: EKSPERIMENTALNA METODA ZA UGOTAVLJANJE KRIVULJE MEJNIH DEFORMACIJA SREDNJE DEBELE PLOČEVINE	83
Lj. Bogdanov	: PRILOG ISTRAŽIVANJU DEFORMACIONOG OTPORA KOD KOVANJA U ZAVISNOSTI OD RAZNIH UTICAJNIH FAKTORA SA POSEBNIM OSVRTOM NA OBLIK PRIPREMKA	91
D. Lazarević	: ANALIZA PRITISKA, SILA I MOMENATA UVIJANJA NA VALJCIMA PRI IZRADI LIMENIH V-PROFILA	99
V. Stoiljković, Z. Stamenković	: ICRD2 - PROGRAMSKI SISTEM ZA PROJEKTOVANJE TEHNOLOGIJE I ALATA ZA IZVLAČENJE PRIMENOM RAČUNARA	107
D. Vilotić	: PONAŠANJE MATERIJALA PRI SLOBODNOM SABIJANJU PROFILISANIM ALATIMA	115

VIII

J. Prgin, I. Duplančič: UTJECAJ KONSTRUKCIJE KOMBINIRANOG ALATA NA KVALITETU AL -PROFILA	125
Č. Veselinović : KONSTRUKCIJA ALATA ZA HLADNO ZAPREMINSKO OBLIKOVANJE NA OSNOVU NAPONSKOG STANJA U ALATU	133
K. Kuzman, M. Pirtovšek: RAČUNALNIŠKO PODUPRTO NAČRTOVANJE TEHNOLOGIJE IN KONSTRUIRANJE ORODIJ ZA KOVAŠKO VALJANJE	141
Č. Veselinović, M. Popović: PRILOG OSNOVI UPRAVLJANJA ENERGETSKIM DELOM PRESA U CILJU ZAŠTITE ALATA	149
V. Stevanović, Lj. Papić, R. Gavrilović : TEHNOLOŠKE MOGUĆNOSTI POVEĆANJA POUZDANOSTI ALATA PRI OBRADI DEFORMACIJOM	155
T. Cvijetić : POSTOJANOST KORAČNIH ALATA PRI PROSECANJU DINAMO LIMA	163
D. Lupuljev, D. Kakaš: UTICAJ JONSKOG NITRIRANJA NA HABANJE ŽIGOVA SA RAZLIČITIM GEOMETRIJSKIM OBLIKOM GLAVE	171
V. Stoiljković, T. Petrović: UREĐAJ ZA AUTOMATSKO MERENJE I ODSECANJE PRIPREMAKA ZA KOVANJE	177
M. Plančak : PRILOG ISTRAŽIVANJU TOKA DIJAGRAMA GRANIČNE DEFORMABILNOSTI	185
H. Djukić, R. Čiber, R. Markovina: OBLIKOVANJE LIMOVA TITANOVIH LEGURA	193
D. Vukićević : POBOLJŠANJE PLASTIČNIH SVOJSTAVA METALA I LEGURA METODOM PROGRAMSKOG OJAČAVANJA	201
T. Petrović, M. Potić: ELEKTROZAVOJNA PRESA SA NOVIM POGONSKIM MEHANIZMOM	207
D. Drndarević : UTICAJ PROCESA SABIJANJA PRAHA NA REŠENJE UPRAVLJANJA HIDRAULIČNOM PRESOM	215
C - NEKONVENCIONALNI POSTUPCI I OSTALO	
F. Roethel, M. Dobovšek, M. Junkar, A. Vrankar: RAZISKAVA LASTNOSTI DIELEKTRIČNIH TEKOČIN V ELEKTROEROZIJSKEM PROCESU	225
M. Sarvan : JEDAN PRIKAZ UTICAJNIH FAKTORA NA KARAKTERISTIČNE VELIČINE OBRADE ELEKTROEROZIJOM	233
V. Filipović: : ISKUSTVA "ZAVODA CRVENA ZASTAVA" U PRIMENI TEHNOLOGIJE ELEKTROHEMIJSKE OBRADE OTVORA MALIH PREČNIKA	241

B. Grujić, M. Dostanić: JEDNO ISTRAŽIVANJE NA UVODENJU LASERSKIH SISTEMA U INDUSTRIJI LOLE	249
I. Petrović, V. Cvetković, M. Prokić, D. Šarković: OBRADA TVRDIH MATERIJALA ULTRAZVUKOM	257
P. Nikšić, D. Petković, Z. Čopić: PRILOG ISTRAŽIVANJU KONSTRUKTIVNIH I EKSPLOATACIONIH KARAKTERISTIKA NAVOJNIH VRETENA SA KUGLICAMA	265
I. Čosić : PRILOG RAZVOJU TEHNILOŠKIH STRUKTURA MONTAŽNIH SISTEMA	273
B. Popović : ANALIZA GREŠAKA PROIZVODNOG PROCESA	281
B. Vasiljević, M. Babić: OPTIMIZACIJA POSLOVANJA SA SREDSTVIMA ZA HLAĐENJE I PODMAZIVANJE	289
S. Arsovski : PRODUKTIVNOST KROZ NOVE TEHNOLOGIJE	299
R. Ječmenica, D. Randjić, B. Kršljak: JEDAN PRISTUP KONCIPIRANJU MODELA ZA TEHNO-EKONOMSKE ANALIZE TEHNOLOŠKIH SISTEMA MAŠINOGRAĐNJE	307
L. Kravanja : OBRADNI SISTEMI ZA PILJENJE	315
M. Dimitrić : MODELIRANJE PROCESA GLOĐANJA U CILJU IDENTIFIKACIJE LOMA ALATA ZA VREME REZANJA	319
S. Ekinović : MOGUĆNOST POUZDANOG PREDVIĐANJA KVALITETA OBRADNE POVRŠINE	325
V. Mečanin : PRILOG ODREĐIVANJU STEPENA AUTOMATIZACIJE I TEHNOLOŠKIH NIVOVA SREDSTAVA RADA U METALOPRERAĐIVAČKOJ INDUSTRIJI	333

OBRADA DEFORMACIJOM

21. SAVJETOVANJE PROIZVODNOG STROJARSTVA JUGOSLAVIJE, OPATIJA, 1987.

UTICAJ POZITIVNIH NAPONA NA DEFORMABILNOST MATERIJALA
FORMABILITY STUDY IN THE RANGE OF TENSION STRESSES

V. Vujović

FTN, INSTITUT ZA PROIZVODNO MAŠINSTVO
UNIVERZITETA U NOVOM SADU, 21000 Novi Sad

Ključne reči:
POZITIVNI
NAPONI
DEFORMA-
BILNOST

SAŽETAK: Kriva granične deformabilnosti (KGD), koja predstavlja funkciju kombinacije naponskih komponenata, uzeta je za osnovu pri izučavanju deformabilnosti. Predmet ovog rada je područje krive sa pozitivnom vrednošću sfernog tenzora ($\beta > 0$). Posebno je rasmatrano dvodimenzionalno naponsko stanje, koje je ostvareno eksperimentom deformisanja tankozidne cevi sa unutrašnjim pritiskom.

Key words:
TENSION
STRESSES
FORMABILITY

ABSTRACT: The formability limit curve (FCL), which represents a function of the combinations of stresses components is taken as a base in the study of formability. The range of this curve with positive values of the spheric tensor ($\beta > 0$) is the subject of this consideration. Double-axis stress state is specially studied which is realized by means of the deformation experiment of thin-wall tube with internal pressure.

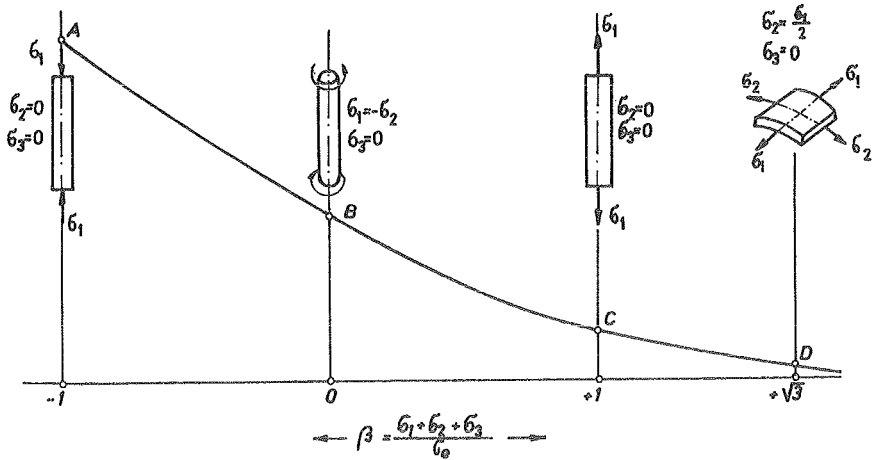
1. UVOD

U radovima /1,2/ prezentirana je metodologija odredjivanja krive granične deformabilnosti (KGD) u području $-1 < \beta < +1$ korišćenjem tri jednostavna eksperimenta i na taj način sa sigurnošću su određene tri tačke krive: nulta tačka ($\beta = 0$) i dve granične tačke navedenog područja, simetrično rasporedjene u odnosu na nultu tačku. Za izučavanje deformabilnosti materijala pored velikog značaja negativnog područja ($\beta < 0$) i pozitivno područje ima određeni značaj. Zbog toga je potrebno proširenje područja definisati KGD i za vrednosti $\beta < -1$, odnosno $\beta > +1$. Predmet rasmatranja ovog rada je područje $\beta > +1$, odnosno postavljanje teoretskih osnova i analitičko-eksperimentalne metodologije i tehnike za odredjivanje tačke krive GD sa apscisnom vrednošću $\beta = \sqrt{3} = 1,732$, koja odgovara dvoosnom zatežućem naponskom stanju. Takvo naponsko stanje se ostvaruje deformisanjem tankozidne cevi opterećene unutrašnjim pritiskom. Područje od aksijalnog zatežućeg naponskog stanja do dvodimenzionalnog zatežućeg naponskog stanja je važno za procese oblikovanja lima. Novo dobijena tačka KGD za $\beta = \sqrt{3}$ potpuno odgovara trendu toka KGD. Na ovaj način je i sa prezentiranim eksperimentom potvrđjena ispravnost ideje kriterijuma deformabilnosti izložene u radovima /1,2/, kojom se efektivna deformacija izražava kao funkcija naponskih komponenti, odnosno kriterijum se postavlja pomoću tenzorskih invarijanti naponsko-deformacionog stanja.

2. MODEL DEFORMISANJA I POKAZATELJ NAPONA

Metodologija odredjivanja tačaka A, B i C KGD data je u radovima /1,2/ (sl. 1.). U ovom radu se daje novi model deformisanja u cilju odredjivanja tačke D krive

granične deformabilnosti. U traženju modela deformacije za određivanje nove tačke KGD treba imati u vidu najmanje dva glavna principa. Prvi se odnosi na mogućnost



Sl.1. Modeli deformisanja i kriva granične deformabilnosti

što jednostavnijeg izvođenja eksperimenta deformisanja. Pri tome se ima u vidu potreba precizne identifikacije trenutka nastajanja prvih pukotina u materijalu, odnosno, nivoa deformacije pri tome i numeričke vrednosti odgovarajuće efektivne deformacije (granična vrednost efektivne deformacije). Drugi princip, koji je važan kao i prvi, odnosi se na mogućnost i preciznost određivanja apscisne koordinate tačke D (sl.1.).

Ova koordinata je određena izrazom:

$$\beta = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{\sigma_e} \quad (1)$$

Dakle, poznavanje vrednosti β uslovljava prethodno određivanje glavnih naponskih komponentata. Medjutim, određivanje ovih komponentata u trenutku nastajanja prvih pukotina u materijalu predstavlja veoma složenu problematiku. Ovde se postavlja i još jedan dodatni uslov da proces bude monoton, odnosno, da bude što manja promena pokazatelja napona β .

Eksperiment deformisanja tankozidne cevi, opterećene unutrašnjim pritiskom p zadovoljava postavljene uslove. Model ovog deformisanja prikazan je na sl.2.

Elementarnom analizom je moguće odrediti naponske komponente na slobodnoj površini tankozidne cevi /3/.

Tangencijalni napon iznosi:

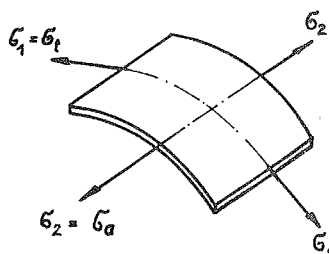
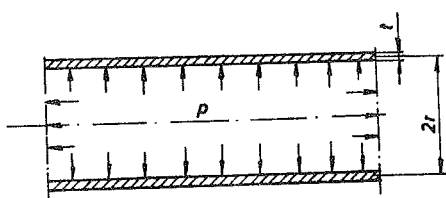
$$\sigma_t = \sigma_1 = \frac{p \cdot r}{t} \quad , \quad (2)$$

a aksijalni:

$$\sigma_a = \sigma_2 = \frac{p \cdot r}{2t} \quad (3)$$

dok treća naponska komponenta u radijalnom pravcu na slobodnoj površini iznosi:

$$\sigma_3 = 0 \quad (4)$$



Sl.2. Model deformisanja tankozidne cevi

Na osnovu poznatih naponskih komponenti određuju se efektivni napon σ_e i pokazatelj napona β .

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

i s obzirom na (2) i (3) dobija se

$$\sigma_e = \sqrt{\left(\frac{p \cdot r}{t}\right)^2 + \left(\frac{p \cdot r}{2t}\right)^2 - \frac{p \cdot r}{t} \cdot \frac{p \cdot r}{2t}} = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{p \cdot r}{t} \quad (5)$$

$$\beta = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{\sigma_e} = \frac{\frac{p \cdot r}{t} + \frac{p \cdot r}{2t} + 0}{\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{p \cdot r}{t}} = \sqrt{3} \approx 1,732 \quad (6)$$

Numerička vrednost $\sqrt{3}$, koja je dobijena u izrazu (6) je vrednost apscise koordinate tačke D za naponsko stanje određeno pri modelu deformisanja prikazanom na sl. 2. Imajući u vidu da se procesi oblikovanja lima karakterišu dvodimenzionalnim naponskim stanjem pri kome u graničnom slučaju za

$$\sigma_2 = \sigma_1 \quad (7)$$

pokazatelj napona dobija vrednost

$$\beta = 2 \quad (8)$$

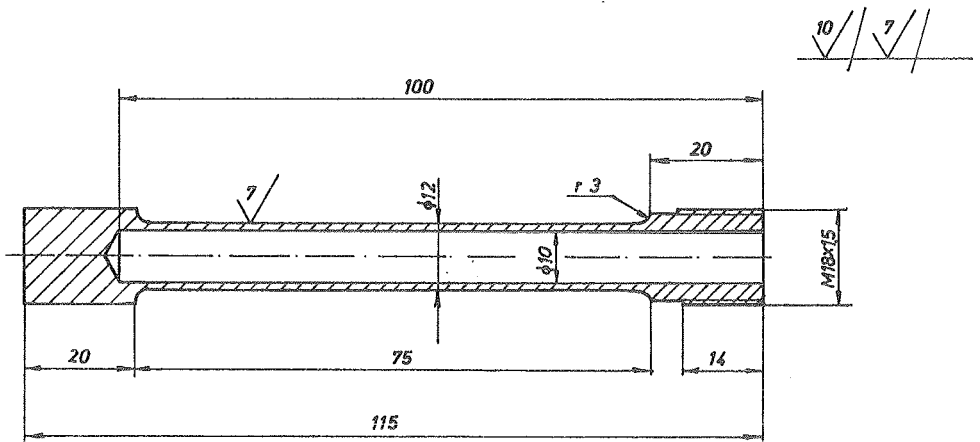
To znači da se pozitivno područje KGD, koje je važno za procese obrade, može ograničiti krajnjom vrednošću $\beta = 2$. Ima puno razloga koji idu u prilog tvrdnji da se područje definisanosti KGD sa zateznim glavnim naponima može odrediti relacijom

$$0 < \beta < 2 \quad (9)$$

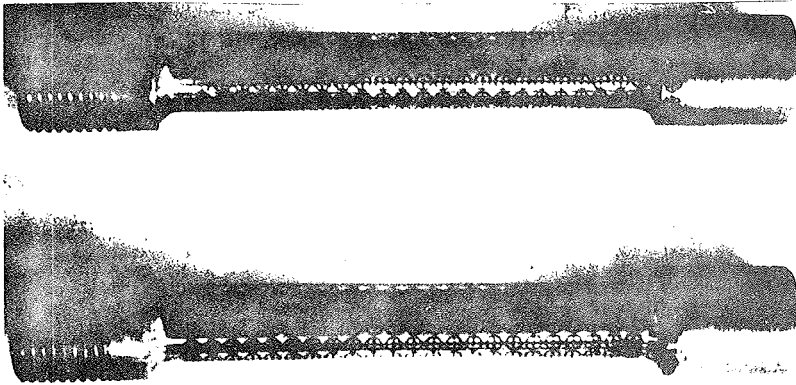
3. EKSPERIMENTALNA ISTRAŽIVANJA

Model deformisanja dat na sl.2. realizovan je na tankozidnoj cevi iz ugljeničnog čelika Č.1221 prema crtežu datom na sl.3. Uzorak (sl.3.) priključuje se na instalaciju u kojoj se pritisak postepeno povećava. U cilju boljeg uočavanja deformacija, na uzorku se nanose mreže (sl.4.). Medjutim veličina deformacija se može računati i samo na osnovi promene prečnika. Pojava pukotina predstavlja kraj deformisanja. Praktično je analizirana deformacija cevi na onom delu, gde se nije pojavila pukotina, pošto je i na tim mestima cev pretrpela maksimalnu ravnomernu deformaciju. Efektivna deformacija je određena prema izrazu:

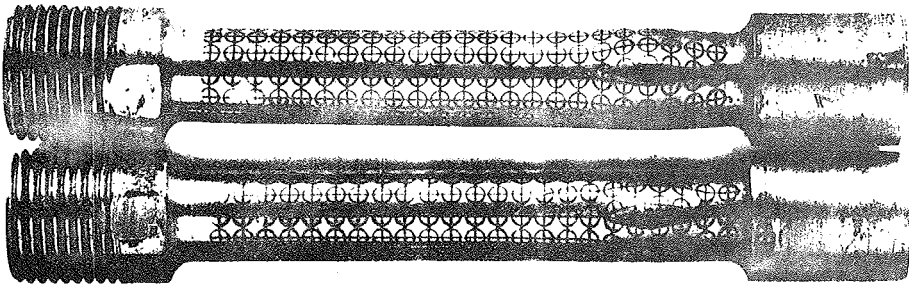
$$\varphi_e = \sqrt{\frac{2}{3}(\varphi_1^2 + \varphi_2^2 + \varphi_3^2)} \quad (10)$$



Sl.3. Crtež tankozidne cevi



Sl.4. Nedeformisani uzorci



Sl.5. Deformisani uzorci

Pri ovome je pretpostavljeno da se cev aksijalno ne deformiše:

$$\gamma_a = 0 \quad (11)$$

Ostale komponente iznose:

$$\gamma_1 = -\gamma_2$$

a prema (10) dobija se

$$\gamma_e = \frac{2}{\sqrt{3}} \gamma_1 \quad (12)$$

dok je:

$$\varphi_1 = \ln \frac{d_1}{d_0} \quad (13)$$

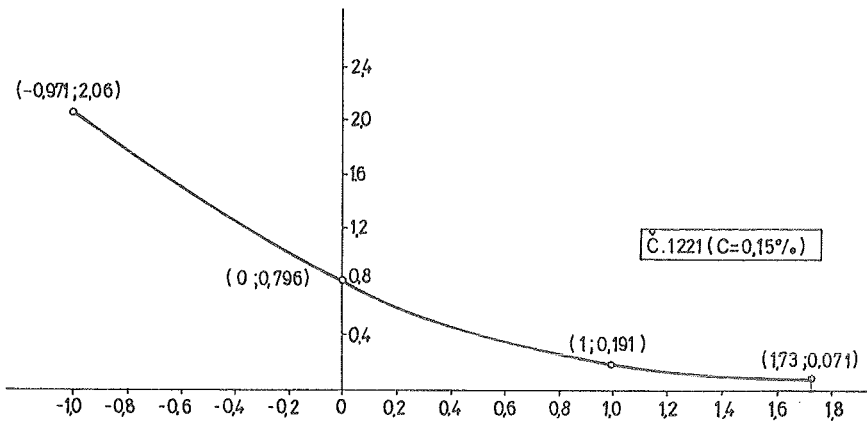
gde su:

d_0 - spoljni prečnik referentnog dela cevi pre deformisanja

d_1 - spoljni prečnik referentnog dela cevi posle deformisanja

Rezultati merenja prečnika i izračunavanja efektivne deformacije daju se u tabeli 1.

Broj uzorka	d_0 /mm/	d_1 /mm/	φ_e
1	10,50	11,00	0,0535
2	11,50	12,51	0,0996
3	11,56	12,20	0,0620
Srednja vrednost			$\bar{\varphi}_e = 0,0707$



Sl.6. Kriva granične deformabilnosti za Č.1221

Rezultati deformacije tankozidne cevi do pojave pukotina iz tabele 1 prikazani su i grafički na sl.6, pri čemu su i podaci za tačke A, B i C dati za isti materijal, tako da se na ovoj slici prikazuje KGD u području $-1 < \beta < \sqrt{3}$. Interval $\sqrt{3} < \beta < 2$ ostaje za dalja istraživanja. Prema podacima iz tabele 1 i s obzirom na relaciju (6) koordinate tačke D KGD imaju vrednost $D(\sqrt{3}; 0,070)$. Ove vrednosti koordinata tačke D određuju joj takav položaj da potpuno odgovara logičnom toku KGD. Tačka D omogućava dobijanje krive granične deformabilnosti u području pozitivnih vrednosti pokazatelja napona. Vrednost potencijala deformabilnosti u tački D potvrđuje prethodne pretpostavke o toku KGD u ovom području.

4. ZAKLJUČAK

Tankozidna cev se može uspešno koristiti kao uzorak za deformisanje u cilju istraživanja uticaja pozitivnih naponskih komponenti na deformabilnost materijala. Eksperimentalna tehnika deformisanja ovog modela je jednostavna. Na uzorke nije neophodno nanošenje mreže, kao što je to u ovom radu prikazano. Deformacije je moguće odrediti na osnovi preciznih merenja spoljnog prečnika cevi pre i posle deformacija. Za nastajanje pukotina na cevi pri nižim pritiscima potrebno je u skladu sa relacijom (3) povećati njen spoljni prečnik.

5. LITERATURA

- /1/ Vujović V.: Određivanje krivih granične deformabilnosti pomoću tri različita naponska stanja. Časopis OBRADA DEFORMISANJEM U MAŠINSTVU, god.9. br.1., Novi Sad, 1984., str.61 do 72.
- /2/ Vujović V., Shabaik, A.H.: A New Workability criteria for Ductile Metals. ASME Journal of Engineering Materials and Technology, July, 1986., pp 245-249.
- /3/ Johnson, W. and Mellor, P.B.: Engineering Plasticity, VNR Companu, London, 1980.

21. SAVJETOVANJE PROIZVODNOG STROJARSTVA JUGOSLAVIJE, OPATIJA, 1987.

NAPONSKO-DEFORMACIONO STANJE NA DELOVIMA TIPRA T-RAČVE DOBIJENIM
PROŠIRIVANJEM NESTIŠLJIVIM FLUIDOM NA HLADNO

STRESS-STRAIN STATE ON T-FORK TYPE COMPONENTS RECEIVED BY OIL
HYDRAULIC COLD FORMING PROCESS

B.Rančić Mašinski fakultet, Univerzitet u Nišu
V.Stoiljković 18000 Niš, Jugoslavija

Ključne reči: SAŽETAK: U ovom radu obradjen je postupak teorijskog odre-
 djivanja naponsko-deformacionog stanja na delovima tipa T-
T-račva -račve, koji su dobijeni proširivanjem nestišljivim fluidom
proširivanje na hladno. Na osnovu dobijenih izraza utvrdjene su obl-
fluid asti sa različitim shemama naponsko-deformacionog stanja,
napon odredjene granice prostiranja tih oblasti i nacrtani dija-
deformacija grami promene napona i deformacija.

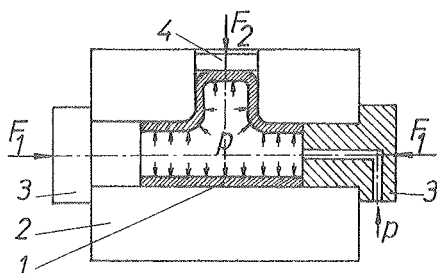
Key words: ABSTRACT: In this work was prepared a procedure of theoret-
T-fork ical determining of stress-strain state by oil hydraulic
expanding cold forming process, to expand T-fork type components. On
fluid base of received equations, there had been established
stress areas with different schemes of stress-strain state and
strain also had been determined frontires of propagation of these
 areas and drawn diagrams of alteration of stress and strain.

1. Uvod

T-račve imaju veliku praktičnu primenu kao elementi za spajanje i grananje različitih cevovoda i armatura. Dosadašnji postupci za dobijanje T-račvi: provlačenje, livenje, prosecanje priprema sa naknadnim savijanjem i zavarivanjem imaju odredjene nedostatke, bilo da se radi o prevelikom broju operacija i neekonomičnosti, bilo da se radi o nedozvoljenim stanjenjima debljine zida T-račve. Upravo zbog toga, na Katedri za proizvodno mašinstvo Mašinskog fakulteta u Nišu razvijen je postupak za dobijanje T-račvi proširivanjem nestišljivim fluidom. Da bi mogle da se proračunaju sile, koje su potrebne za ostvarivanje procesa, pa, dakle, i potrebna oprema, kao i granični stepeni deformacije, potrebno je potpuno poznavanje naponsko-deformacionog stanja pri proširivanju T-račve nestišljivim fluidom.

2. Proces proširivanja T-račve nestišljivim fluidom

Shema proširivanja T-račve nestišljivim fluidom sa aksijalnim sabijanjem i bočnim pridrzanjem prikazana je na slici 1. Pripremak – cev (poz.1) postavlja se u razdvojni dvodelni kalup (poz.2). Proširivanje cevi, odnosno, formiranje bočnog ispupčenja, tzv. odvoda, vrši se pod dejstvom hidrostatičkog pritiska nestišljivog fluida, a prema obliku radijalnog otvora u kalupu. Potreban pritisak u radnom fluidu ostvaruje se posebnim hidrauličnim agregatom, od koga se radni fluid kroz jedan (ili oba) aksijalni tiskač dovodi u cev. Istovremeno sa delovanjem hidrostatičkog pritiska vrši se i sabijanje cevi aksijalnim tiskačima (poz.3), čime se sprečava lokalizacija žarišta deformacija na relativno usku zonu odvoda. Da bi se sprečilo razranje odvoda, bočnim pridržačem (poz.4) deluje se na vrh odvoda.



Slika 1 : Shema proširivanja T-račve nestišljivim fluidom

3. Kvalitativno odredjivanje naponsko-deformacionog stanja

Najpre se posmatra proces sabijanja cevi pod dejstvom aksijalnih sila sabijanja F_1 i hidrostatičkog pritiska radnog fluida p unutar cevi. Usvojen je cilindrični koordinatni sistem, tako da je svaka tačka cevi odredjena koordinatom z , uglom θ i radijusom ρ , a pretpostavlja se da je sila F_1 ravnomerno rasporedjena po čelu cevi. Očigledno je, da se u aksijalnom pravcu javljaju normalni naponi pritiska σ_z od sila sabijanja, kao i normalni naponi pritiska σ_ρ u radijalnom pravcu, a pod dejstvom pritiska nestišljivog fluida. Da nema čvrstih zidova kalupa, došlo bi do slobodnog proširivanja cevi. Kako je proširivanje sprečeno, to će i u tangencijalnom pravcu (po obimu cevi) delovati normalni naponi pritiska σ_θ . Dakle, javlja se naponsko stanje svestranog pritiska.

Zbog kontakta cevi i kalupa nastaju i normalni kontaktni naponi σ_k . Postojanje kontaktnih napona, zajedno sa kretanjem materijala cevi po površini šupljine kalupa, izaziva trenje i odgovarajuće tangencijalne kontaktne napone τ_k . U slučaju da je podmazivanje izuzetno dobro ($\mu \approx 0$), tangencijalni kontaktni naponi mogu da se zanemare, pa su normalni naponi σ_z , σ_θ i σ_ρ ujedno i glavni normalni naponi.

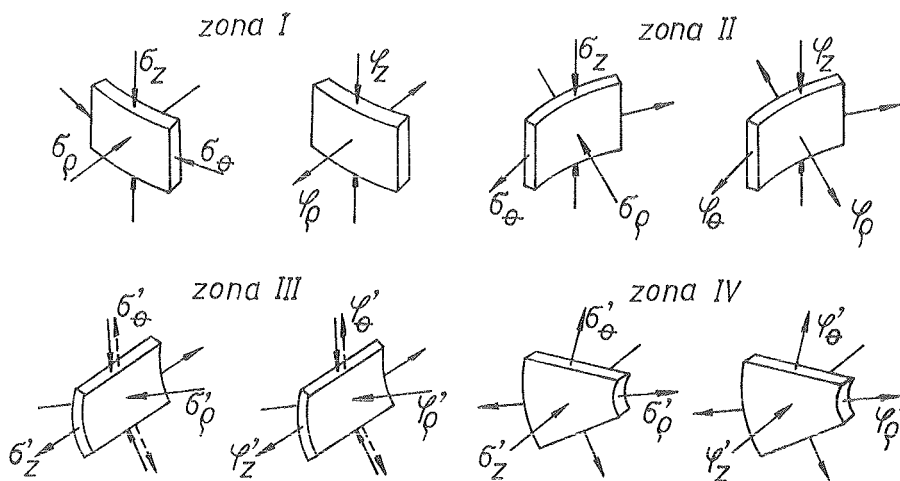
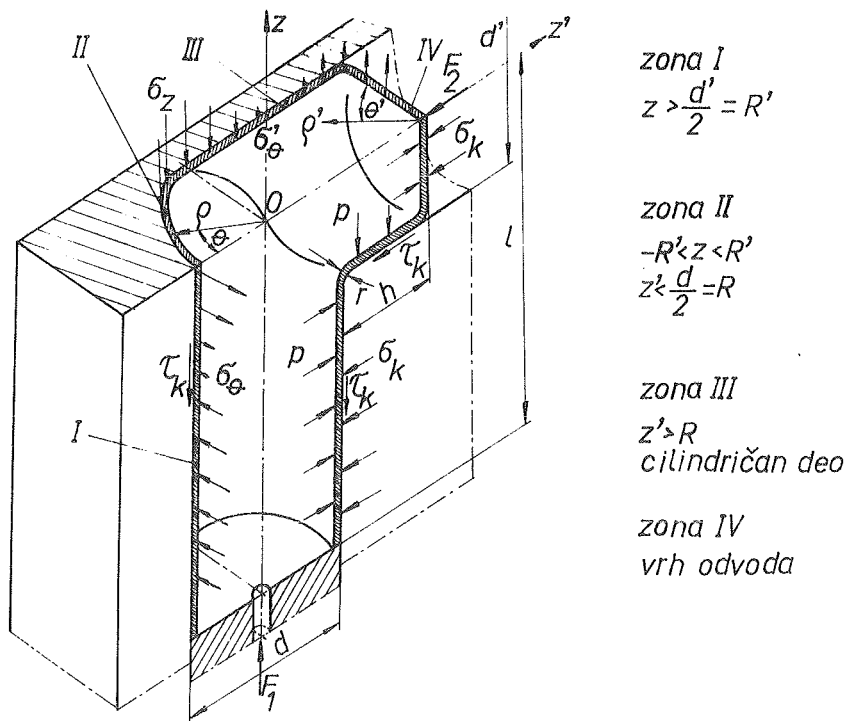
Deformaciono stanje može da se smatra ravanskim, jer je deformisanje u tan-

gencijalnom pravcu onemogućeno čvrstim kalupom, tako da se deformacija φ_{θ} ogleda u neznatnoj promeni srednjeg prečnika cevi, usled zadebljanja zida cevi ($\varphi_{\theta} \approx 0$). Deformacija u aksijalnom pravcu φ_z ogleda se u sabijanju cevi, a u radijalnom - u zadebljanju zida cevi φ_{ρ} .

Neka u kalupu postoji i radijalni otvor, čija je osa z' upravna na osu z , a prečnik d' jednak spoljašnjem prečniku cevi d (može biti i veći i manji). Sada je omogućeno kretanje materijala i u tangencijalnom pravcu, a pod dejstvom pritiska fluida. Da bi se definisalo kretanje materijala, kao i naponsko-deformaciono stanje materijala u radijalnom otvoru, uvodi se nov cilindrični koordinatni sistem z', ρ', θ' . Koordinatni počeci starog i novog koordinatnog sistema poklapaju se sa presečnom tačkom osa z i z' . Zbog mogućnosti tečenja materijala, u zoni otvora javljaju se normalni naponi istezanja $\bar{\sigma}_{\theta}$ u zidu cevi, a oblik poprečnog preseka prelazi iz kružnog u oblik odredjen šupljinom kalupa i položajem čela bočnog pridrživača. Pored napona $\bar{\sigma}_{\theta}$, koji je u ovom slučaju ($d = d'$) jednak normalnom naponu $\bar{\sigma}'_z$ u aksijalnom pravcu odvoda, u zidu cevi deluju i normalni naponi pritiska $\bar{\sigma}'_z$ i $\bar{\sigma}'_{\rho}$. Naponi $\bar{\sigma}'_z$ i $\bar{\sigma}'_{\rho}$ su naponi pritiska po čitavoj dužini cevi, dok se karakter napona $\bar{\sigma}'_{\theta}$ menja - od napona pritiska na krajevima cevi, do napona istezanja u zoni odvoda. Zbog toga, cev može da se podeli na dve zone: zonu I ($|z| > d'/2$) u kojoj vlada naponsko stanje svestranog pritiska i zonu II ($|z| < d'/2$), u kojoj vlada raznoimeno naponsko stanje. U zoni I pri $|z| \geq d'$ može da se usvoji, da vlada ravansko deformaciono stanje.

Deformacija φ_z u zoni II je negativna - sabijanje cevi u aksijalnom pravcu dok je deformacija φ_{θ} pozitivna - istezanje u tangencijalnom pravcu, zbog uvlačenja materijala u odvod. Kod raznoimene sheme naponskog stanja, koja se javlja u zoni II, odnos napona $\bar{\sigma}'_{\theta}$ i $\bar{\sigma}'_z$ uslovljava, da li će deformacija u radijalnom pravcu biti pozitivna ili negativna. Kod posmatrane sheme deformisanja napon istezanja $\bar{\sigma}'_{\theta}$ ne može biti toliko veliki, da bi deformacija u radijalnom pravcu φ_{ρ} bila negativna. U slučaju velikih vrednosti $\bar{\sigma}'_{\theta}$ dolazi do razaranja odvoda, pa je, dakle, deformacija φ_{ρ} pozitivna - dolazi do zadebljanja zida cevi u zoni II.

U početku, plastično deformisanje i naponsko deformaciono stanje na vrhu odvoda, koji se označava kao zona IV, mogu da se posmatraju po analogiji sa hidrauličnim razvlačenjem lima u otvoru kružnog preseka. U zoni IV javljaju se normalni naponi istezanja $\bar{\sigma}'_{\theta}$ i $\bar{\sigma}'_z$ u radijalnom i tangencijalnom pravcu i naponi pritiska $\bar{\sigma}'_z$ u aksijalnom pravcu odvoda. Deformacije φ'_{θ} i φ'_{ρ} su pozitivne, a deformacija φ'_z je negativna, / 1/. Ovakvo deformaciono stanje uslovljava naglo stanjenje zida na vrhu odvoda. Medjutim, plastično deformisanje na vrhu odvoda završava se u samom početnom trenutku obrade, pri čemu se prekomerno stanjenje zida na vrhu odvoda sprečava bočnim pridrživačem. Nadalje, kada je visina odvoda h veća od nule, deformisanje može da se posmatra kao stacionaran proces - visina odvoda povećava se na račun uticajna materijala iz žarišta deformacija (zone I i II). Pritom, naponi i defo-



Slika 2 : Karakteristične zone, oznake geometrijskih veličina, naponi u karakterističnim preseccima i sheme naponsko-deformacionog stanja u karakterističnim zonama

rmacije na vrhu (zona IV) i zidu odvoda, koji se označava kao zona III, nalaze se u oblasti elastičnosti, pa se u stacionarnoj fazi deformisanja ne vrši plastično deformisanje odvoda.

Naponsko-deformaciono stanje u zidu odvoda (zona III), kao prelazu između zona II i IV, određeno je naponsko-deformacionim stanjima u ovim zonama. Napon σ_z' u zoni III je napon istezanja, dok je napon σ_ρ' - napon pritiska. Napon u tangencijalnom pravcu odvoda σ_θ' u zoni III je napon pritiska i tek u oblasti prelaza zida u vrh odvoda postaje napon istezanja. Deformacija φ_z' u zoni III je pozitivna, φ_ρ' je negativna, dok je deformacija φ_θ' promenljivog znaka - u većem delu odvoda je negativna, da bi u zoni prelaza u vrh odvoda postala pozitivna.

Na slici 2 prikazana je T-račva, koja predstavlja presek dvaju cilindara istog prečnika pod uglom od 90° , u stacionarnoj fazi deformisanja. T-račva je prikazana u dva međusobno upravna preseka: uzdužnom ($\theta = 0^\circ$) i poprečnom ($z = 0$), koji ujedno predstavljaju i ravni simetrije. Na slici 2 prikazani su i usvojeni koordinatni sistemi, usvojene oznake geometrijskih veličina, podela na karakteristične zone, granice tih zona, naponi u karakterističnim presecima, kao i sheme naponsko-deformacionog stanja u svim karakterističnim zonama.

4. Kvalitativno-kvantitativna analiza naponsko-deformacionog stanja

Na osnovu prethodnih rasmatranja može da se stekne delimična kvalitativna slika o naponsko-deformacionom stanju. Medjutim, za određivanje spoljašnjih sila i graničnih mogućnosti proširivanja potrebna je potpuna kvalitativno-kvantitativna analiza naponsko-deformacionog stanja, odnosno, poznavanje polja napona i deformacija. Zbog složenosti procesa deformisanja, velikih stepena deformacije, kao i složenosti spoljašnjih opterećenja, za dublju analizu mora da se primeni teorija plastičnog tečenja, kao i da se uvedu određene pretpostavke: materijal cevi je izotropan, u stanju plastičnosti nalazi se čitava zapremina cevi, deformacija u tangencijalnom pravcu cevi na rastojanju $|z| > d'$ jednaka je nuli, nema sila trenja između cevi i kalupa, brzina kretanja materijalnih čestica u aksijalnom pravcu cevi konstantna je po debljini zida cevi, jer je debljina zida mala u poredjenju sa prečnikom cevi, i brzina pomeranja materijalnih čestica u tangencijalnom pravcu cevi menja se po linearnom zakonu u funkciji debljine zida cevi.

Na osnovu učinjenih pretpostavki, a polazeći od veza brzina deformacija i brzina kretanja materijalnih čestica / 1/, / 2/, / 3/

$$\begin{aligned} \dot{\varphi}_\rho &= \frac{\partial u}{\partial \rho}; & \dot{\varphi}_\theta &= \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial v}{\partial \theta} + u \right); & \dot{\varphi}_z &= \frac{\partial w}{\partial z}; & \dot{f}_{\rho\theta}^i &= \frac{\partial v}{\partial \rho} - \frac{v}{\rho} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial u}{\partial \theta}; \\ \dot{f}_{\theta z}^i &= \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial w}{\partial \theta}; & \dot{f}_{z\rho}^i &= \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial \rho}; \end{aligned} \quad (1)$$

gde su: u, v, w - brzine kretanja materijalnih čestica u radijalnom, tangencijalnom i aksijalnom pravcu; $\dot{\varphi}_\rho, \dot{\varphi}_\theta, \dot{\varphi}_z$ - brzine normalnih deformacija u radijalnom, tangencijalnom i aksijalnom pravcu; $\dot{f}_{\rho\theta}^i, \dot{f}_{\theta z}^i, \dot{f}_{z\rho}^i$ - brzine tangencijalnih deformacija; kao i koristeći veze između napona i brzina defo-

rmacija

$$\begin{aligned} \bar{\sigma}_\rho - \bar{\sigma} &= \frac{2}{3} \frac{\bar{\sigma}_1}{\Psi_1} \Psi_\rho ; & \bar{\sigma}_\Theta - \bar{\sigma} &= \frac{2}{3} \frac{\bar{\sigma}_1}{\Psi_1} \Psi_\Theta ; & \bar{\sigma}_z - \bar{\sigma} &= \frac{2}{3} \frac{\bar{\sigma}_1}{\Psi_1} \Psi_z ; \\ \tau_{\rho\Theta} &= \frac{1}{3} \frac{\bar{\sigma}_1}{\Psi_1} j_{\rho\Theta}^i ; & \tau_{\Theta z} &= \frac{1}{3} \frac{\bar{\sigma}_1}{\Psi_1} j_{\Theta z}^i ; & \tau_{z\rho} &= \frac{1}{3} \frac{\bar{\sigma}_1}{\Psi_1} j_{z\rho}^i ; \end{aligned} \quad (2)$$

gde su: $\bar{\sigma}_\rho$, $\bar{\sigma}_\Theta$, $\bar{\sigma}_z$ - normalni naponi u radijalnom, tangencijalnom i aksijalnom pravcu cevi; $\tau_{\rho\Theta}$, $\tau_{\Theta z}$, $\tau_{z\rho}$ - odgovarajući tangencijalni naponi; $\bar{\sigma}_1$ - intenzivnost napona; Ψ_1 - intenzivnost brzina deformacija i $\bar{\sigma}$ - srednji normalni napon; a takodje i jednačine ravnoteže elementarne zapremine

$$\frac{\partial \bar{\sigma}_\rho}{\partial \rho} + \frac{\bar{\sigma}_\rho - \bar{\sigma}_\Theta}{\rho} = 0 ; \quad \frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{\sigma}_\Theta}{\partial \Theta} + \frac{\partial \tau_{\Theta z}}{\partial z} = 0 ; \quad \frac{\partial \bar{\sigma}_z}{\partial z} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_{\Theta z}}{\partial \Theta} = 0 ; \quad (3)$$

nakon niza sračunavanja, smenjivanja i transformacija, dobija se sistem od dve Laplasove parcijalne diferencijalne jednačine drugog reda. Rešavanjem ovih jednačina dobijaju se izrazi za sračunavanje brzina kretanja materijalnih čestica. Koristeći sisteme jednačina (1), (2) i (3), kao i granične uslove za brzine i pomeranja, a takodje i uslov jednakosti napona na granici prelaza cevi u odvod, dobijaju se jednačine za sračunavanje deformacija i napona u žarištu deformacija (zone I i II). Konačni izrazi za određivanje polja deformacija i napona imaju oblik

$$\begin{aligned} \Psi_\rho &= \ln \frac{s}{s_0} = \ln \frac{l_0 + R\eta}{l + R\eta} ; & \Psi_\Theta &= \frac{a}{q} \eta \Psi_\rho ; & \Psi_z &= - \left(1 + \frac{a}{q} \eta\right) \Psi_\rho ; \\ \Psi_{\Theta z} &= -2 \frac{b}{q} \eta \Psi_\rho ; \end{aligned} \quad (4)$$

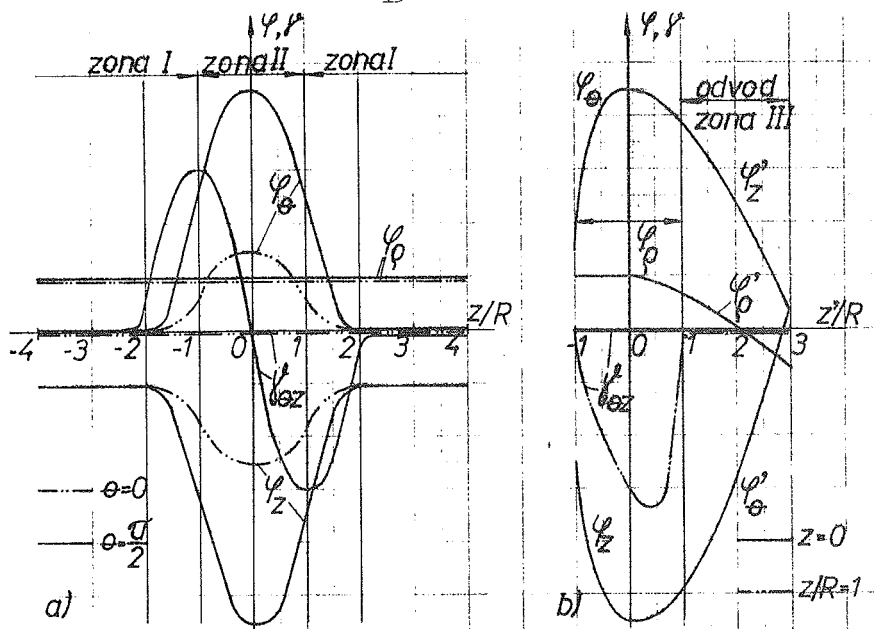
$$\begin{aligned} \bar{\sigma}_\rho &= -p + \frac{\sqrt{3}}{3} K \left(\frac{a}{q} \eta - 1\right) \ln \frac{\rho}{R_u} ; & \bar{\sigma}_\Theta &= -p + \frac{\sqrt{3}}{3} K \left(\frac{a}{q} \eta - 1\right) \left(1 + \ln \frac{\rho}{R_u}\right) ; \\ \bar{\sigma}_z &= -p - \frac{\sqrt{3}}{3} K \left[2 + \ln \frac{\rho}{R_u} + \frac{a}{q} \eta \left(1 - \ln \frac{\rho}{R_u}\right)\right] ; & \tau_{\Theta z} &= -\frac{\sqrt{3}}{3} K \frac{b}{q} \eta ; \end{aligned} \quad (5)$$

gde su: s_0 i s - početna i tekuća debljina zida cevi; l_0 i l - početna i tekuća dužina cevi; R i R_u - spoljašnji i unutrašnji poluprečnik cevi; ρ - tekući radijus; P - pritisak u nestišljivom fluidu; K - specifični deformacioni otpor materijala sa uračunavanjem očvršćavanja; η - bezdimenzionalni koeficijent, koji se određuje prema izrazu

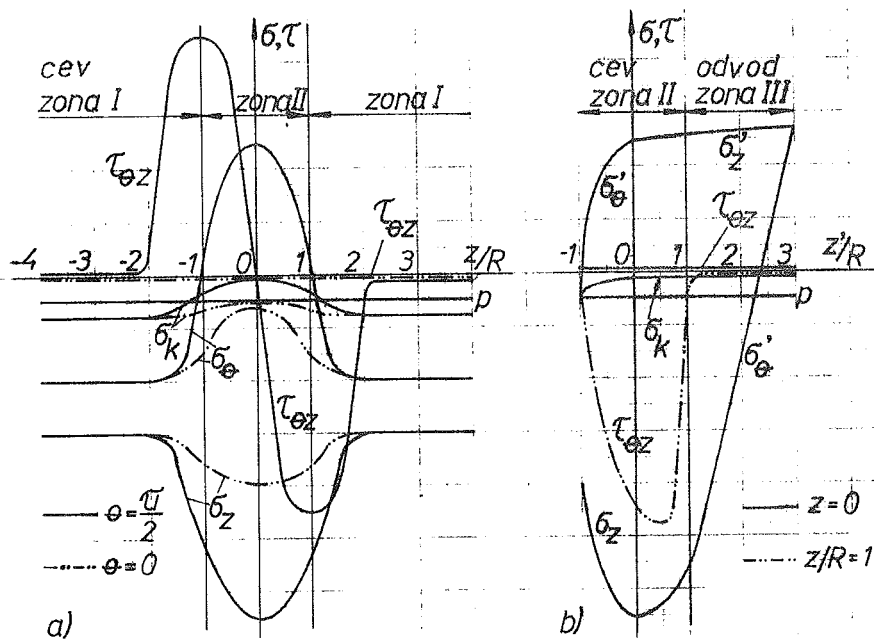
$$\eta = \left[\frac{3(\bar{\sigma}_z' + p)}{K} + 2 - \frac{1}{\sqrt{4 - k_p^2}} - \frac{r}{R} (2 - k_p) \right] \frac{2\sqrt{4 - k_p^2}}{2 + \sqrt{4 - k_p^2}} \left(\frac{R' + r}{R + r} \right)^2$$

$k_p = d'/d$ - koeficijent prelaza cevi u odvod; r - radijus zaobljenja na prelazu cevi u odvod, dok su a , b , q - oznake, koje zamenjuju izraze

$$a = 1 + \cos\Theta \operatorname{ch}\left(\frac{z}{R}\right) ; \quad b = \sin\Theta \operatorname{sh}\left(\frac{z}{R}\right) ; \quad q = \cos\Theta + \operatorname{ch}\left(\frac{z}{R}\right)^2 .$$



Slika 3 : Dijagrami deformacija po karakterističnim preseccima T-račve



Slika 4 : Dijagrami napona po karakterističnim preseccima T-račve

Na osnovu jednačina (4) i (5) nacrtani su dijagrami promene deformacije (slika 3) i dijagrami promene napona (slika 4) po uzdužnoj ravni simetrije ($\theta = 0$) i poprečnoj ravni simetrije ($z = 0$) T-račve.

Sa dijagrama je očigledno, da u zoni I (na krajevima cevi) vlada naponsko stanje svestranog pritiska, dok je deformaciono stanje ravansko. U zoni II vlada raznoimeno naponsko stanje, ali dominantan uticaj imaju normalni naponi pritiska u aksijalnom pravcu cevi σ_z , što uslovljava da je deformacija u radijansom pravcu cevi φ_0 u zoni II pozitivna, tj. dolazi do zadebljanja zida cevi i u zoni II. Zavareni šavovi su pogodni za pritiska opterećenja, pa za izradu delova tipa T-račve mogu da se primene i šavne cevi, pri čemu se pri postavljanju cevi u kalup mora voditi računa, da se šav nalazi na suprotnoj strani od radijalnog otvora, u kome treba da se formira odvod. U suprotnom, dolazi do razaranja cevi upravo na šavu, jer zavareni spojevi nisu postojani na dvoosno rastezanje, koje se javlja na vrhu odvođa u početnoj fazi deformisanja. Sa dijagrama je očigledno i da na krajevima cevi i na odvodu nema tangencijalnih napona i deformacija. Tangencijalni naponi i deformacije javljaju se jedino u oblasti prelaza cevi u odvod, tj. u zoni II.

5. Zaključak

Primenom teorije plastičnog tečenja dobijeni su izrazi za određivanje polja deformacija i napona na osno-nesimetričnim delovima tipa T-račve. Analizom ovih izraza utvrđeno je da se pri proširivanju delova tipa T-račve aksijalnim sabijanjem cevi postiže proširivanje žarišta deformacije na čitavu cev, kao i da dominantan uticaj imaju naponi pritiska. Upravo zbog toga, moguće je i proširivanje nestišljivim fluidom šavnih cevi. Najkritičnije oblasti sa aspekta razaranja su prelaz zida u vrh odvođa i sam vrh odvođa jer u njima vlada naponsko stanje dvoosnog istezanja. Zbog toga, za dobijanje kvalitetnih delova, kod kojih stanjenje zida odvođa ostaje u dozvoljenim granicama (10-15%), obavezno mora da se primeni bočno pridržavanje vrha odvođa. Na osnovu dobijenih vrednosti napona i deformacija moguć je proračun spoljašnjih sila, neophodnih za ostvarivanje procesa proširivanja, kao i proračun graničnog stepena deformacije.

6. Literatura

- / 1/ Stoilković V. , Teorija obrade deformisanjem, Univerzitet u Nišu, Niš, 1984.
- / 2/ Bogojavlenskii K. N. , Izgotovlenie složnih polih detalei, "Mašinstroenie", Leningrad, 1979.
- / 3/ Unksov E. P. , Johnson W. , Kolmogorov V. L. , Pepov E. A. , Teorija plastičkih deformacija metallov, "Mašinstroenie", Moskva, 1983.
- / 4/ Bronstein I. N. , Semendjaev K. A. , Spravočnik po matematike, "Nauka" Moskva, 1980.

21. SAVJETOVANJE PROIZVODNOG STROJARSTVA JUGOSLAVIJE, OPATIJA, 1987.

OBRAZOVANJE "PREKLOPA" PRI KOVANJU U KALUPIMA
DER KNICKFALTENBILDUNG BEI GESENKSMIEDEN

A. Ijevar
S. Eremić
G. Banjac-Mijanović
M. Kelčov

Tehnički fakultet "M. Pupin", OOUR Institut
za mašinstvo, 23000 Zrenjanin
Fabrika otkovaka "Kovačnica", 23230 Jaša Tomić

Ključne reči:
Kovanje u kalupu
Otkovak
Kovački preklop

REZIME: U radu se razmatraju načini obrazovanja kovačkih preklopa pri obradi metala kovanjem, a posebno kovanjem u kalupu. Daju se sheme obrazovanja karakterističnih preklopa na otkovcima. Izvršena je analiza rezultata metalografskih ispitivanja otkovaka sa ovom površinskom greškom.

Schlüsselworte:
Gesensschmieden
Schmiedeerzeugniss
Knickfaltenbildung

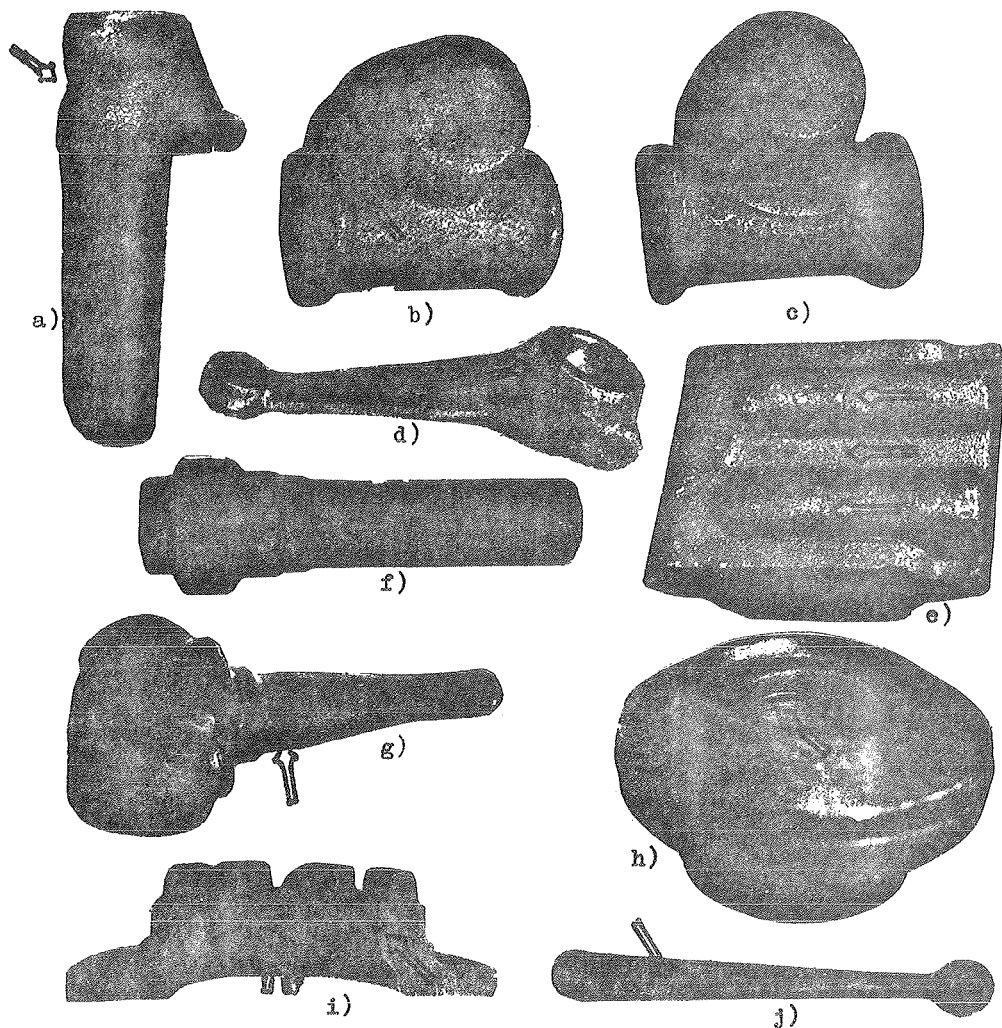
ZUSAMMENFASSUNG: In der Arbeit werden die Arten der Knickfaltenbildung bei der Bearbeitung der Metalle beim Schmieden, besonders beim Gesensschmieden betrachtet. Die Bildung der charakteristischen Knickfalten ist schematisch dargestellt. Metallographische Prüfung der Schmiedeerzeugnisse wird mit diesen Fehlern ausgeführt.

1. Uvod

Pri obradi metalnih materijala kovanjem često se na otkovcima uočavaju površinske greške u obliku preklopljenih mesta koje se mogu nazvati "kovačkim preklopom". Ova greška najčešće nastaje kao posledica susretnog tečenja metala [1]. Deo materijala koji isprednjači preklapa se i utiskuje na susednu površinu. Pri neravnomernom sabijanju dolazi do stvaranja lokalnih nabora - ispupčenja, koji se pri tom nakivaju na površinu otkovka, što je posebno uočeno pri kovanju niskougljeničnih čelika sa većim sadržajem hroma [2].

Otkovci sa preklom predstavljaju loše otkovke. Medjutim, ako preklom nije dubok, i ako je predvidjen dovoljan dodatak za mašinsku obradu, on se može otkloniti obradom rezanjem. Preklom na otkovku ima ulogu zarezate predstavlja potencijalnu opasnost za nastajanje i razvoj mikroprskotina i lom usled zamora metala.

Neki karakterisistični primeri kovačkih preklopa na otkovcima izradjenim kovanjem u kalupu prikazani su na sl.1 (označeno strelicom).

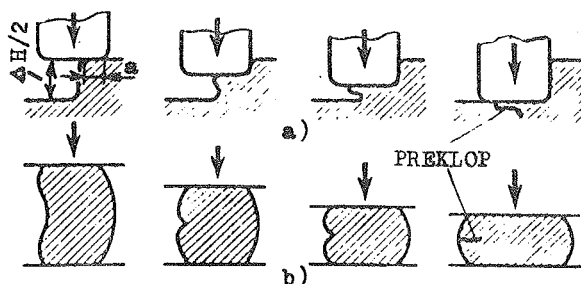


Sl.1- Primeri otkovaka sa kovačkim preklomom nastalim nepravilnim sabijanjem (a), ekscentričnim ulaganjem priprema ili ulaganjem priprema povećanog preseka u pripremno-prethodnu gravuru (b-g), usled ekscentričnog postavljanja kalupa (h), ulaganja pogače manje debljine (i) i usled zatupljenosti ploče za odsecanje venca otkovka (j)

2. Obrazovanje kovačkih preklopa

Kovački preklopi na otkovcima nastaju: 1. zbog nestručnog rada radnika, i 2. iz određenih tehničko-tehnoloških razloga.

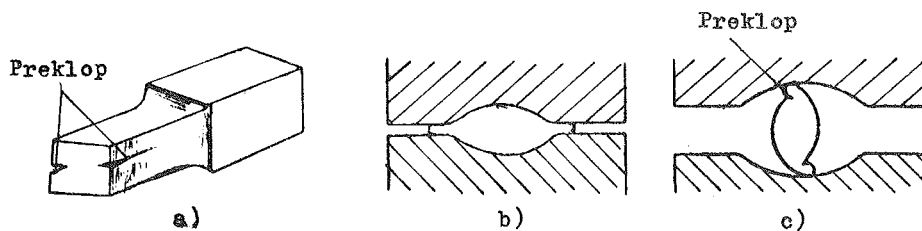
Veoma čest slučaj obrazovanja kovačkih preklopa je pri sprovođenju operacije izduživanja, sl.2. Ovakvi kovački preklopi nastaju zbog malih zahvata alata i većeg stepena plastičnog deformisanja pri izduživanju. Da bi



Sl.2- Shematski prikaz obrazovanja poprečnih (a) i uzdužnih (b) kovačkih preklopa pri izduživanju

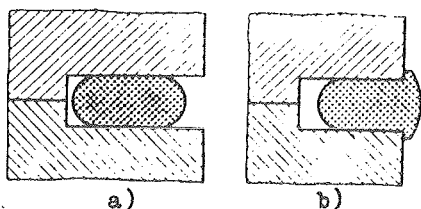
se izbeglo stvaranje poprečnih preklopa preporučuje se da je odnos $a < \Delta H/2$ (sl.2,a), odn. uzdužnih preklopa pri izduživanju pripremla pravougaonog preseka $b \times h$ preporučuje se da je odnos $b/h = 2$ do $2,5$ (sl.2,b) [2,3].

Usled oštrog plastičnog deformisanja (udara) pri izduživanju pripremla u gravuri za izduživanje (sl.3, a), odn. pri uvaljivanju oblika u gravuri za uvaljivanje (sl.3, b i c) može nastati kovački preklop.



Sl.3- Stvaranje kovačkih preklopa pri oštroj izduživanju u gravuri za izduživanje (a) i uvaljivanju oblika u odg. gravuri kalupa (b,c)

Ekscentrično ulaganje pripremla u pripremlno-prethodnu gravuru kalupa, kao i povećani presek istog, dovodi do formiranja ispupčenja, tzv. "brka", najčešće na dvema paralelnim stranama otkovka, koje se u narednim operacijama kovanja zakiva na površinu otkovka, odn. do stvaranja preklopa, sl.4. Ovakav način stvaranja preklopa pri kovanju u kalupu je i najčešći (sl.1, b - g).

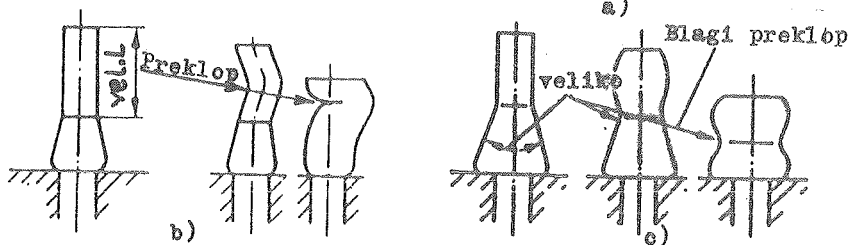
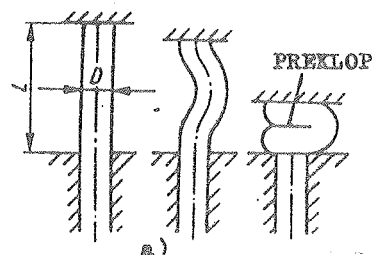


Sl. 4- Deformacija pripremljenog dijela u gravuru kalupa (a) i stvaranje preklopa pri nepravilnom (ekscentričnom) ulaganju (b)

janju dovodi do stvaranja kovačkog preklopa (sl. 5, b), dok preveliki ugao konusa dovodi do blažeg oblika preklopa (sl. 5, c), [4].

Tablica 1- Preporučene vrijednosti br. stepeni sabijanja

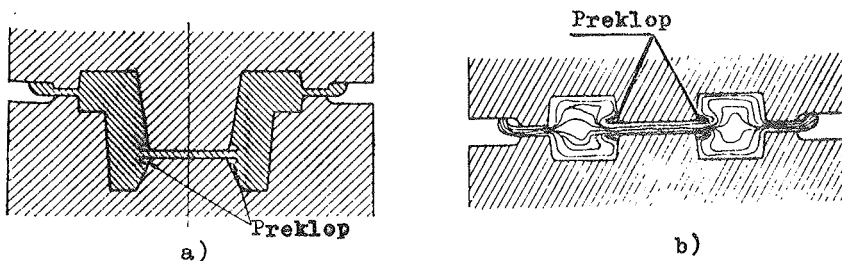
$s=L/D$	2,3	2,3-4,5	4,5-8
Br. stepeni sabijanja	1	2	3



Sl. 5- Stvaranje preklopa pri sabijanju pripremljenog dijela: a) sabijanje pri velikom odnosu L/D ; b) dobro predsabijanje ali loše završno sabijanje zbog velike visine cilindričnog dijela; c) loše završno sabijanje zbog velikog ugla konusa stvorenog u predsabijanju

Pri kovanju na krivajnim presama preklopi, kao sistematska greška, pojavljuju se samo u slučaju nesaglasnosti gravura kalupa ili neke konstruktivne greške na kalupu - što nije slučaj pri kovanju na čekićima, i malo zavisi od načina rada kovača. Veoma često preklopi nastaju zbog isticanja metala iz pločice, ili sl., u telo otkovka (sl. 6, a), ili pri rasporedji vanju gravura u parovima (sl. 6, b). Da bi se ovakva greška izbegla u kalupu se prave specijalna mala udubljenja (tzv. džepovi) za smeštaj viška metala, [1].

Primer stvaranja preklopa zbog neodgovarajućih dimenzija prethodnih gravura sa završnom gravurom prikazan je na sl. 7.



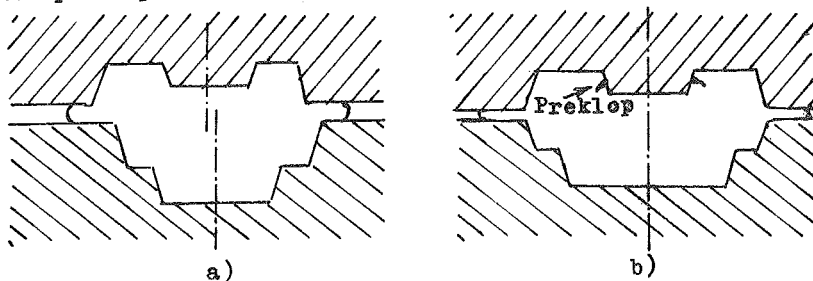
Sl.6- Preklop tipa "proboja" u pločici otkovka (a) i u otkovku pri kovanju u kalupu sa parno razmeštenim gravurama (b)



Sl.7- Obrazovanje preklopa zbog nesaglasnosti dimenzija prethodne sa završnom gravurom kalupa

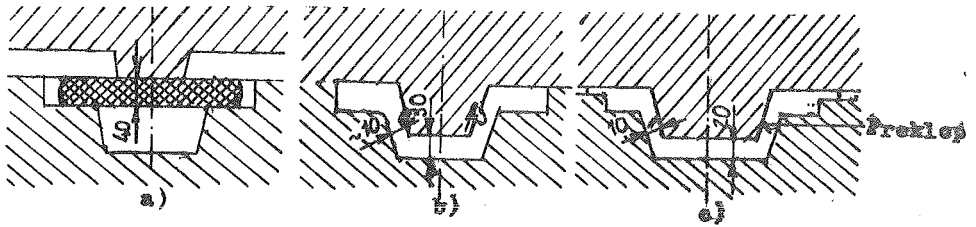
Sl.8 Uticaj radijusa savijanja na stvaranje kovačkog preklopa

Preklop može nastati usled nesaglasnosti poluprečnika u gravuri za savijanje sa odgovarajućom konturom u prethodnoj i završnoj gravuri (sl.8) Radijus savijanja pod određenim uglom u gravuri za savijanje treba da je znatno veći od odg. radijusa u prethodnoj i završnoj gravuri. Na taj način dolazi do prekrivanja unutrašnjeg zaobljenja i potiskivanja stvarnog preklopa u venac ne dopuštajući mu da prodre u telo otkovka [1]. Ekscentrično postavljanje prethodne u odnosu na završnu gravuru dovodi do pojave preklopa (sl.1,h i sl.9).



Sl.9- Uticaj ekscentričnosti prethodne gravure (a) na stvaranje preklopa u završnoj gravuri (b)

Smanjena debljina priprema - pogače može biti uzrok pojave preklopa usled susretnog tečenja metala u završnoj gravuri (sl.1, i i sl.10).

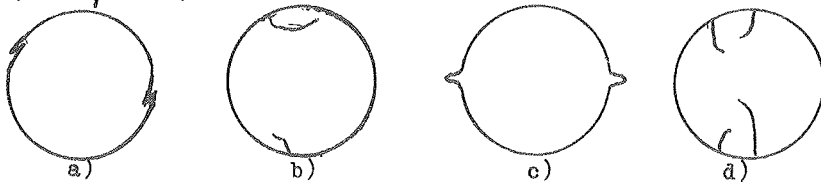


Sl.10- Uticaj smanjene debljine pogače na stvaranje preklopa

Pri odsecanju venca otkovka usled zatupljenja ploče za odsecanje, ili nje-ne nepodešenosti, deo venca otkovka savija se i nakiva na telo otkovka , sl.1,j.

3. Metalografsko ispitivanje

Preklop na poprečno vadjenim metalografskim uzorcima (šlif) pri makro ispitivanjima nalazi se većinom pod oštrim uglom u odnosu na površinu otkovka (sl.11, a i b).

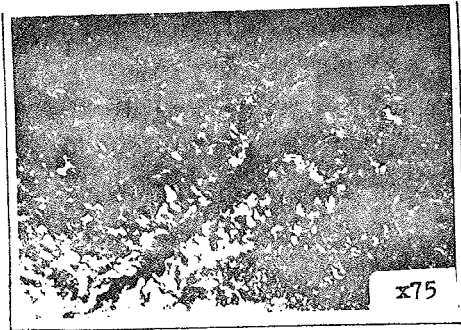


Sl.11- Shematski makro izgled kovačkih preklopa: Preklopi pod oštrim uglom (a,b); grubo ispupčenje (c) stvara preklop pod približno pravim uglom sa povijenim krajevima(d)

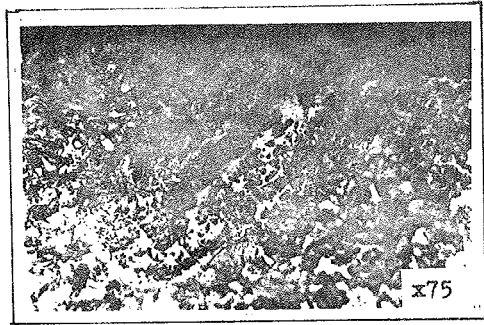
Gruba ispupčenja (tzv."brci") koja se većinom obrazuju na suprotnim stranama otkovka pri većem preseku priprema u pripremno-prethodnoj gravuri kalupa (sl.11,c), svojim nakivanjem na površinu otkovka stvaraju preklop koji se nalazi približno pod pravim uglom u odnosu na površinu otkovka sa savijenim krajem u obliku srpa (sl.11,d) [2] .

Preklopi nastali u procesu izrade kovanjem u kalupu rukavca prednjeg točka traktora, izradjenog od Č.4732 (sl.1,g), stvoreni su usled nestručnog rada kovača, pre svega zbog ekscentričnog ulaganja priprema ili njegove većeg preseka u pripremno-prethodnim operacijama kovanja [5]. Mikro-metalografski snimci ovih preklopa dati su na sl.12 do 16. Broj otkovaka sa ovom površinskom greškom približno je bio 1,05% na prosečno ispitivanoj seriji od 205 otkovaka.

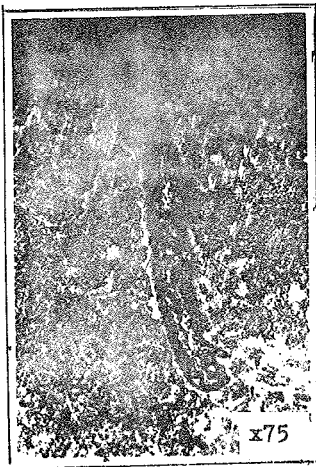
Preklopi sa oštrim uglom u odnosu na površinu otkovka prikazani su na sl. 12 i 13, a pod pravim uglom sa blago povijenim krajem na sl.14. Uočljivo je zatupljenje kraja preklopa (što ga razlikuje od prskotine) koji se nalazi u razugljenisanom feritnoj osnovi sa uključenom kovarinom. Kiseonik iz kovarine, kojom je ispunjena pukotina, difundovao je u čelik, što



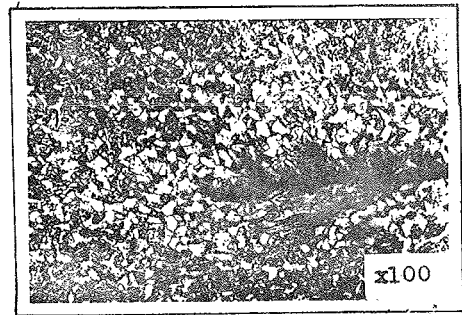
Sl.12- Kovački preklap sa krajem u razugljenisanom feritnoj osnovi i uključenom kovarinom pod oštrim uglom. Nagrizano nitalom 2%



Sl.13- Preklap u feritnoj osnovi i uključenom kovarinom sa tupim krajem. Nagrizano nitalom 2%



Sl.14- Preklap pod pri bližno pravim uglom, tupim krajem. Nital 2%



Sl.15- Razgranati preklap u razugljenisanom feritnoj osnovi. Nagrizano nitalom 2%

je ravno lokalnom pregorevanju [6]. Ovakvo oksidisano mesto ne omogućuje više besprekorno svarivanje.

Nezavareni kovački preklap čiji se vrh nalazi u feritnoj osnovi sa lokalnom deformacijom zrna u okolini pukotine prikazan je na sl.15. Vrh preklopa je zatupljen i većinom nerazgranat (što nije slučaj kod prskotina) Preklap na sl.15 ima bočne razgranate strane što je verovatno posledica primenjenog velikog stepena plastične deformacije (najveća redukcija preseka je sa preseka 70x70 na prečnik od 23 mm).

Ispitivanjem linija tečenja metala uočava se da iste ne presecaju, već obavijaju kraj kovačkog preklopa [2].

Zbog smanjenog sadržaja ugljenika površinski razugljenisani čelici imaju feritnu površinsku zonu i ne postižu više punu tvrdoću pri kaljenju. Ferit ima manju dinamičku čvrstoću od perlita. Meki feritni sloj lako se

zapara za vreme rada što pogoduje stvaranju i razvoju prskotina usled zamora metala. Slično je i sa kovačkim preklopima koji se nalaze u feritnoj osnovi [6].

4. Zaključak

Pri sprovođenju postupka plastičnog deformisanja metalnih materijala kovanjem u kalupu, posebno kvalitetnih čelika visoke čvrstoće koji su osetljivi na koncentraciju napona i pojavu prskotina usled zamora, postupak treba tako sprovesti da se izbegne mogućnost pojave kovačkih preklopa. S obzirom da se pojedini kovački preklopi ne mogu otkriti vizuelnim putem, posebno zbog neodstranjene kovarine, takvi otkovci se moraju kontrolisati drugim defektoskopskim metodama.

Mogućnosti stvaranja kovačkih preklopa veoma su različite zbog toga je gotovo nemoguće preduzeti sve mere radi sprečavanja njegove pojave. Na subjektivni parametar - nestručni rad kovača ne može se uvek uticati.

LITERATURA

- [1] Gostev V.I., Kačestvo šampovanih pokovok i metodi predupreždenija braka v kuznečnih cegah, Moskva, "Mašinstroenie" (1975), 31 - 84
- [2] Defekti stali, spravočnik, Moskva "Metalurgija" (1984), 33 - 34
- [3] Kuzminev V.N., Kovka na molotah i pressah, Moskva "Visšaja škola" (1985), 74 - 75
- [4] Jahnke H., Retzke R., Weber W., Umformen und Schneiden, VEB Verlag Technik Berlin (1971), 137 - 141
- [5] Ljevar A., Magistarski rad, Tehnički fakultet Bor (1986), 113-114, 155-156, 164-165
- [6] Šuman H., Metalografija, prevod sa nemačkog, TMF Beograd (1981), 259-260, 297

21. SAVJETOVANJE PROIZVODNOG STROJARSTVA JUGOSLAVIJE, OPATIJA, 1987.

NAPONSKO-DEFORMACIONO STANJE PRI PROŠIRIVANJU NESTIŠLJIVIM FLUIDOM DELOVA TIPA SPOJNICE ZA RAM BICIKLE

STRESS-STRAIN STATE DURING AN EXPANDING OF HEAD-LUG PIECES FOR USE IN BICYCLES

B.Rančić
V.Stoiljković

Mašinski fakultet Univerziteta u Nišu
18000 Niš, Jugoslavija

Ključne reči:
Spojnica
Bicikla
Proširivanje
Napon
Deformacija

SAŽETAK: U radu je data analiza različitih načina proširivanja delova tipa spojnice za ram bicikle nestišljivim fluidom na hladno. Najveći stepeni deformacije postižu se proširivanjem sa dopunskim sužavanjem odvoda. Za ovaj slučaj izvršena je analiza naponsko-deformacionog stanja. Utvrđeno je da postoji sedam karakterističnih zona sa različitim shemama naponsko-deformacionog stanja.

Key words:
Head-lug
Bicycle
Expanding
Stress
Strain

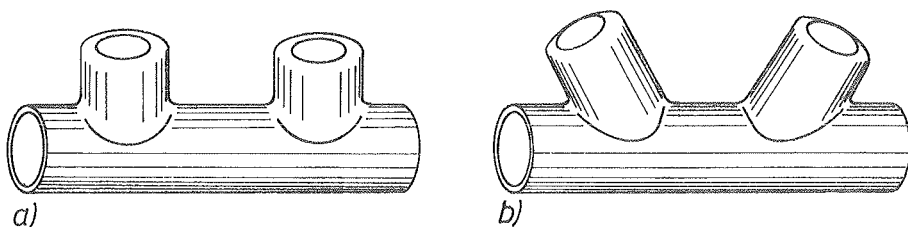
ABSTRACT: In this article was given an analysis of different expanding ways of head-lug pieces for use in bicycles, by oil hydraulic cold forming process. The greatest strain degree was reached by expanding with additional bulge making narrower. For this case, it was also done an analysis of stress-strain state and it was established existing of seven characteristic areas with different schemes of stress-strain state.

1. Uvod

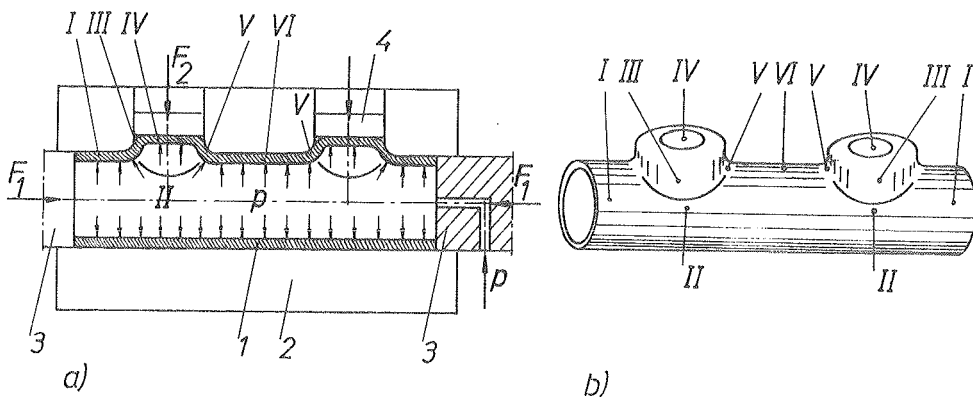
Proširivanjem cevi nestišljivim fluidom na hladno mogu da se dobiju delovi najrazličitijeg oblika. Za osnosimetrične delove postoje detaljne analize odvijanja procesa deformisanja i naponsko-deformacionog stanja, jer se, zbog osnosimetričnosti i male debljine zida cevi u odnosu na ostale dimenzije problem može da svede na ravanski. Za delove sa jednom ravni simetrije, u koje spadaju delovi tipa spojnice za ram bicikle, svodjenje na ravanski problem nije moguće, tako da je analiza znatno složenija i postoji veoma malo podataka o procesu proširivanja i naponsko-deformacionom stanju u materijalu. U radu će se dati analiza različitih mogućnosti procesa proširivanja nestišljivim fluidom i naponsko-deformacionog stanja za delove tipa spojnice za ram bicikle.

2. Proces proširivanja

Delovi tipa spojnice za ram bicikle spadaju u delove sa samo jednom (uzdužnom) ravni simetrije, a karakterišu se sa dva odvođa, koji su postavljeni jedan za drugim na istoj strani cevi. Odvođi kod delova tipa spojnice za ram bicikle mogu da budu pod pravim uglom u odnosu na cev (slika 1,a) ili pod nekim drugim uglom (slika 1,b). U radu će se izvršiti analiza za odvođe pod pravim uglom, a da se pri tome ne gubi ništa od opštosti rasmatranja.



Slika 1 : Dva karakteristična dela tipa spojnice za ram bicikle

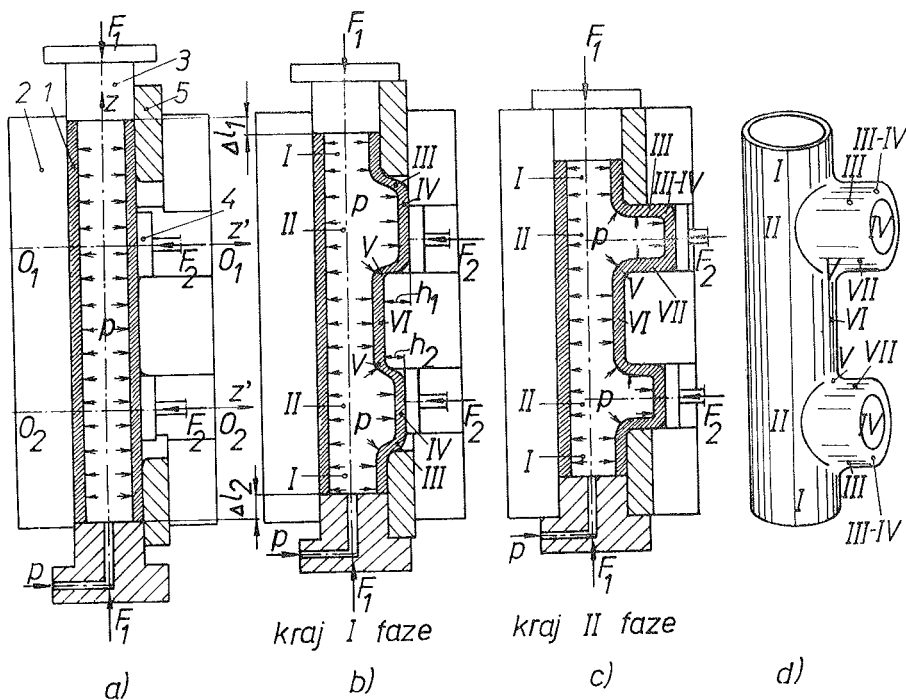


Slika 2 : Shema procesa proširivanja nestišljivim fluidom sa aksijalnim sabijanjem i bočnim pridržavanjem (a) i prikaz zona sa karakterističnim shemama naponsko-deformacionog stanja (b)

Shema deformisanja, po kojoj se proširivanje cevi vrši samo pod dejstvom nestišljivog fluida, može se objasniti na osnovu slike 2,a . U dvodelni razdvojni kalup (poz.1) postavlja se cev (poz.2), koja je učvršćena između tiskača (poz.3), koji su u ovom slučaju nepokretni. Deformisanje se vrši pod dejstvom pritiska nestišljivog fluida i odgovara procesu hidrauličnog razvlačenja lima u otvoru kružnog poprečnog preseka. Žarište deformacija je

lokalizovano na dve uske oblasti, tako da vrlo brzo dolazi do razaranja vrhova odvoda, koje ne može da se spreči ni bočnim pridržiivačima (poz.4), /1/.

Schema proširivanja nestišljivim fluidom sa aksijalnim sabijanjem cevi i bočnim pridržiavanjem prikazana je na slici 2, a . U dvodelni razdvojni kalup (poz.1) postavlja se cev (poz.2). Pored delovanja pritiska nestišljivog fluida, koji se dovodi iz specijalnog hidrauličnog agregata, vrši se i sabijanje cevi aksijalnim tiskačima (poz.3), koji su u ovom slučaju pokretni i deluju na cev silom F_1 . Sabijanje cevi uslovljava proširivanje žarišta deformacija i na krajeve cevi (zone I, sl.2,a,b). Ipak, ni u ovom slučaju ne mogu da se dobiju značajnije visine bočnih ispupčenja - odvoda. Naime, pri shemi deformisanja sa aksijalnim sabijanjem uticanje materijala u ma koji od odvoda je jednostrano i to sa strane krajeva cevi (zone I). Ovo je zbog toga, što se, nakon formiranja odvoda veoma male visine, delovanje sila sabijanja F_1 ne prenosi na zonu između odvoda (zona VI, sl.2,a,b). Povećanje visine odvoda vrši se na račun stanjenja debljine zida cevi u usko lokalizovanim oblastima (zone V, sl.2,a,b), tako da vrlo brzo dolazi do razaranja u ovim zonama. Razaranja ne može da se spreči ni bočnim pridržiivačima (poz. 4), koji na vrhove odvoda deluju silom pridržiavanja F_2 .



Slika 3 : Shema procesa proširivanja sa dopunskim sužavanjem odvoda i prikaz zona sa karakterističnim shemama naponsko-deformacionog stanja

Znatne visine odvoda mogu da se dobiju jedino po shemi proširivanja sa dopunskim sužavanjem odvoda, koja je prikazana na slici 3,a,b,c . U početku deformisanja, kada su pokretni segmenti (poz.5) razmaknuti i u stanju mirovanja (sl.3,a,b), proces proširivanja odvija se na isti način, kao i u slučaju proširivanja sa aksijalnim sabijanjem cevi (sl.2,a). Zbog osobenosti deformisanja u zonama V i VI, veličine aksijalnog sabijanja cevi ($\Delta l_1 + \Delta l_2$) i visine odvoda (h_1 i h_2 , sl.3,b) u ovoj tzv. I fazi deformisanja ne smeju biti velike. I faza deformisanja završava se, kada aksijalni tiskači (poz. 3), koji vrše sabijanje cevi (poz.1), dodju u kontakt sa pokretnim segmentima. U II-goj fazi deformisanja (sl.3,c), kada su pokretni segmenti otpočeli zajedničko kretanje sa aksijalnim tiskačima, pored aksijalnog sabijanja cevi, vrši se i sužavanje odvoda i povećanje visine odvoda, sve do dimenzija definisanih dimenzijama otvora u dvodelnom razdvojevom kalupu (poz. 2). Uticanje materijala u odvode i dopunsko sužavanje odvoda su jednostrani, tj. pokretni segmenti na ma koji od odvoda deluju sa strane krajeva cevi (zone I , sl.3,b,c,d), / 2/. I kod ove sheme deformisanja, bočni pridrživači (poz.4) imaju zadatak da spreče razaranje vrhova odvoda.

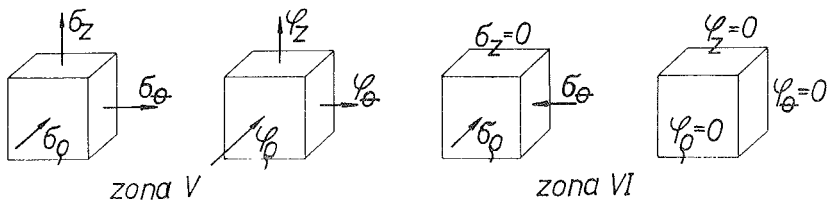
3. Naponsko-deformaciono stanje

Za analizu naponsko-deformacionog stanja usvojeni su cilindrični koordinatni sistemi i to: glavni i pomoćni. Kod glavnog koordinatnog sistema osa z podudara se sa osom cevi, dok su tačke cevi definisane radijusom ρ i uglom Φ . Kod pomoćnih koordinatnih sistema, ose z' podudaraju se sa osama odvoda, tako da je ma koja tačka na odvodu definisana koordinatom z' , radijusom ρ' i uglom Φ' . Normalni naponi i deformacije u zidu cevi definisani su normalnim naponima i deformacijama u aksijalnom (z), radijalnom (ρ) i tangencijalnom pravcu (Φ). Na analogan način definisani su i naponi i deformacije na odvodima.

Naponsko-deformaciono stanje pri proširivanju pod dejstvom samo pritiska nestišljivog fluida analogno je sa naponsko-deformacionim stanjem pri hidrauličnom razvlačenju lima u otvoru kružnog poprečnog preseka, / 1/ i / 3/, tj. karakteriše se naponima istezanja σ'_ρ i σ'_Φ i naponom pritiska σ'_z u formiranom polusfernom ispupčenju. Ovakvo naponsko stanje uslovljava da su deformacije u radijalnom i tangencijalnom pravcu formiranog odvoda pozitivne, a deformacija u aksijalnom pravcu odvoda, tj. deformacija po debljini zida odvoda, je negativna, što uslovljava naglo stanjenje zida odvoda i razaranje.

Naponsko-deformaciono stanje, koje se javlja pri proširivanju nestišljivim fluidom sa aksijalnim sabijanjem cevi, analiziraće se u poredjenju sa naponsko-deformacionim stanjem, koje se javlja pri proširivanju T-račve. Detaljni podaci o naponsko-deformacionom stanju pri proširivanju T-račve dati su u literaturi / 2/ i / 4/. Zbog toga što su odvodi postavljeni jedan za drugim na istoj strani cevi (sl.2), posle formiranja odvoda, čak i male vi-

sine, karakter normalnih napona pritiska $\bar{\sigma}_z$ u aksijalnom pravcu cevi principijelno je drugačiji, nego kod oblikovanja T-račve. I dok u zonama I, II III i IV, koje su analogne sa istim ovim zonama kod T-račve, vlada analogno naponsko-deformaciono stanje kao i kod T-račve, dotle u zidu cevi između odvoda (zona VI, sl.2) nema napona pritiska $\bar{\sigma}_z$ od aksijalnih sila sabijanja F_1 . Odsustvo napona $\bar{\sigma}_z$ uslovljeno je postojanjem odvoda, jer formirani odvodi imaju ulogu otvora, koji ne prenose aksijalnu silu sabijanja. Kako je u zoni VI, zbog čvrstih zidova kalupa, sprečeno kretanje materijala cevi i u tangencijalnom pravcu, to će uticanje materijala u ma koji od odvoda biti jednostrano - sa strane krajeva cevi (zona I, sl.2). Ovakvo deformisanje izaziva u zoni V - zoni prelaza cevi u odvod - napone istezanja $\bar{\sigma}_z$ i $\bar{\sigma}_\theta$, koji, zajedno sa naponom pritiska $\bar{\sigma}_\rho$ od pritiska radnog nestišljivog fluida dovode do rastezanja zone V (deformacije φ_z i φ_θ su pozitivne), naglog stajanja zida cevi (deformacija φ_ρ je negativna) i razaranja odvoda u zoni V. Sheme naponskog i deformacionog stanja u zonama V i VI (sl.2), prikazane su na slici 4.

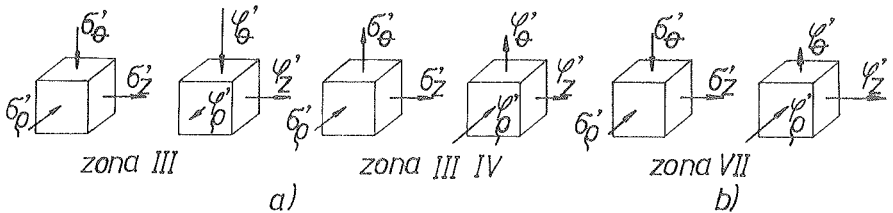


Slika 4 : Mehaničke sheme napona i deformacija u zonama V i VI pri proširivanju sa aksijalnim sabijanjem cevi

Naponsko-deformaciono stanje u I-oj fazi proširivanja sa dopunskim sužavanjem odvoda u potpunosti je analogno sa naponsko-deformacionim stanjem za slučaj proširivanja sa aksijalnim sabijanjem cevi. U II-goj fazi dolazi do sužavanja odvoda pod dejstvom pokretnih segmenata (poz.5, sl.3,a). Kako je dopunsko sužavanje odvoda jednostrano (sa strane krajeva cevi), to zid odvoda ne može više da se posmatra kao jedinstveni omotač, u kome po čitavom obimu nekog poprečnog preseka vlada isto naponsko-deformaciono stanje. Naime, u delu odvoda, označenom kao zona III (sl.3,c), prema kraju cevi vlada analogno naponsko-deformaciono stanje kao i kod proširivanja T-račve sa odstranim dopunskim sužavanjem odvoda. U zoni III naponi $\bar{\sigma}'_\theta$ i $\bar{\sigma}'_\rho$ su naponi pritiska, a napon $\bar{\sigma}'_z$ je napon istezanja; deformacija φ'_θ je negativna, dok su φ'_ρ i φ'_z pozitivne. U oblasti prelaza u vrh odvoda (označenoj kao zona III-IV, sl.3,c,d) naponsko-deformaciono stanje se menja. Samo napon $\bar{\sigma}'_\rho$ je napon pritiska, dok su naponi $\bar{\sigma}'_\theta$ i $\bar{\sigma}'_z$ naponi istezanja. Deformacije φ'_θ i φ'_z su pozitivne, a φ'_ρ je negativna. Ovakvo naponsko-deformaciono stanje u zoni prelaza zida u vrh odvoda uslovljeno je dvoosnim istezanjem u I-oj fa-

zi procesa proširivanja, kada je odvod bio ovalan. Na osnovu prethodnih shema može se zaključiti, da u zoni III dolazi do zadebljanja (ψ'_p je pozitivna deformacija), a tek u oblasti prelaza u vrh odvoda (zona III-IV) dolazi do stanjenja debljine zida odvoda (ψ'_p je negativna deformacija). Mehaničke sheme napona i deformacija u zonama III i III-IV prikazane su na slici 5,a.

Najveće stanjenje debljine zida odvoda ne nastaje u oblasti prelaza u vrh odvoda, već na bočnoj strani odvoda, na kojoj se ne vrši aksijalno sabijanje (zona VII, sl.3,c,d). Naznačeno stanjenje nastalo je još u I-oj fazi deformisanja na prelazu zida u vrh odvoda (zona III, sl.3,b). Ova oblast se kasnije, u procesu jednostranog dopunskog sužavanja pomerila sa vrha na bočnu stranu odvoda. Na pojavu maksimalnog stanjenja debljine zida na ovoj strani odvoda utiče i stanjenje zida cevi u zoni prelaza cevi u odvod (zona V, sl.3,b) u I-oj fazi deformisanja. Mehaničke sheme naponskog i deformacionog stanja u zoni VII prikazane su na slici 5,b .



Slika 5 : Mehaničke sheme napona i deformacija u karakterističnim zonama odvoda pri proširivanju sa dopunskim sužavanjem odvoda

Za orijentaciono određivanje vrednosti napona i deformacija u zonama I i II mogu da se primene isti izrazi, kao i za deformisanje T-račve, a koji su dati u radu / 4/. Pritom, mora se uzeti u obzir činjenica o jednostranom uticanju materijala u odvod, tako da ovi izrazi važe do ravni uzdužne simetrije odvoda, koje su upravne na osu cevi (ove ravni označene su sa $O_1 - O_1$ odnosno $O_2 - O_2$ na slici 3,a). Da bi izrazi za određivanje vrednosti napona i deformacija mogli da se prošire i na zone V i VI, morali bi da se uvedu dopunski granični uslovi, jer u zoni VI nema deformisanja, pa ni kretanja materijalnih tačaka, što bi dovelo do još većeg uslošnjanja ionako komplikovanog matematičkog aparata, tako da bi problem mogao da se reši samo metodama numeričke analize.

Zbog složenosti deformacionog stanja na odvodu, saglasno malopredjašnjoj analizi, izuzetno je teško da se pogodnim izrazom, ili izrazima, obuhvati promena debljine zida na odvodu, čime je onemogućeno dobijanje tačnih i pouzdanih teorijskih izraza za proračun napona, koji deluju u ma kojoj tački odvoda.

Prethodna rasmatranja važe i za slučaj nagnutih odvoda (sl.1,b), pri čemu

moraju da se uzmu u obzir specifičnosti, vezane za nagnute odvođe: poprečni presek bočnih otvora, a u radijalnom pravcu cevi nije krug, već elipsa, što uslovljava lakše uticanje materijala iz oblasti cevi u oblast odvođa; osim proširivanja javlja se i savijanje odvođa, čime se povećavaju vrednosti napona u zoni odvođa, i sl.

4. Zaključak

Procesom proširivanja delova tipa spojnice za ram bicikle pod dejstvom samo pritiska nestišljivog fluida, kao i sa aksijalnim sabijanjem cevi ne mogu da se dobiju delovi sa iole značajnom visinom odvođa. Ovo je zbog toga, što pri ovim shemama deformisanja dominantan uticaj imaju naponi istezanja.

Znatna visina odvođa može se dobiti samo u slučaju, kada je karakter plastičnog deformisanja određen naponima pritiska, dok su naponi istezanja znatno manji od vrednosti specifičnog deformacionog otpora. Ove zahteve zadovoljava shema proširivanja nestišljivim fluidom sa dopunskim sužavanjem odvođa, kada se na račun smanjenja dimenzija poprečnog preseka dobija značajno povećanje visine odvođa.

Na delovima tipa spojnice za ram bicikle, dobijenim po shemi deformisanja sa dopunskim sužavanjem odvođa postoji sedam zona sa karakterističnim naponsko-deformacionim stanjem.

Zbog složenosti naponsko-deformacionog stanja u materijalu cevi i odvođa, kao i složenosti samog procesa proširivanja delova tipa spojnice za ram bicikle pomoću nestišljivog fluida i sa dopunskim sužavanjem odvođa, nije može dobiti tačne teorijske izraze za proračun napona i deformacija. Za određivanje naponsko-deformacionog stanja po čitavoj dužini cevi i po visinama odvođa svrsishodan je eksperimentalan pristup sa prethodno razradjenim planom eksperimenta i naknadnom statističkom obradom dobijenih podataka.

5. Literatura

- / 1/ Stoilković V. , Teorija obrade deformisanjem, Univerzitet u Nišu, Niš, 1984.
- / 2/ Bogojavlenskii K. N. , Izgotovlenie složnih polih detalei, "Mašinstroenie", Leningrad, 1979.
- / 3/ Averkiev A. J. , Metodi ocenki štampečnosti listovogo metalla, "Mašinstroenie", Moskva, 1985.
- / 4/ Rančić B. , Stoilković V. , Naponsko-deformaciono stanje na delovima tipa T-račve dobijenim proširivanjem nestišljivim fluidom na hladno, Zbornik radova sa 21. Savjetovanja proizvodnog strojarstva Jugoslavije, Opatija, 1987.
- / 5/ Stoilković V. , Rančić B. , Simetrično i nesimetrično proširivanje cevi od aluminijuma nestišljivim fluidom, Zbornik radova sa VI-og JUGAS-a, Mostar, 1986.

- / 6/ Stoiljković 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.
- / 7/ Stoiljković V. , Rančić B. , Uticaj pritiska fluida na deformaciono stanje i oblik dela pri izvlačenju nestišljivim fluidom, rad je poslat časopisu "Tehnika", Beograd, 1986.
- / 8/ Stoiljković V. , Industrijska izrada elemenata nestišljivim fluidom, Zbornik radova sa XVII Savetovanja proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Budva, 1983.

21. SAVJETOVANJE PROIZVODNOG STROJARSTVA JUGOSLAVIJE, OPATIJA, 1987.

KARAKTERISTIKE TOKA MATERIJALA KOD ISTISKIVANJA
ŠUPLJIH PROFILA

THE CHARACTERISTICS OF MATERIAL FLOW DURING THE
HOLLOW SECTIONS PRODUCTS EXTRUSION

- I. Duplančić Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje,
Sveučilište u Splitu, 58000 Split, Yugoslavia
- J. Prgin SOUR Aluminijski Šibenik, R.O. Centar za aluminijski,
59000 Šibenik, Yugoslavia

Ključne riječi: SAŽETAK: U radu su dani rezultati ispitivanja toka ma-
terijala kod istiskivanja cijevi i šupljih profila po-
moću kombiniranih alata. Korištene su dvije metode:
Istiskivanje prva je bila istiskivanje višedjelnog različito oboja-
Tok materijala nog parafinskog trupca, a druga analiza makrostrukture
Šuplji profil spoja materijala dvaju trupaca u cijevi. Ispitivanja su
pokazala da u recipijentu i kombiniranom alatu nastaju
mrtve zone, te da vanjski dijelovi cijevi teku sporije
od unutarnjih.

Key words: ABSTRACT: This work presents the results of material
Flow examinations during the extrusion through a hollow
die applied in the production of tubes and hollow sec-
Extrusion tions. Two methods were used: In the first method the
Material flow extrusion of three-colour paraffin billet was applied
Hollow extruded and the second one included the analysis of macrostruc-
Section ture of the surface shape obtained in tubes by joining
two billets. The experiments performed have shown that
in the container and hollow die existed a dead zone and
that outer surface of tubes flowed slower than the cen-
tral ones.

1. Uvod

Tok materijala kod istiskivanja šupljih profila od aluminijski je, zbog zatvorene konstrukcije kombiniranog alata, te cijepanja i ponovnog spajanja u njemu, vrlo specifičan. Njegov značaj je posebno izražen kod istiskivanja šupljih profila od teže deformabilnih slitina aluminijski, kao i kod istiskivanja profila velikih poprečnih presjeka. Naime, ukoliko se profil izrađuje od teško deformabilne slitine aluminijski, onda je, zbog njenih loših svojstava spajanja, vrlo teško ostvariti spajanje odvojenih dijelova materijala u komorama alata. Slično se događa i kod istiskivanja profila sa velikim poprečnim presjekom. Tada se, zbog malog stupnja deformacije ($\varphi = 2nA_0/A_1$), u komori alata ne razvija specifični pritisak neophodan za uspješno spajanje.

U oba navedena slučaja, izmjena u toku materijala (skretanja, prepreke,

radne površine itd.) moguće je, u znatnoj mjeri utjecati na poboljšanje uvjeta spajanja u komorama alata, čime se omogućava dobijanje kvalitetnih šupljih profila.

Dosadašnja istraživanja [1], [2], [3], [4] i [5] su pokazala da je tok materijala kroz kombinirane alate najpovoljnije ispitivati istiskivanjem višedjelnih trupaca, te analizom makrostrukture presostatka i profila. Kod toga se obično vrše istiskivanja cijevi i šupljih profila jednostavnih, simetričnih, poprečnih presjeka, što omogućava i njihovo matematičko modeliranje. Na taj način dobijeni rezultati daju osnovu za objašnjavanje pojava koje nastaju kod istiskivanja profila složenih poprečnih presjeka a koje je, navedenim ispitivanjima, inače vrlo teško, a često i nemoguće otkriti.

1. Istiskivanje višedjelnog trupca

U cilju utvrđivanja osnovnih karakteristika toka materijala kroz kombinirani alat provedena su istiskivanja cijevi u laboratorijskim uvjetima. Koršten je višedjelni parafinski trupac dimenzija $\varnothing 197 \times 105$ sastavljen od tri različito obojane ploče. Istiskivanje je provedeno, pomoću laboratorijske hidrauličke preše vertikalnog tipa i kombiniranog alata s križnim nosačem trna (spieder), sl. 1, do visine presostatka od 60 mm. Nakon toga je iz recipijenta i kanala alata odvojen zaostali materijal koji je podvrgnut daljnjim ispitivanjima.

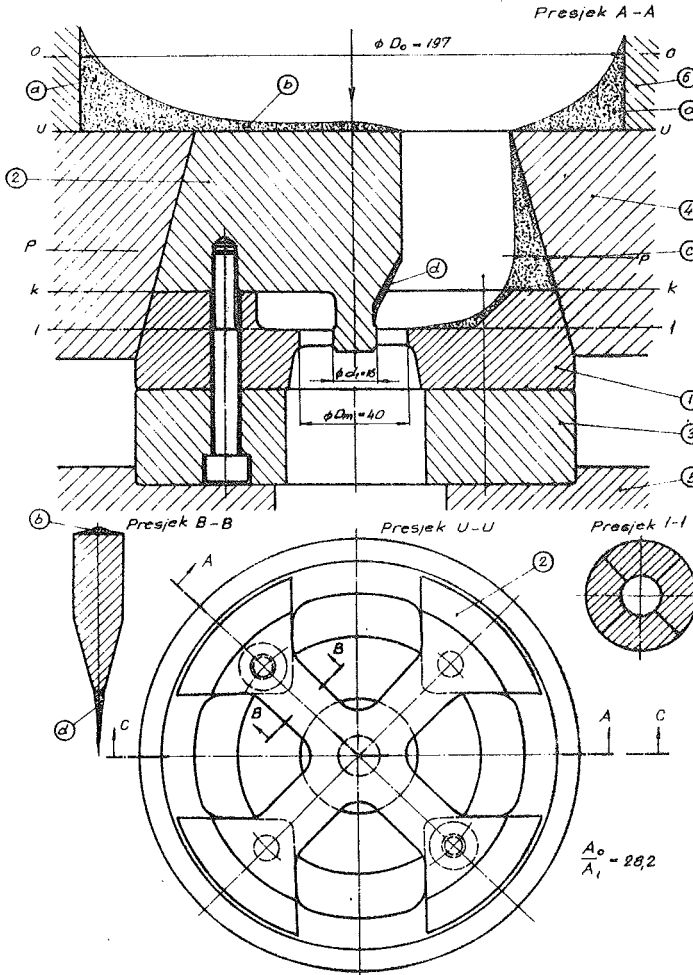
Provedena ispitivanja a i radovi drugih autora [1], [3] pokazuju da se kod izrade šupljih profila pomoću kombiniranih alata stvaraju mrtve zone, unutar kojih materijal miruje. One su na sl. 1 označene točkasto i slovima (a) - (d).

Tok materijala je moguće promatrati kroz dva odvojena područja i to: u recipijentu preše, te u kanalima i komorama alata.

Na početku postupka istiskivanja nastaje, zbog sabijanja trupca u recipijentu, nestacionaran tok koji traje sve do početka cijepanja i istjecanja materijala u kanale alata. Od tog trenutka u recipijentu započinje stacionarno tečenje materijala, a proces je vrlo sličan postupku istiskivanja višezilnih punih profila. Pred ulaznim otvorima alata oblikuje se zona deformacije, dok u uglu recipijenta i po ravnom čelu križnog nosača, nastaju mrtve zone (a) i (b).

Tečenje materijala kroz kanale i komore alata se odvija uz značajne neravnomjernosti deformacije. One su izazvane konstrukcijom alata i trenjem. Neravnomjernosti deformacija postupno rastu u smjeru istjecanja materijala a najveće su na ulazu u komore. Zbog djelovanja trenja vanjski dijelovi materijala, uz stijenku kanala i nosač trne, zaostaju, dok materijal iz središnjih dijelova kanala istječe najbrže. Na putu iz kanala kroz komore

do izlaza iz alata, materijal doživljava dvostruko stretanje. Ono je posljedica konstrukcije alata. Prvo skretanje materijala nastaje na ulazu u komore a druga na izlazu iz alata. U kanalima i komorama alata takodjer nastaju mrtve zone koje mogu štetno djelovati na kvalitetu profila. One nastaju u uglovima izmjedju matrice, koničnog držača i križnog nosača trna (c), te ispod križnog nosača trna (d).



Sl. 1. Kombinirani alat za izradu cijevi [5]

- ① - matrica, ② - križni nosač trna, ③ - podložna ploča,
- ④ - konični držač alata, ⑤ - stol preše, ⑥ - recipient

Provedena istraživanja i ona izvršena u radovima [3] i [6] ukazuju da materijal koji je jednom ušao u mrtvu zonu ne ostaje u njoj do kraja procesa. Zbog djelovanja glavnog strujanja dio materijala se iz mrtvih zona izvlači i otiče u profil kao površinski film. Tako se materijal iz mrtve

zone (a) u uglu recipijenta polako spušta po vanjskim stijenkama kanala u mrtvu zonu (c), odakle se postupno izvlači na vanjsku površinu profila. Iz mrtve zone (b) na nosaču trna materijal se intenzivnije izvlači, te duž nosača trna dijelom ulazi u mrtvu zonu (d), a dijelom istječe direktno na nutarnju površinu profila. Mrtva zona (d), koja se stvara ispod nosača trna, obično je izdužena a materijal iz nje istječe u uzdužni spoj profila, što može utjecati na njegovu kvalitetu.

2. Spoj materijala dvaju trupaca u profilu

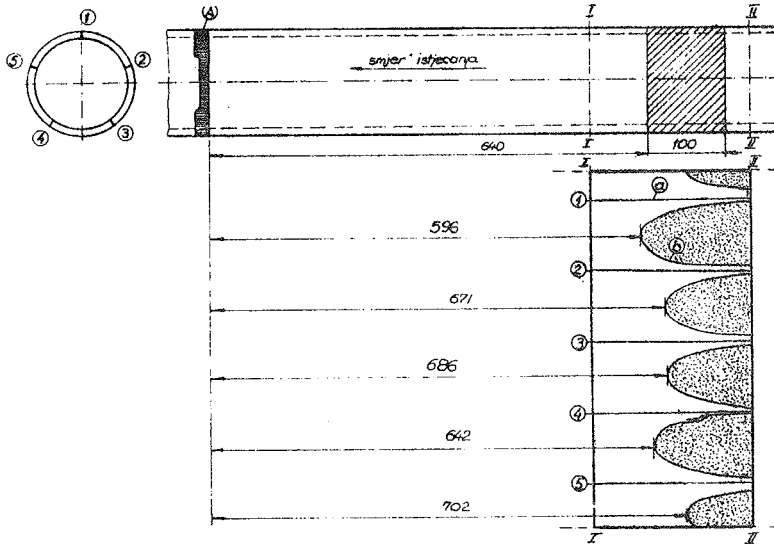
Na karakteristike toka materijala kroz kombinirani alat može ukazati spoj materijala dvaju trupaca u profilu, koji nastaje za vrijeme kontinuirane proizvodnje. Naime, po završetku istiskivanja jednog trupca kanali i komore alata ostaju ispunjeni materijalom na kojeg, u nastavku istiskivanja, nailazi drugi trupac. Spoj materijala dvaju trupaca ne leži u jednoj poprečnoj ravnini profila, već se proteže po njegovoj dužini tvoreći prostorno zakrivljenu plohu. Oblik nastale plohe zavisi o obliku profila, geometriji alata i o tehnološkim parametrima procesa. Čvrstoća tog tzv. "poprečnog spoja" treba biti jednaka čvrstoći osnovnog materijala a ona mu zavisi o kemijskom sastavu i prognjeđenosti materijala, temperaturi, brzini i specifičnom pritisku istiskivanja, toku materijala, te o čistoći zaostalog materijala u alatu i čela novog trupca. Kako je čvrstoća tog spoja ovisna o toku materijala to se za ocjenu njegove povoljnosti može odabrati kriterij dužine spoja, koja mora biti što je moguće manja.

Postojanje spoja materijala dvaju trupaca je naročito značajno kod istiskivanja profila velikih poprečnih presjeka. Tada se, zbog malog omjera istiskivanja A_0/A_1 , postojećim trupcima standardnih dimenzija mogu izraditi šuplji profili ograničenih dužina. Šuplje profile većih dužina, kakvi se često naručuju, moguće je izraditi ili zavarivanjem više kraćih komada u jednu cjelinu ili istiskivanjem više trupaca zaredom.

Spajanje više kraćih komada profila u jednu cjelinu zavarivanjem, zahtijeva niz pripremnih radnji (skošenje rubova, podlogu korjenskog vara i upotrebu MIG postupka zavarivanja). To povećava cijenu proizvoda a teško je postići izjednačenost kvalitete u zavarenom spoju, zoni utjecaja topline i osnovnom materijalu.

Istiskivanjem više trupaca zaredom dobiju se profili koji, osim uzdužnih spojeva, imaju dva ili više poprečnih spojeva. Ukoliko su istiskivanjem postignuti kvalitetni poprečni spojevi, što je izborom slitine s dobrim svojstvima spajanja i pravilnim tokom materijala ostvarivo, moguće je dobiti profile čija je cijena izrade znatno niža a kvaliteta bolja.

Tako je na sl. 2 prikazan spoj materijala dvaju trupaca u cijevi dimenzija $\varnothing 250/226$ izradjenoj od AlMgSi0,5 istiskivanjem.



Sl. 2 Određjivanje poprečnog spoja materijala dvaju trupaca u cijevi od $AlMgSi0,5$

Korišten je kombinirani alat konstrukcije kao na sl. 1, ali sa pet ulaznih kanala. Istiskivanja su provedena na preši maksimalne sile 50 MN, pri čemu je postignut omjer istiskivanja $A_0/A_1 = 14$. Zahtjev Naručitelja za cijevi duljine 18 m postignut je tako da su one sastavljene od materijala triju trupaca dimenzija $\varnothing 295 \times 1000$. To znači da se u svakoj cijevi nalaze po dva poprečna spoja.

Provjera kvalitete poprečnih spojeva je vršena rastezanjem ($A \leq 3,5\%$) za vrijeme ravnjanja cijevi na rastezalici ($F_{max} = 1,6 \text{ MN}$) u F stanju, nakon istiskivanja. Na samo dva od ukupno 66 ispitanih poprečnih spojeva došlo je do pojave loma.

Osim rastezanjem, provedena su nerazorna i metalografska ispitivanja poprečnih spojeva. Određjivanje položaja poprečnih spojeva i područja ispitivanja je izvršeno na osnovi vidljivog traga radne površine matrice (A) koji ostane na površini cijevi za vrijeme umetanja novog trupca i izračunatog volumena materijala u kanalima i komorama alata, sl. 2. Trag (A) na površini profila je karakterističan i lako uočljiv, jer radna površina matrice ima različitu dužinu. Naime, u području ulaznih kanala ona je duža nego ispod križnih nosača trna, čime je postignuto izjednačenje toka materijala po poprečnom presjeku cijevi. Područje na kojem su vršena nerazorna ispitivanja je na sl. 2 označeno šrafurom.

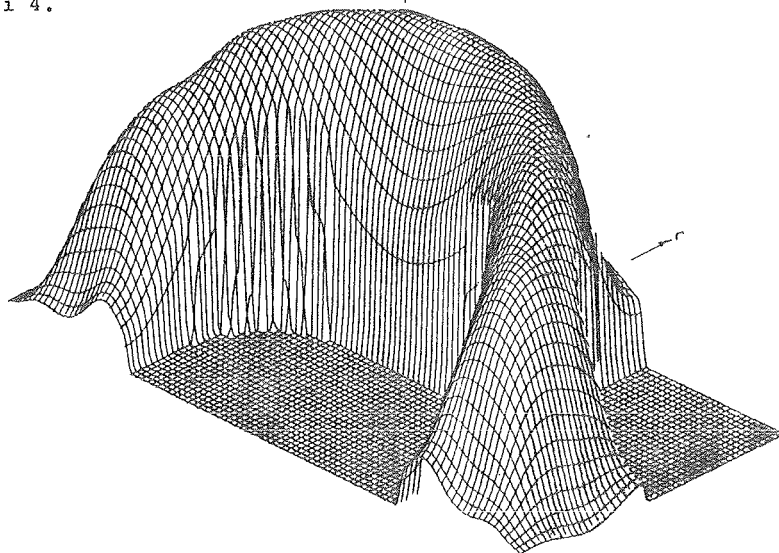
Analiza radiograma ukazuje da na pojedinim poprečnim spojevima postoje mjesta na kojima nije nastalo potpuno spajanje. Takodjer je primijećeno

mjestimično prisustvo zračnih mjehurića koji su nastali zbog nekorektnog odzračivanja nakon nabijanja slijedećeg trupca. Sve opisane greške su indicirane i ultrazvučnim pregledom. Ipak, ove nehomogenosti nisu izazvale prekidanje profila za vrijeme njihovog ravnjanja rastezanjem.

Na jednoj od cijevi odrezan je uzorak poprečnog spoja materijala dvaju trupaca, koji je podvrgnut metalografskoj analizi. Radi lakšeg predočavanja, uzorak je uzdužno prerezan i razvijen. Na polovini debljine pripremljen je makro izbrusak iz kojeg se vidi 5 uzdužnih spojeva (a) - ravne linije. Poprečni spojevi materijala dvaju trupaca (b) su u promatranom presjeku paraboličnog oblika. Uočava se da uvjeti tečenja materijala kroz svih pet ulaznih kanala nisu potpuno jednaki. Kroz dva od njih materijal prolazi brže nego kroz ostale. Takodjer se primjećuje da jedna od ploha nije pravilna, što ukazuje da kroz taj kanal nastaje neki poremećaj u toku materijala. Vjerojatno zbog toga je u tom području izostalo spajanje (označeno crtkano).

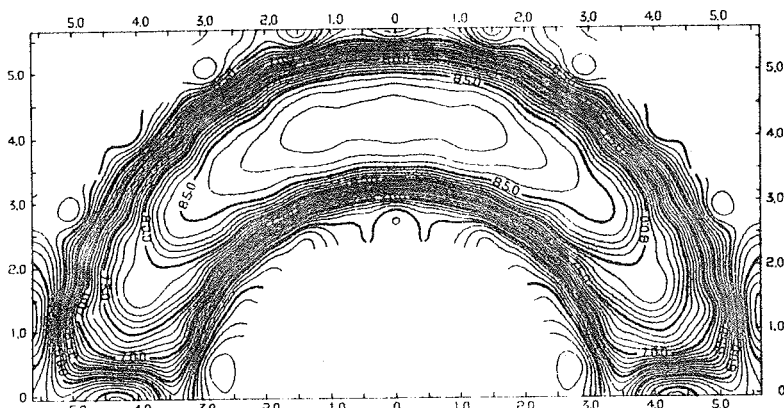
U cilju daljnje kontrole kvalitete ovako izradjenih cijevi ispitivana je električna i toplinska vodljivost na poprečnim spojevima i homogenim dijelovima profila. Rezultati tih ispitivanja potpuno zadovoljavaju.

Grafički prikaz plohe spoja materijala dvaju trupaca dobijen pomoću elektroničkog računala za cijev dimenzija $\emptyset 22,4/12$ koja je izradjena pomoću kombiniranog alata s mostom (dva ulaza) u laboratorijskim uvjetima dat je na sl. 3* i 4.*



Sl. 3 Grafički prikaz spoja materijala dvaju trupaca u cijevi - prostorno

* Obrada je izvršena na Carnegie - Mellon University, Pittsburg - USA (Department of Civil Engineering)



Sl. 4 Grafički prikaz spoja materijala dvaju trupaca u cijevi - ravninski

Kao ulazni podaci za obradu na računalu poslužili su rezultati mjerenja koordinata točaka na presjecima plohe ravninama $z = \text{konst.}$ [5]. Iz tlocrtnog prikaza, sl. 4, primjećuje se gomilanje linija jednake visine (izohipsa) u području uzdužnih spojeva te uz vanjsku i nutarnju stijenku cijevi. To ukazuje da u tim područjima nastaje zaostajanje materijala u odnosu na središnji dio, koje, sa gledišta kvalitete, nije povoljno.

Zaključak

Provedena analiza ukazuje da tok materijala za vrijeme istiskivanja šupljih profila kroz kombinirane alate nije izjednačen. Uz rubove kanala i komora materijal zaostaje, dok sredinom teče najbrže. Zaostajanja rubnih prema središnjim slojevima negativno utječu na kvalitetu uzdužnih i poprečnih spojeva profila. Zbog toga je potrebno, konstrukcijom alata i odabiranjem odgovarajućih parametara procesa, smanjiti zaostajanja pojedinih slojeva i osigurati izjednačen tok materijala. To je naročito značajno kod izrade šupljih profila velikih poprečnih presjeka, kada je samo kvalitetnim poprečnim spojevima materijala dvaju trupaca moguće izraditi profile velikih dužina. Provedena ispitivanja pokazuju da postojanje poprečnih spojeva u profilu ne predstavljaju ograničavajući faktor kvalitete, te se, u cilju poboljšanja i izjednačavanja toka materijala, preporuča koristiti kombinirane alate sa više ulaznih kanala.

Literatura

- [1] M.S.Giljdengorn, V.G.Kerov, G.A.Krivosos, Pressovanie so svarkoj poljih izdelij iz Aljominievljih splavov, Metallurgija, Moskva, 1975.
- [2] I.Duplančić, Isprešavanje šupljih profila pomoću kombiniranog alata u laboratorijskim uvjetima, III Jugoslavenski simpozij o teoriji

- plastičnosti, Plitvice, 1983, Zbornik radova, str. 120-128.
- [3] H.Valberg, A.W.Hansen, J.O.Løland, Metal Flow at the Die in Aluminium Extrusion, Third International Aluminium Extrusion Technology, Seminar, Atlanta, April 22-27, 1984, str. 203-208.
 - [4] D.Pažanin, Isprešavanje šupljih profila, FESB - Split, Split, 1984.
 - [5] I.Dupljančić, Prilog analizi toka materijala kod istiskivanja cijevi, Disertacija, Zagreb, 1985.
 - [6] P.G.Dood. Modern developments in the Extrusion of Aluminium alloys with particular reference to Tool design and Materials, The Journal of Australian Institute of Metals, 6(1961), str. 124-136.

21. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, OPATIJA, 1987.

NEKI ASPEKTI KORIŠĆENJA LIMOVA POVIŠENE
ČVRSTOĆE ZA DUBOKO IZVLAČENJE

SOME ASPECTS OF HIGH STRENGTH STEEL USE FOR
DEEP DRAWING

M.Stefanović Mašinski fakultet u Kragujevcu, S.Janjić 6,
34000 Kragujevac, Jugoslavija

S.Aleksandrović Mašinski fakultet u Kragujevcu, S.Janjić 6,
34000 Kragujevac, Jugoslavija

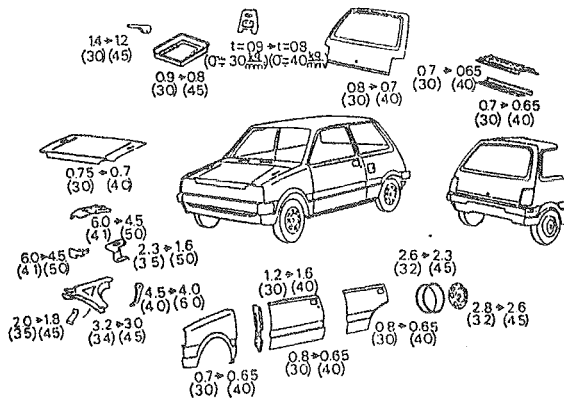
Ključne reči: REZIME: U radu se prezentiraju uporedni rezultati ispiti-
vanja limova od čelika povišene čvrstoće i limova uobiča-
jenih karakteristika, namenjenih dubokom izvlačenju.
Lim Osnovno ispitivanje je YOSHIDA-test, a dobijeni pokazate-
Izvlačenje lji se odnose na sklonost limova povišene čvrstoće ka
Obradivost defleksiji.
Defleksija

Key words: ABSTRACT: Presented in the paper are comparative results
of testing high strength, and low-carbon steels for deep
Sheet metal drawing. Main testing procedure employed was YOSHIDA-
Deep drawing test, and the indicators obtained relate to the HSS
Formability capabilities toward fixability and fittability.
Deflection

1. Uvod

Korišćenje čeličnih limova povišene čvrstoće (LPČ) za izradu elemenata automobilskih karoserija ima za cilj smanjenje mase automobila, odnosno redukciju potrošnje energije. Izuzetno brz razvoj ovih materijala odigrao se u vreme energetske krize, polovinom sedamdesetih godina u tehnički najrazvijenijim zemljama sveta-Japanu i SAD. Upotreba ovih materijala trebalo bi da omogući manju potrošnju goriva uz istovremeno očuvanje bitnih karakteristika krutosti karoserije automobila. Ključni problemi šire aplikacije LPČ su tehnološke prirode i odnose se na visoka svojstva otpornosti i elastičnosti ovih materijala.

Na sl.1. prikazana je karoserija jednog malolitražnog putničkog automobila sa delovima koje je moguće raditi od LPČ, sa podacima o smanjenju debljine lima i povećanju zatezne čvrstoće /1/. Očigledno je da se radi o delovima relativno manje dubine izvlačenja i jednostavnije geometrije.



Sl.1. Karoserija automobila sa otprescima od lima povišene čvrstoće

Ključni problem kod korišćenja LPČ je pojava defleksije, tj. nastajanje nepravilnosti i defekata na površini otpreska u vidu ispupčenja, ulegnuća, blagih talasa i sl. Ovi nedostaci se javljaju kao posledica zaostalih napona u zonama otpresaka koje se deformišu elastično; takodje, izražena je i pojava elastične povratnosti na savijenim delovima komada (zbog uvećane granice tečenja). Poteškoće vezane za korišćenje ovih materijala praktično onemogućavaju upotrebu alata na kojima se vrši obrada niskougledničnih čeličnih limova.

Pogodno je da se otpornost, odnosno sklonost materijala ka defleksiji, posmatra kroz sledeća svojstva /2/:

- sposobnost zadržavanja oblika (shape fixability),
- sposobnost prilagodjavanja oblika (fittability, fitting behaviour).

Detaljna klasifikacija uzroka nastajanja i vrsta nepravilnosti izložena je u radovima /3/, /4/, /5/. Grafičko predstavljanje najčešće podrazumeva zavisnost tipa "promena dimenzije-hod izvlakača" i prema postupku izvlačenja obuhvata zone (periode) držača, izvlakača, prostora između njih (npr. kod koničnih delova), u aktivnom i povratnom hodu.

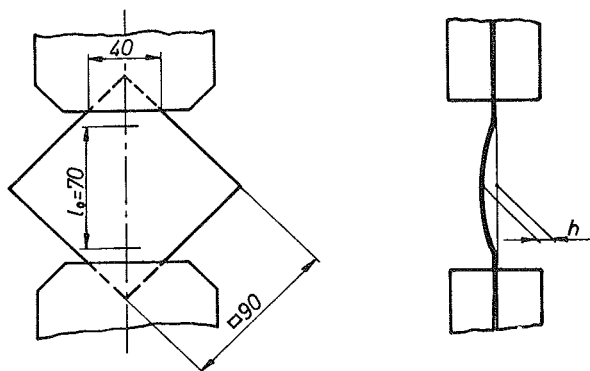
Osnovni parametri koji utiču na pojavu defleksije su: oblik i dimenzije otpreska, njegovo razvijeno stanje, sila na držaču, debljina lima i njegove karakteristike (R_p, E, r, n).

2. Eksperimentalna istraživanja

2.1. Uslovi ispitivanja

Sklonost ka defleksiji se u laboratorijskim uslovima najčešće ispituje različitim modeliranjem, čime se simuliraju naponski odnosi pri stvarnoj obradi. Osnovno ispitivanje ove vrste je tzv. YOSHIDA-test jednoosnog zatezanja kvadratne epruvete /6/, čime se ostvaruje nehomogeno naponsko-deformaciono

polje u limu, što ima za posledicu formiranje nabora po glavnoj dijagonali komada. Merna karakteristika je visina nabora h i ona je značajan pokazatelj sklonosti materijala ka defleksiji, sl.2.



Sl.2. Shema ispitivanja defleksije

Pored kvadratnih, moguće je koristiti i epruvete drugačijeg oblika - trougane, okrugle i sl. Nabore koji započinju u elastičnom području, i koje je moguće meriti fotoelastičnim postupcima i proračunavati metodama konačnih elemenata /6/, u velikoj meri izaziva napon u poprečnom pravcu u odnosu na pravac zatezanja (vrednost napona σ_2 može iznositi i do 30% od napona σ_1). Ovaj napon se povećava sa smanjenjem širine zatezanja epruvete. Kod korišćenja okruglih komada ostvaruju se visoke vrednosti nabora uz značajan uticaj planarne anizotropije /8/.

Za komparativna ispitivanja sklonosti ka defleksiji korišćena su dva materijala, inostranih proizvođača, namenjena dubokom izvlačenju složenih otpresaka:

1. Č.0148 P5 - niskougljenični lim, umiren aluminijumom, sa najviše 0,1%C (uobičajen kvalitetni lim kakav se već dugo koristi za izvlačenje),
2. CHR 35 BH - čelični lim povećane čvrstoće, koji spada u grupu refoforisanih čelika sa najviše 1%P, s obzirom da veće količine \underline{P} bitno utiču na zavarljivost. Fosfor omogućava da se u strukturi formiraju čvrsti rastvori (mešoviti kristali) zamene. Ima visok iznos r-faktora. Oznaka BH (po standardu japanskih proizvođača /9/) odnosi se na limove sa svojstvima tzv. naknadnog očvršćavanja starenjem (Bake-hardening). U toku i posle lakiranja na temperaturi od 170°C i u trajanju od 20' dolazi do povećanja granice tečenja do 15%. Ovim je omogućeno izvlačenje pri znatno povoljnijem odnosu granice tečenja i zatezne čvrstoće R_p/R_m , uz zadovoljavajuću finalnu krutost otpreska.

Sva merenja su vršena na specijalnoj mašini za ispitivanje limova ERICHSEN 142/12, pri brzini deformisanja od 10 mm/min.

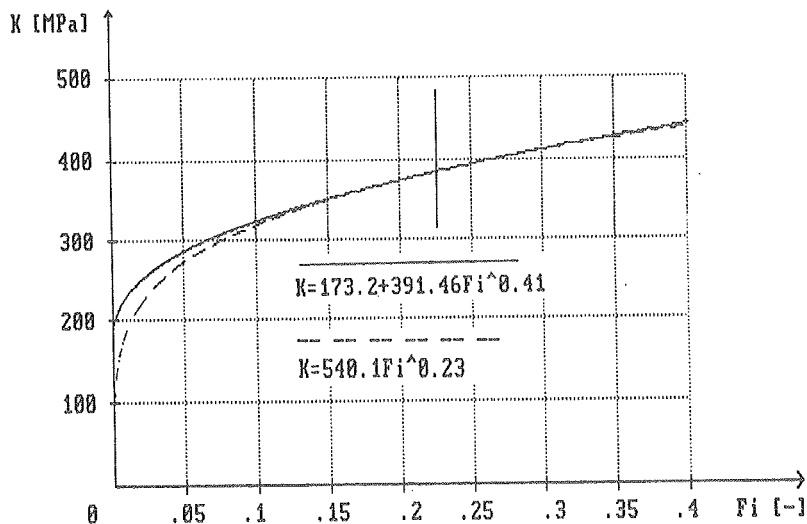
2.2. Rezultati ispitivanja

Osnovne mehaničke karakteristike i glavni parametri obradivosti dati su u tabeli 1, prema ispitivanju zatezanjem po JUS C.A4.002/85. Navedene su srednje vrednosti, s obzirom na planarnu anizotropiju.

Tabela 1

Materijal	s mm	Rp MPa	Rm MPa	Rp/Rm -	ϵ %	n -	r -
Č.0148 P5	0,7	178,9	313,2	0,57	36,3	0,23	1,42
CHR 35 BH	0,7	222,6	349,6	0,64	33,0	0,22	1,81

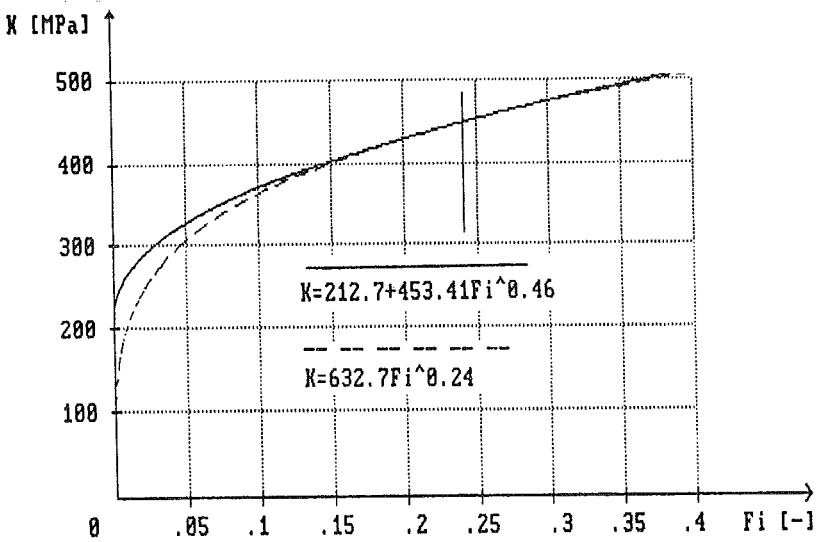
Na sl.3 i sl.4 pokazane su krive ojačanja trećeg reda, za pomenute materijale - merenja u pravcu valjanja, dva oblika eksponencijalnih aproksimacija.



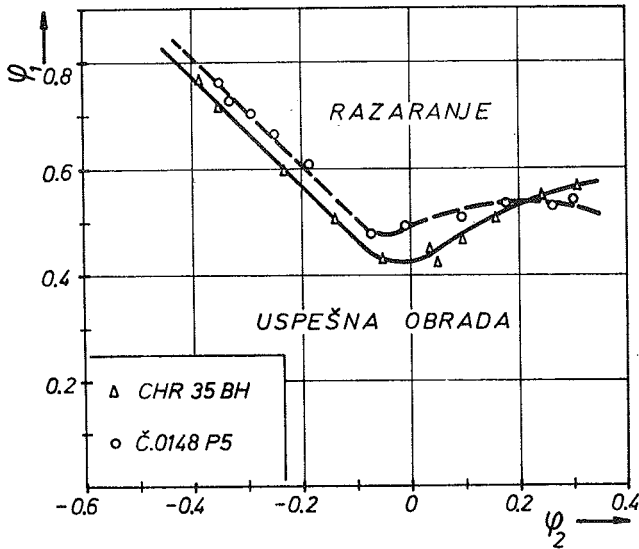
Sl.3. Krive ojačanja za Č.0148 P5

Očigledna je razlika u intenzitetu ojačanja, koja je direktna posledica nejednakih karakteristika otpornosti. Na osnovu ovih pokazatelja ne može se doneti zaključak o sklonosti ka defleksiji.

Sposobnost lima da se uspešno oblikuje pri izvlačenju na specifičan način opisuju dijagrami granične deformabilnosti /10/. Na sl.5. pokazani su ova-
kvi dijagrami, određeni na standardan način (po Nakazima-postupku, razvla-
čenjem iz traka različitih širina), sa mernom mrežom od 3mm i izvlakačem
prečnika 50 mm. Prikazane su krive razaranja; u području bitnom za duboko
izvlačenje kriva za LPČ leži ispod krive za standardan lim.



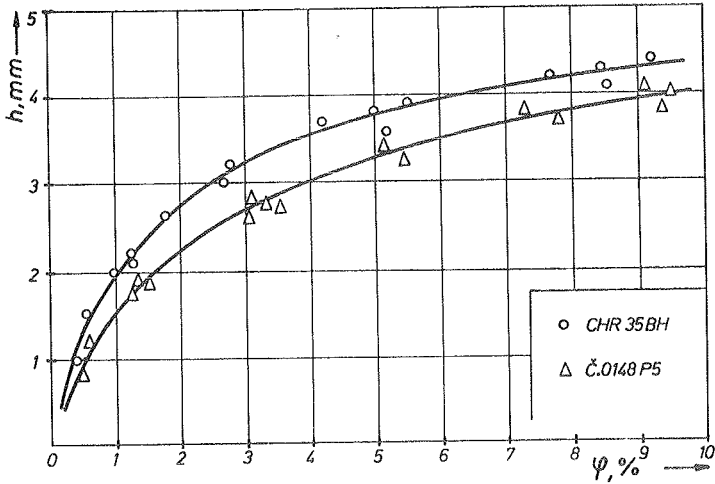
Sl.4. Krive ojačanja za CHR 35 BH



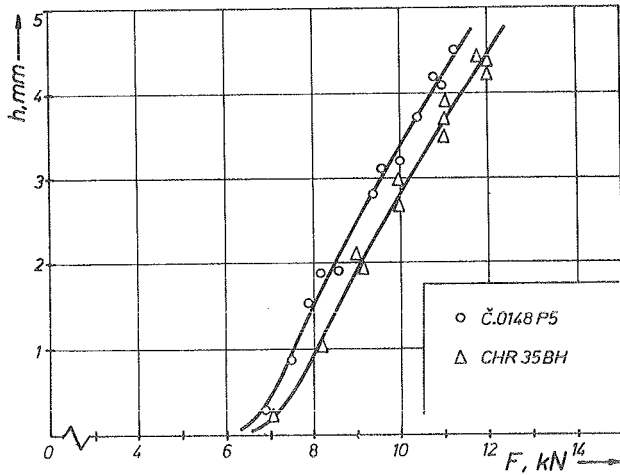
Sl.5. Dijagram granične deformabilnosti

Koristeći postupak ispitivanja čija je idejna shema prikazana na sl.2, izvršena su merenja i sredjeni dobijeni rezultati (za svaki materijal po tri serije). Tačnost dužinskih merenja iznosi 0,02 mm uz identične uslove stezanja svih epruveta. Veličina nabora h i stepen logaritamske deformacije φ odnose se na vrednosti u čisto plastičnom području.

Na sl.6 pokazana je zavisnost visine nabora od prirodne deformacije referentne dužine od 70 mm. Lim od čelika povišene čvrstoće pokazuje izraženiju sklonost ka stvaranju nabora, odnosno, prema sl.7, za nabor iste visine potrebno je utrošiti veću silu. Pogodnije je, svakako, analize vršiti prema ostvarenoj deformaciji, s obzirom na identičnost geometrija pri realnom izvlačenju, tj.prema rezultatima na sl.6.



Sl.6. Zavisnost visine nabora od stepena deformacije



Sl.7. Zavisnost visine nabora od sile zatezanja

U oblasti malih deformacija nije registrovana značajnija razlika u visini nabora; sa porastom izduženja ona u proseku iznosi 14%. Potpunija ispitivanja sa više različitih materijala pokazala bi i vezu između parametara obradivosti dobijenih na osnovu mehaničkih ispitivanja i sklonosti ka defleksiji.

3. Zaključak

Po eksperimentalnoj proceduri jednostavan, YOSHIDA-test zatezanja kvadratne epruvete omogućava realizaciju složenih naponsko-deformacionih odnosa, čime se simuliraju stanja koja dovode do pojave defleksije na delovima koji se izvlače. Lim povišene čvrstoće, vrlo sličan standardnom limu za duboko izvlačenje prema pokazateljima obradivosti i dijagramu granične deformabilnosti, ima pri ispitivanju izraženu sklonost ka stvaranju nabora. Pri tome je odnos između veličine nabora približan odnosu ojačanja ispitivanih materijala.

Za potpun uvid u mogućnosti primene ovih materijala neophodno je izvršiti i proizvodna ispitivanja, s obzirom na nehomogenost polja deformacija pri izvlačenju složenih delova. Ovome treba dodati i ispitivanja kojima se uzima u obzir veličina elastične povratnosti pri obradi.

Literatura

- /1/ Yoshida K. i dr. High strength steel in Japanese autos... status and future, Meeting of IDDRG, Tokyo, 1981.
- /2/ Devedžić B., Okolnosti koje otežavaju šire korišćenje karoserijskih limova velike čvrstoće i upućuju na nova tehnološka rešenja, XIX SPMJ, Kragujevac, 1985, 142-150.
- /3/ Yoshida K. i dr. Fittability of metal sheets in sheet metal forming, Proc. 11th Biennial IDDRG Congress, Metz, 1980, 423-429.
- /4/ Nakagawa K., Abe H., Press formability of high strength cold rolled steel sheets, Proc. 11th Biennial IDDRG Congress, Metz, 1980, 475-484.
- /5/ Newby J.R., Hook R.E., Young J.W., High strength cold rolled low carbon steel sheets, Proc. 11th Biennial IDDRG Congress, Metz, 1980, 437-453.
- /6/ Segala A., Pearce R., A study on compressive instability using the Yoshida-test, Proc. 14th Biennial IDDRG Congress, Köln, 1986, 476-477.
- /7/ Gerdeen J.C., Bhonsle S.R., Wong V.K., Stress analysis of Yoshida-buckling test specimen using photoelasticity and finite element method, Proc. 14th Biennial IDDRG Congress, Köln, 1986, 472-473.
- /8/ Gac H.L., Sevestre C., Buckling tendency of thin sheets studied by means of test of flat circular specimen, Proc. 14th Biennial IDDRG Congress, Köln, 1986, 462-463.
- /9/ Katalog-Kawasaki, Cold rolled high strength steel, KSCo.
- /10/ Hecker S.S., Simple technique for determining FLC, Sheet Met. Ind., 11/1975, 671-676.

21. SAVJETOVANJE PROIZVODNOG STROJARSTVA JUGOSLAVIJE, OPATIJA, 1987.

SPAJANJE METALA IMPULSNIM OPTERECENJEM

METALLVERBINDUNG MIT IMPULSBELASTUNG

V. Stoiljkovic Masinski fakultet Nis, Univerzitet u Nisu
18000 Nis, Beogradska 14, Jugoslavija

B. Dimitrov Tehnicki fakultet Bor, Univerzitet U Beogradu
38000 Bor, Jugoslavija

Ključne riječi: SAZETAK: U ovom radu se analizira Principijelna tehnološka shema Procesa Projektovanja i izrade delova od kompozitnih materijala. Detaljno se opisuju osnovne spajanja metala eksplozivom, a daje se i analiza parametara koji definisu proces zavarivanja eksplozivom. Ovo se dopunjuje rezultatima dobijenim u eksperimentu.

Metal
Spajanje
Projektovanje
Svojstva

Kennwörter: ZUSAMMENFASSUNG: In dieser Arbeit wird das technologische Prinzipschaltbild des Projektiervorgangs und der Herstellung der Teile aus mehrschichtigen Werkstoffen analysiert. Ausführlich werden die Grundlagen der Metallverbindung mit Brennstoffen beschrieben. Es werden auch vorgang definieren, analysiert. Da sind auch die im Experiment erhaltenen Ergebnisse dargestellt.

Metall
Verbindung
Projektieren
Eigenschaften

1. Uvod

Zahtev masinogradnje za materijalima sa boljim fizicko-mehanicckim svojstvima je sve izrazeniji. Uslovi rada pri visokim pritiscima i temperaturama, agresivne sredine i dr., ne mogu u potpunosti da zadovolje standardni materijali. Povecanje fizicko-mehanicckih karakteristika metala ograniceno je time, sto je porast jednih karakteristika pracen smanjenjem drugih. Tako povecanje cvrstoce metala dovodi do smanjenja udarne zilavosti, plasticnosti itd. Za zadovoljenje gornjih uslova u industriji se u poslednje vreme sve vise koriste kompozitni materijali, koji se sastoje od vise slojeva i elemenata. Pri tome, pravilan raspored elemenata kompozicije po poprecnom preseku omogucava da se dobije materijal koji ce zadovoljiti prethodno zahtevani

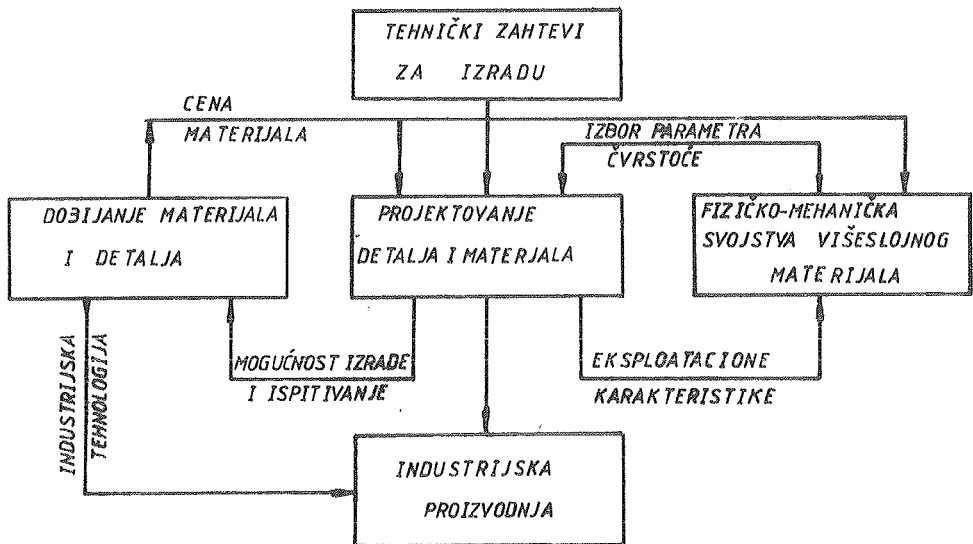
Kompleks fizicko-mehaničkih karakteristika.

Primena kompozitnih materijala može se rešiti sistemom projektovanja i definisanja tehnološke, eksploatacione i ekonomske održivosti, kao perspektive novog višeslojnog materijala. Pojedine firme za proizvodnju aviona sprovode opsežna istraživanja za izradu pojedinih delova aviona od kompozitnih materijala, kako bi smanjile težinu i do 20%.

U ovom radu se analizira principijelna tehnološka shema procesa projektovanja i izrade delova od novih kompozitnih materijala. Pored toga, detaljno se opisuju osnovne spajanja metala eksplozivom. Daje se analiza parametara koji definišu proces zavaranja eksplozivom. Najzad, daje se prikaz i analiza rezultata dobijenih u eksperimentima, koji su urađeni i dalje se vrše, na specijalnom poligonu u RIK - Aleksinac.

2. Projektovanje i izrada delova od kompozitnih materijala

Principijelna shema projektovanja i izrade delova iz novih armiranih i višeslojnih materijala prikazana je na slici 1. Na osnovu tehničkih



Slika 1 - Shema projektovanja i izrade delova od kompozitnih materijala.

zahteva za izradu, koje treba da zadovolji odredjeni deo. Pristupa se projektovanju procesa izrade dela i materijala. Materijal se definiše na osnovu fizicko-mehaničkih svojstava koje treba da ima u procesu eksploatacije. U sledećem koraku se ispituje mogućnost izrade tako traženog višeslojnog materijala. Ako je moguće dobiti projektovani kompozitni materijal, sledi ispitivanje stvarnih karakteristika tog

materijala i Poređenje sa tri centim. Ukoliko je sve to zadovoljeno može se pristupiti industrijskoj izradi takvog višeslojnog materijala.

Na osnovu svojstava Kompozitnih materijala može se orijentaciono da predlože oblasti primene:

- Konstrukcioni materijali imaju visoka mehanicka svojstva, a kao osnova mogu biti crni ili obojeni metali ili legure,

- Rlatni materijali se primenjuju za izradu alata za rezanje ili kalupa za oblikovanje ha hladno i toplo i

- Specijalni materijali predvidjeni za rad pri niskim ili visokim temperaturama, u uslovima agresivne sredine i dr. Ta grupa materijala je znatno jeftinija od konvencionalnih materijala sa boljim karakteristikama.

Primena zavarivanja eksplozijom ekonomski je osnovana i tehnicki opravdana u onim slucajevima kada ne postoje industrijske metode spajanja raznorodnih materijala, ili je njihovo spajanje veoma komplikovano i neekonomično.

2. Osnovne sheme spajanja metala

Zavarivanjem eksplozijom dobija se spoj sa cvrstocom koja je veća od slabijeg materijala u spoju. Pri tome se na mestu spajanja stvara kontinuitet materijala, što je odlika svakog procesa zavarivanja. Međutim, zavarivanje eksplozijom predstavlja ipak specifični proces spajanja. Uzrok spajanja u ovom slučaju je velika brzina jedne ploče. Udarom u drugu nepokretnu ploču javlja se veoma visok pritisak što dovodi do spajanja metala.

Ploče koje se spajaju postavljaju se jedna iznad druge na odredjenom rastojanju, paralelno ili pod nekim uglom. Eksplozivno punjenje se postavlja na gornju ploču i aktivira se na jednom od uslova te ploče. Opterećenje koje dobija gornja ploča od produkata detonacije je trenutno. To opterećenje postize maksimalnu vrednost, a zatim brzo pada na nultu vrednost.

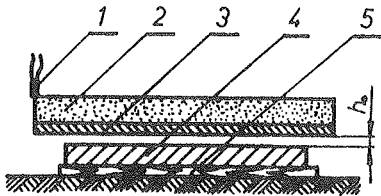
U zoni sudara metal subi svojstvo cvrstog tela i prima nove osobine koje odgovaraju tečnosti. Jedan materijal prodire u drugi i tako dolazi do njihovog spajanja u neraskidivu celinu sa karakteristikama zavarenog spoja.

Prema početnom položaju ploča koje se spajaju razlikuju se dve osnovne sheme plukiranja (spajanja eksplozijom) ravnih površina:

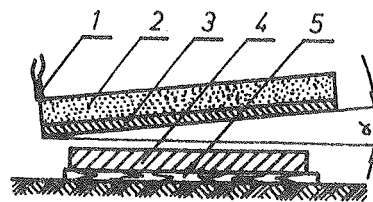
- Paralelna shema spajanja (slika 2) i
- Kosa shema spajanja (slika 3).

Kod kose sheme ploče (poz.3 i 4) postavljaju se pod odredjenim uglom na odredjenom rastojanju u temenu ugla. Na ploču (poz.3) se postavlja eksploziv (poz.2) odredjene visine H_0 . Kolicina eksploziva zavisi od

mase Poliskivane Ploce i njenih mehanickih svojstava. Aktiviranje eksploziva vrši se detonatorom (Poz.1).

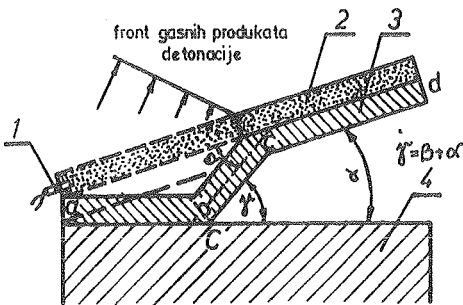


Slika 2 - Paralelna shema.

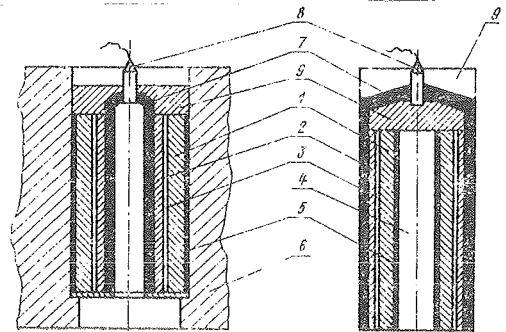


Slika 3 - Kosa shema.

Kosa shema spajanja koja je starija, brzo je napuštena, jer je nepogodna kod plakiranja velikih površina. Iz tog razloga se danas uglavnom u industrijskoj proizvodnji primenjuje paralelna shema spajanja (sl.2). Kod paralelne sheme se za razliku od kose, uspostavlja kvazistacionaran proces zavarivanja sa konstantnim vrednostima ugla $\gamma = \beta + \alpha$ (sl.4).



Slika 4 - Proces zavarivanja.

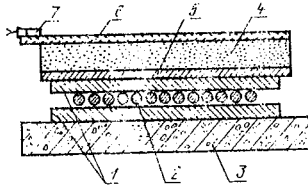


Slika 5 - Plakiranje cevi.

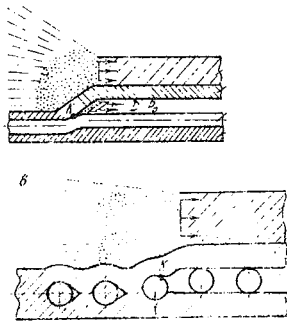
Plakiranje cevi prikazano je na slici 5. Plakirajuća cev (Poz.2) postavlja se sa određenim zazorom u odnosu na plakinanu cev (Poz.1). Eksploziv (Poz.7) postavlja se sa strane plakinajuće cevi i aktivira se detonatorom (Poz.8). Pripremljene cevi se pre detoniranja postavljaju u kalup (Poz.6), ako se radi o unutrašnjem plakiranju, ili na trn (Poz.4) ako se radi o spoljnjem plakiranju.

Na slici 6 i 7 prikazan je proces armiranja materijala, dok slike 8 prikazuje izradu zatvorenih panela. Na temelju (Poz.3-sl.6) postavlja se donja ploča (Poz.1). Na tu ploču postavlja se materijal za armiranje (Poz.2), a zatim gornja ploča (Poz.1). Između gornje ploče i eksploziva (Poz.4) postavlja se zaštita (Poz.5). Aktiviranje eksploziva vrši se

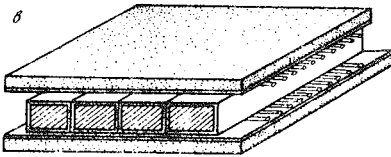
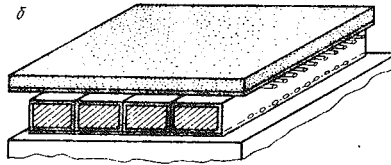
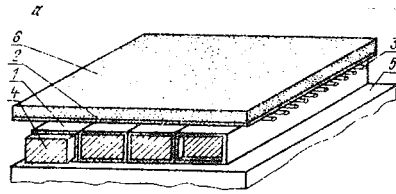
detonatorom (Poz.7) i detonirajućim stapinom (Poz.6).



Slika 6 - Armiranje materijala



Slika 7 - Armiranje materijala



Slika 8 - Izrada zatvorenih Panela

Izrada zatvorenih Panela može se vršiti zavarivanjem Ploče Prvo sa jedne Pa sa druge strane (sl.8a i 8b), ili odjednom sa obe strane (sl.8c).

4. Parametri zavarivanja eksplozivom

Položaj Ploča u Procesu zavarivanja Prikazan na slikama 2 i 3 definisan je određenim Parametrima. Radi dobijanja Kvalitetnog spoja Potrebno je tačno definisati sve Parametre, i to kako one koji definisu Položaj ploča, tako i Parametre vezane za eksploziv i materijal koji se spaja. Parametri koji definisu međusobni Položaj Ploča su Početno rasojanje h između površina koje se sudaraju i Početni ugao α ugaone sheme spajanja.

Eksplozivno Punjenje definisano je gustinom ρ , debljinom sloja H_0 i brzinom detonacije. Preporučljivo je da se Koriste eksplozivne materije čija je nasična gustina $\rho_0=1.9\text{ g/cm}^3$. Debljina eksplozivnog Punjenja se određuje na osnovu Parametra r , koji daje odnos mase eksplozivnog Punjenja prema masi Potikivane Ploče:

$$r = \frac{\rho_0 \cdot H_0}{\rho \cdot S} \quad (1)$$

Kod plakinanja više sloja odjednom parametar r određjen je izrazom:

$$r = \frac{\rho_0 \cdot H_0}{\sum_{i=1}^n \rho_i \cdot S_i} \quad (2)$$

gde su: ρ_i, s_i - gustina i debljina ploča.

Na osnovu eksperimentalnih ispitivanja [1] parametar r se kreće u granicama $r=1,2-2,0$ u zavisnosti od vrste materijala.

Brzina detonacije eksploziva D treba da zadovolji uslov $D < C$, gde je C - brzina zvuka u materijalu.

Parametri ploča koje se sudaraju su gustina ρ_1 i debljina s_1 za potiskivanu ploču, odnosno ρ_2 i s_2 za osnovnu ploču. U procesu sudara, takodje važnu ulogu igraju i svojstva materijala - tvrdoća, granica razvlačenja, zatezna čvrstoća itd.

Brzina tačke kontakta V_k , koja u osnovi određuje i oblik spoja (ravna ili talasasta površina), na osnovu eksperimentalnih ispitivanja [3] određena je u zavisnosti od ugla sudaranja :

$$\delta_{kr} \geq 1,14 \sqrt{\frac{H_v}{\rho \cdot V_k^2}} \quad (3)$$

gde su:

H_v - tvrdoća materijala i

ρ - gustina materijala.

Na prvi pogled kriterijum (3) predstavlja kvantitativnu ocenu uslova zavarivanja. Uslov (3) može da se napiše i u obliku:

$$\delta_{kr} \cdot V = const = 1,14 \sqrt{\frac{H_v}{\rho}} \quad (4)$$

Iz geometrijskih odnosa određenih velicina prikazanih na slici 9, brzina sudara se može izraziti na sledeći način:

$$V = 2 \cdot V_k \cdot \sin \frac{\delta^*}{2} \quad (5)$$

Za uslove sudara, koji se obično primenjuju u praksi, može se napisati:

$$V = 2 \cdot V_k \cdot \sin \frac{\delta^*}{2} \approx V_k \cdot \sin \delta^* \approx V_k \cdot \text{tg} \delta^* \approx V_k \cdot \delta^* \quad (6)$$

Na taj način definisana je donja granica brzine pri kojoj može da se ostvari zavarivanje:

$$V \geq 1,14 \sqrt{\frac{H_v}{\rho}}$$

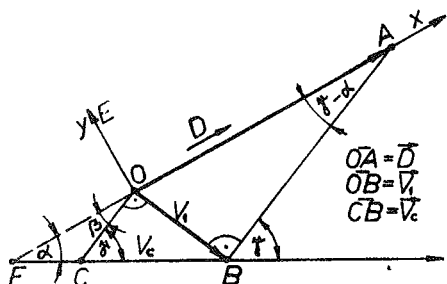
ili:

$$\rho \cdot V^2 \geq 1,3 \cdot H_v \quad (7)$$

Velicina $\rho \cdot V^2$ određuje pritisak koji se javlja pri sudaru ploča. Taj

pritisak je dat izrazom (17):

$$P = \rho_1 \cdot V_k^2 \cdot g^2 = \rho_1 \cdot V^2 \tag{18}$$



Slika 9 - Brzine Pri sudaru



Slika 10 - Oblik talasa (C-Prokron)

Pored gore definisanih Parametara treba napomenuti da se kao vrlo bitan faktor nalazi i temelj, odnosno osnova na kojoj se vrši Plakiranje. Ako je akusticna otpornost $\rho \cdot C$ osnove mnogo razlicita od akusticne otpornosti nepokretne Ploce, dolazi do odbijanja talasa i Pojave napona istezanja, sto dovodi do razaranja spoja. Kao temelj se moze koristiti nabijeni Pesak ili sitna celicna sacma.

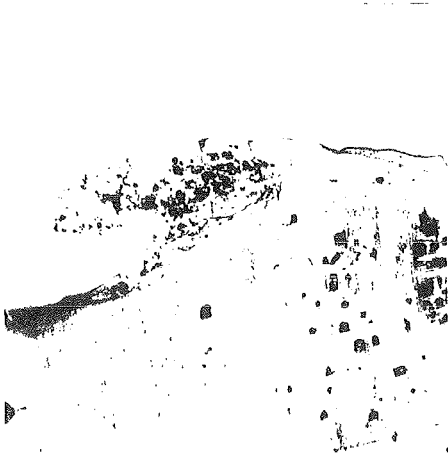
Pri ispunjenje napred definisanih uslova dobija se kvalitetan spoj. Nekoliko takvih spojeva, koji su dobijeni spajanjem uzoraka na Poligonu u RIK - Aleksinac, prikazani su na slikama 10, 11 i 12. Slika 10 prikazuje oblik talasa na mestu spajanja celik-Prokron, slika 11 se odnosi na aluminijum-celik i slika 12 se odnosi na bakar-aluminijum. Pored tih bimetala, na Pligonu u RIK Aleksinac uspesno se spaja i celik-olovo.

5. Zakljucak

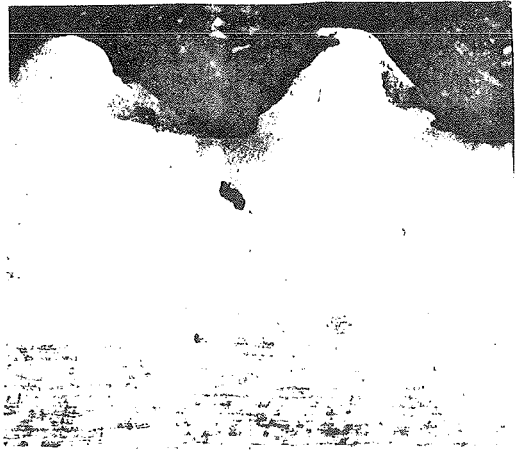
Strogim ispunjenjem napred pomenutih uslova mogu se dobiti materijali sa unapred definisanim svojstvima. U mnogim slucajevima se takvi spojevi ne mogu dobiti drugim postupcima. Pri tome, treba napomenuti da postupak zaparivanja eksplozivom ne zahteva specijalnu opremu, da je produktivan i da je cena veoma pristupacka. Primenom opisane postupka mogu se dobiti novi materijali, koji mogu da zamene veoma skupe materijale, za nase uslove narocito iz uocsa.

Iznad Poredinih konstrukcija, kao sto su rezervoari za Kiseline, Primenom kompozitnih materijala Postaje neophodnost. Iznad rezervoara za sumporna Kiselina, koji se sada rade klasicnim oblaganjem olovom, Primenom kompozitnog materijal celik-olovo, Postaje daleko jednostavnija i ekonomichija, a vek takvih rezervoara je daleko duzi od onih dobijenih

na klasičan način.



Slika 11- Oblik talasa za Al-C



Slika 12 - Oblik talasa za Cu-Al

Literatura:

- /1/ Deribas A., Fizika uprocenija i svarki bzhivom, Nauka, Novosibirsk , 1972.
- /2/ Opstein N., Kaisev A., Visokoskorashnaja deformacija i struktura metala, Masinstroenie, Moskva, 1971.
- /3/ Gelman A., Cudnovski D.,...Plakirovanie stali bzhivom, Masinstroenie Moskva, 1978.

21. SAVJETOVANJE PROIZVODNOG STROJARSTVA JUGOSLAVIJE, OPATIJA, 1987.

GRANIČNE METODE ISTRAŽIVANJA PROCESA PLASTIČNE REDUKCIJE
LIMIT METHODS INVESTIGATIONS OF THE PLASTIC REDUCTION PROCESSES

B. Musafia Mašinski fakultet Univerziteta u Sarajevu
71000 Sarajevo, Jugoslavija

Ključne riječi: SAŽETAK: Ekstremalni principi teorije plastičnosti, kao limitne metode, dovode do efektivnih načina direktnog iznalaženja graničnih opterećenja putem postupnog približavanja gornje (kinematske) i donje (statičke) procjene. Rješenja po metodi gornjeg ograničenja bazirana su na minimalnim svojstvima stvarnog polja brzina, a po metodi donjeg ograničenja na maksimalnim svojstvima stvarnog naponskog stanja. Teorijska istraživanja procesa plastične redukcije su eksperimentalno valorizirana.

Key words: ABSTRACT: The extremum principles of the theory of plasticity, as the limit methods, lead to efficient ways of directly finding the limiting load, by successively bringing closes together the upper (kinematically) and lower (statically) estimates. The upper bound solutions are based on the minimum properties of the actual velocity field, and the lower bound on the maximum properties of the actual state of stress. Theoretical investigations of the plastic reduction processes are experimentally valorized.

1. Uvod

Opšti ekstremalni principi teorije plastičnosti [1], bazirani na maksimalnim svojstvima stvarnog naponskog stanja i minimalnim svojstvima stvarnog polja brzina, omogućavaju istraživanja tehnoloških pokazatelja procesa plastične redukcije.

U tijelu sa ograničenom konturom ($A = A_p + A_v$) polje komponenata tenzora napona (σ_{ij}) zadovoljava diferencijalne jednačine ravnoteže, a polju brzina pomjeranja (V_i) odgovara polje komponenata tenzora brzine deformacije (ξ_{ij}) [2].

Osnovna jednačina fizičkog principa održanja energije, po kome je snaga površinskih sila jednaka zbiru snage unutrašnjih sila i snage disipacije, može biti formulisana u obliku [3] :

$$\iint_A p_{in} v_i dA = \iiint_V \sigma_{ij} \xi_{ij} dV + \sum_{s=1}^2 \iint_{A_s} k_s |\Delta V_s| dA \quad (1)$$

Relacija (1) odnosi se na makroreološki St. Venantov model kruto-plastičnog tijela [4]. Na graničnim površinama (A_s) koje razdvajaju krute od plastičnih zona ($s = 1, 2, \dots$) dolazi do prekida tangencijalne komponente brzine (ΔV_s). To su ujedno i površine maksimalnog tangencijalnog napona ($\tau_{max} = k_s = k/\sqrt{3}$).

2. Metode procjene

Snaga površinskih sila za stvarno polje brzina manja je od snage površinskih sila za kinematski moguće polje brzina:

$$\iint_{A_v} \rho_{in} v_{io} dA \leq \iiint_V \sigma'_{ij} \xi'_{ij} dV - \iint_{A_p} \rho_{in} v'_i dA + \sum_{s=1}^n \iint_{A_s} k_s |\Delta v_s| dA \quad (2)$$

pri čemu su granični uslovi zadani statičkim premisama ($\rho_{in} = \sigma'_{ij} a_{jn}$ na površini A_p) i kinematikom tečenja ($v_i = v_{i0}$ na površini A_v).

Očito je da kinematska ekstremalna teorema, izražena nejednačinom (2), omogućava približavanje stvarnom pritisku sa gornje granice.

Kreacija kinematski mogućih stanja ($v'_i, \xi'_{ij}, \sigma'_{ij}$) može se znatno simplificirati primjenom W. Johnsonovih kinematskih polja koja se sastoje iz mozaičkih trouglastih blokova [5]. Tačnost rješenja u stacionarnoj fazi procesa presovanja povećava se varijacijom kinematski mogućih polja [6]. Domen primjene metode gornje procjene proširuje se i na osnosimetrične procese i radialne tokove plastičnog tečenja [7].

Limitiranjem donje granice po R. Hillu [8], izražava se stav da je snaga površinskih sila na zadanim brzinama, veća od snage površinskih sila koja odgovara drugom statički mogućem polju napona:

$$\iint_{A_v} \rho_{in} v_{io} dA \geq \iint_{A_v} \rho'_{in} v_{io} dA \quad (3)$$

Statička ekstremalna teorema prezentirana nejednačinom (3) omogućava približavanje stvarnom radnom pritisku sa donje granice.

Prikladnost primjene metode donje procjene uočava se posebno kod analitičkih istraživanja procesa plastične redukcije metala [9].

3. Statička stanja

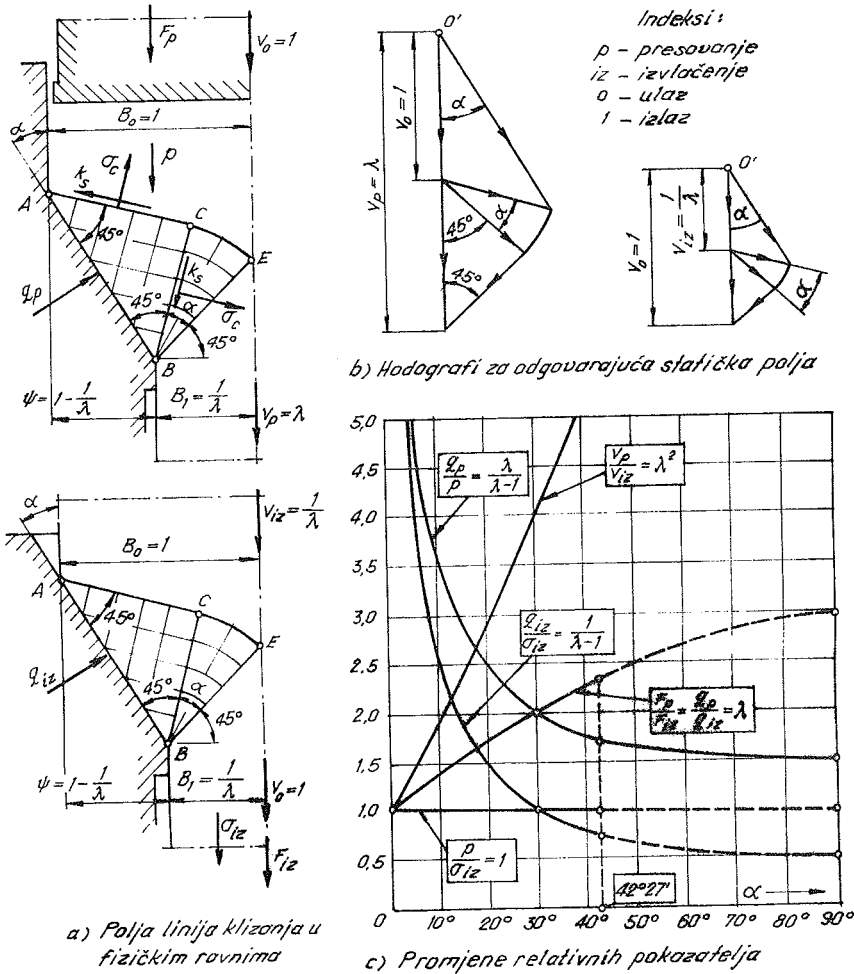
Karakteristike i linije klizanja u fizičkim ravnima predstavljaju najzorniju ilustraciju primjene statičke teoreme na procese plastične redukcije. Tačnija rješenja, posebno kod izvlačenja sa profilisanom zonom deformacije i protusmjernog istiskivanja, moguće je po V.V. Sokolovskom [10] dobiti isključivo numeričkom integracijom.

Za identifikaciju procesa presovanja (sa stepenom redukcije λ) i izvlačenja (sa kontrakcijom presjeka ψ) koristi se dvostruko centrirano lepezasto polje linija klizanja. Kod graničnih vrijednosti centralnog ugla zone deformacije:

$$\alpha = \alpha(\lambda) = \arcsin \frac{1}{2} (\lambda - 1) = \alpha(\psi) = \arcsin \frac{1}{2} \frac{\psi}{1 - \psi} \quad (4)$$

statička polja redukuju se na prostije oblike (sl. 1a) koji predstavljaju kombinaciju homogenih i centriranih polja linija klizanja. Hodografi za pripadajuća statička polja (sl. 1b) konstruišu se po jednačinama kontinuiteta.

Iz odnosa normalnog pritiska alata (kao monotono opadajuće funkcije stepena deformacije) i napona izvlačenja (kao monotono rastuće funkcije) zaključuje se da se radi o relativno niskim opterećenjima alata za izvlačenje:



Sl. 1. Proces i plastične redukcije u fizičkim ravnima

$$\frac{q_{iz}}{\sigma_{iz}} = \frac{2k_s(1+\alpha)(1-\psi)}{2k_s(1+\alpha)\psi} = \frac{1-\psi}{\psi} = \frac{1}{1-\lambda} \quad (5)$$

Limitna ograničenja (sl. 1c) proizilaze iz uslova stanja gubitka stabilnosti procesa:

$$\psi \leq 0,575 \text{ za } \sigma_{iz} \leq 2k_s = \frac{2}{\sqrt{3}} k = 1,155 k$$

U realnim tehnološkim procesima izvlačenja, zbog fenomena očvršćavanja, dolazi do povećanja moći nošenja u zoni prenosa sile, što bitno utiče i na granične mogućnosti preoblikovanja [11].

šema prostornog naponskog stanja svestranog pritiska procesa presovanja dislocira problem stabilnosti van domena interesa istraživanja. Medjutim, iz korelacije normalnog otpora kalupa i radnog pritiska presovanja:

$$\frac{Q_p}{p} = \frac{2k_s(1+\alpha)}{2k_s(1+\alpha)\psi} = \frac{1}{\psi} = \frac{\lambda}{\lambda-1} \quad (6)$$

može se uočiti da alati za presovanje spadaju u visokopterećene konstrukcije.

Iako je u idealnim kontaktnim uslovima radni pritisak presovanja identičan naponu izvlačenja, u realnim proizvodnim uslovima ova korelacija je neodrživa. Odnosi izlaznih brzina modeliranih procesa ukazuju na izrazitu proizvodnost procesa presovanja.

4. Kinematske mogućnosti

Procesi presovanja (sl. 2a) realizuju se sa raznim stepenima redukcije (λ) dok se kod procesa izvlačenja (sl. 2b) varijacija kontrakcije presjeka (ψ) postiže promjenom vanjskog prečnika prstena. Centralni ugao (α) predstavlja geometrijski parametar zone deformacije kod oba procesa.

Primjena metode gornje procjene implicira nužnost uvođenja kinematski mogućih polja sa nezavisnim parametarskim uglom (θ).

Usvajajući eksperimentalnu vrijednost uslovnog koeficijenta kontaktnog trenja (μ), sa tangencijalnim naponom na konusnom dijelu kalupa $\tau_k = 2\mu k_s$ može se razvijanjem uslovnog nejednačine (2) pokazati da se radni pritisak procesa presovanja dobiva minimizacijom funkcije:

$$p = \frac{k}{\sqrt{3}} \left[\frac{1}{\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta} \left(\frac{1}{\sin^2\theta} + \frac{\lambda}{\sin^2\varphi(\lambda, \alpha, \theta)} + 2\mu \frac{\lambda-1}{\sin^2\alpha} \right) \right]_{\min} \quad (7)$$

pri čemu je radi lakše analize uveden pomoćni ugao kinematskog polja:

$$\varphi = \varphi(\lambda, \alpha, \theta) = \text{arc ctg} \left[\left(1 - \frac{1}{\lambda}\right) \text{ctg}\alpha - \frac{1}{\lambda} \text{ctg}\theta \right] \quad (8)$$

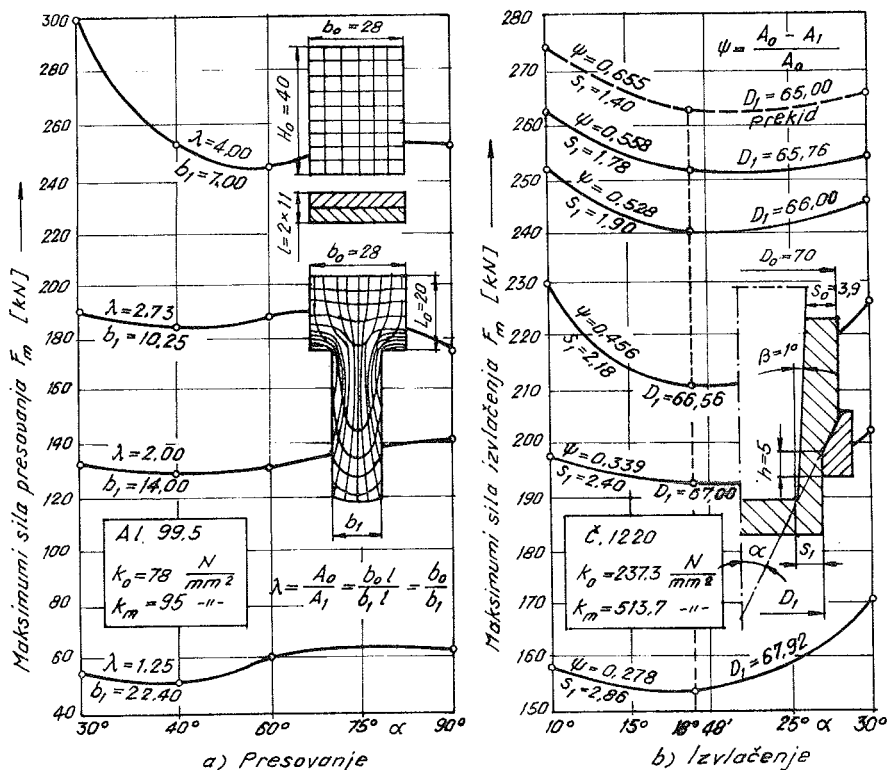
Kod procesa dubokog izvlačenja pored napona kontaktnog trenja između vanjske površine radnog komada i prstena za izvlačenje (τ_α), te unutrašnje površine i izvlakača (τ_β), uključuju se i dodatni gubici trenja kalibriranja na cilindričnom dijelu prstena (visine h).

Razvijanjem kinematskog ekstremalnog principa uz prethodne napomene, radni napon izvlačenja dobiva se minimizacijom funkcije:

$$\sigma_{iz} = \frac{k}{\sqrt{3}} \left[\frac{1}{\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta} \left(\frac{1}{\sin^2\theta} + \frac{1}{\sin^2\varphi(\psi, \alpha, \theta)} \frac{1}{1-\psi} + \frac{2\mu}{\sin^2\alpha} \frac{\psi}{1-\psi} \right) + 2\mu \left(\frac{h}{s_1} - \frac{\psi^2}{1-\psi} \text{ctg}\alpha \right) \right]_{\min} \quad (9)$$

gdje je pomoćni ugao kinematskog polja:

$$\varphi = \varphi(\psi, \alpha, \theta) = \arccos[\psi \operatorname{ctg} \alpha - (1 - \psi) \operatorname{ctg} \theta] \quad (10)$$



Sl. 2. Eksperimentalna istraživanja procesa plastične redukcije

Minimizacija funkcija (7) i (9) vrši se po nezavisnom parametru kinematskog polja (θ), pri varijaciji stepena redukcije (kontrakcije presjeka) i centralnog ugla alata.

5. Eksperimentalni rezultati

Rezultati eksperimentalnih istraživanja procesa presovanja aluminijskih otpresaka (A1 99,5) i izvlačenja žarenih i fosfatiranih priprema od čelika za cementaciju (Č.1220), potvrđuju dobivene korelacije ovih procesa po izloženoj metodologiji.

Maksimumi sila i radni pritisci presovanja (sl. 2a) rastu kao monotone funkcije stepena redukcije, a deformacione sile i radni naponi izvlačenja (sl. 2b) rastu kao monotone funkcije stepena kontrakcije presjeka.

Kod presovanja sukcesivno je povećavan stepen redukcije ($\lambda = 1,25 \dots 4,00$), a kod izvlačenja vršeno je postupno povećanje stepena deformacije sve do granice razaranja ($\psi = 0,278 \dots 0,655$). Dobiveni kvalitetni otpresci pokazuju da su deformabilne mogućnosti procesa presovanja pomjerene do visokih stepena redukcije, dok kod procesa izvlačenja

dolazi do gubitka stabilnosti (teorijski limit $\psi_t = 0,593$, eksperimentalna granica $\psi_e = 0,567$).

Uočava se i blaža zavisnost eksperimentalnih vrijednosti radnih pritisaka od centralnog ugla kalupa za presovanje, dok je kod procesa izvlačenja izraziti minimum kod optimalnog ugla prstena ($\alpha_{opt} = 18^{\circ}48'$).

Promjena tribološke konstelacije pokazuje da pogoršanje kontaktnih uslova kod procesa presovanja uslovljava nagli porast radnih pritisaka, a kod procesa izvlačenja ubrzava gubitak stabilnosti i utiče na smanjenje graničnog stepena deformacije.

6. ZAKLJUČAK

Ekstremalni principi teorije plastičnosti, simplificirano izraženi metodama gornje i donje procjene, nude mogućnost istraživanja najbitnijih funkcionalnih parametara procesa plastične redukcije.

Analize procesa presovanja i izvlačenja po stanjima u fizičkim ravnima i kinematski mogućim poljima rezultiraju modelskim korelacijama ovih procesa.

Sprovedena eksperimentalna istraživanja reprezentanata procesa plastične redukcije, uz varijaciju pokazatelja procesa, materijala i alata, potvrđuju ispravnost konceptijskog prilaza.

L I T E R A T U R A

- [1] Prager W., Hodge P.G., Theorie ideal plastischer Körper, Springer-Verlag, Wien, 1954, 238-249.
- [2] Musafia B., Granična deformabilnost, Zbornik radova XVII Savjetovanja proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Budva, oktobra, 1983, III 1 - III 4.
- [3] Kachanov L.M., Fundamental of the Theory of Plasticity, Mir Publishers, Moscow, 1974, 302 - 306.
- [4] Musafia B., Nestabilnost procesa izvlačenja, Obrada deformisanjem u mašinstvu, godina 9, broj 1, Novi Sad, 1984, 39 - 44.
- [5] Johnson W., Mellor P.B., Engineering Plasticity, Van Nostrand Reinhold Company, London, 1975, 415 - 436.
- [6] Musafia B., Naponsko-deformacioni odnosi procesa istosmjernog istiskivanja, Zbornik radova 3. Jugoslovenskog simpozija o teoriji plastičnosti. Plitvička Jezera, 1983, 83 - 90.
- [7] Kudo H., Metod verhnjej ocenki, Teorija plastičeskih deformaciji metallov, Mašino-stroenije, Moskva, 1983, 304 - 326.
- [8] Hill R., Mathematical Theory of Plasticity, Clarendon Press, Oxford, 1971, 66 - 69.

- [9] Musafia B., Optimalizacija plastičnih procesa, Zbornik radova "Proizvodne tehnologije" Beograd, maj 1986, 127 - 132.
- [10] Sokolovskij V.V., Teorija plastičnosti, Visšaja škola, Moskva, 1969, 336 - 348.
- [11] Musafia B., Maksimalna redukcija u operacijama izvlačenja, Zbornik radova BIAM '86, Zagreb, lipnja 1986, 268 - 271.

21. SAVJETOVANJE PROIZVODNOG STROJARSTVA JUGOSLAVIJE
OPATIJA 1987. GODINE

PRILOG ISPITIVANJU KOEFICIJENTA TRENJA PRI TOPLOM SABIJANJU
CILINDRIČNIH UZORAKA OD A1-LEGURE

CONTRIBUTION OF THE EXAMINATION COEFFICIENT OF FRICTION IN THE
PROCESS OF THERMAL SETTING CYLINDRICAL BILLETS FROM A1-ALLOY

M.Vukčević
V.Domazetović

Mašinski fakultet Univerziteta u Titogradu
Mašinski fakultet Univerziteta u Titogradu

KLJUČNE RIJEČI
varijacija
trenje
deformacija
temperatura

SAZETAK: U radu je primjenom varijacione metode dobijen relativno jednostavan analitički izraz za radni pritisak pri slobodnom sabijanju cilindričnih uzoraka. Korištenjem ove relacije i eksperimentalnih rezultata dobijena je jednačina $\mu = \mu(T, k, \Psi)$ koja izražava koeficijent trenja u funkciji temperature, odnosa prečnika i visine i stepena deformacije u relativno širokom opsegu promjene ovih veličina.

KEY WORDS
variation
friction
deformation
temperature

ABSTRACT: In this paper by application variational method is gotten relatively simple analytical expression for working pressure by setting cylindrical billets. By using this relation and experimental results is gotten equation $\mu = \mu(T, k, \Psi)$ which expresses coefficient of friction in function of temperature, ratio diameter and height and degree deformation in relatively wide interval of change this largenesses.

I. Uvod

Veličina sile trenja je neophodna informacija pri razradi režima deformacije, proračunu alata i potrebne snage. Ova veličina se najčešće određuje preko koeficijenta trenja. Zato pri rešenju tehnoloških i konstruktorskih zadataka treba sa dovoljnim stepenom tačnosti izabrati srednju veličinu koeficijenta spoljnog trenja u zoni deformacije. Pri tome je posebno važno, iz mnoštva uticajnih faktora izdvojiti osnovne i razmatrati njihov uticaj na koeficijent trenja.

Prezentirana ispitivanja su vršena u pogonskim uslovima na livenim trupcima legure AK6 hemijskog sastava: Cu=2,2%; Mg=0,6%; Si=0,95%; Fe=0,3%; Ni=0,05%; Zn=0,027%; Ti=0,05%; ostale primjese 0,08%, koji je u preporučenim granicama.

2. Primjena varijacione metode

Zadatak sabijanja cilindra umjerene visine ($D/H > 0,5$) se razmatra u cilindričnim koordinatama z, r, φ . Kako tijelo u procesu deformacije ostaje osnosimetrično, to odsustvuju deformacije smicanja: $\epsilon_{r\varphi} = \epsilon_{z\varphi} = 0$, a takodje pretpostavlja se da se spoljna ispupčena konura može opisati parabolom.

Prvi korak u primjeni varijacione metode na razmatrani problem je izbor prikladne funkcije /1/. Pri izboru takve funkcije treba nastojati da ona odražava u što jednostavnijem obliku (ima minimalan broj variranih parametara) fizičku suštinu i zadovoljava granične uslove. Za radijalno pomjeranje se predlaže izraz:

$$U_r = a_1 r + a_2 z \frac{r^2}{R^2} \left(1 - \frac{2z^2}{h^2}\right) \quad \dots (1)$$

gdje su: r, R -tekući i spoljni radijus cilindra u posmatranom trenutku deformisanja
 z, h -tekuća i najveća vrijednost poluvisine u posmatranom trenutku deformisanja
 a_1, a_2 -varijacioni parametri

Prvi član u izrazu (1) odražava onu vrijednost radijalnog pomjeranja koja ne zavisi od z . Drugi član ukazuje na paraboličnu zavisnost U_r od z , omogućava zadovoljenje graničnog uslova ($r=0, U_r=0$) i konačno za razliku od izraza predloženih autorom /2/ relativno jednostavno uzima u obzir eksperimentalno potvrđenu činjenicu da pri deformaciji cilindra dolazi do krivljenja ne samo cilindričnih površi ($r=\text{const.}$) nego i horizontalnih ravni ($z=\text{const.}$).

Na osnovu poznatih izraza za osnosimetrične deformacije i uz korištenje uslova nestišljivosti slijedi:

$$\begin{aligned} \epsilon_r &= a_1 + a_2 \frac{2Zr}{R^2} \left(1 - \frac{2z^2}{h^2}\right) \\ \epsilon_\varphi &= a_1 + a_2 \frac{Zr}{R^2} \left(1 - \frac{2z^2}{h^2}\right) \\ \epsilon_z &= - \left[2a_1 + a_2 \frac{3Zr}{R^2} \left(1 - \frac{2z^2}{h^2}\right) \right] \end{aligned} \quad \dots (2)$$

Iz treće jednačine sistema (2) imajući u vidu granični uslov ($z=0, U_z=0$) dobija se:

$$U_z = - \left[2a_1 z + \frac{3}{2} a_2 \frac{r^2}{R^2} z^2 \left(1 - \frac{z^2}{h^2}\right) \right] \quad \dots (3)$$

Varijacioni parametar a_1 se dobija iz graničnog uslova na površini $z=h$ ($z=h, U_z=-\Delta h$):
 $a_1 = \epsilon/2$ gdje je $\epsilon = \Delta h/h$.

Sada se može odrediti deformacija smicanja, različita od nule:

$$\epsilon_{rz} = a_2 \frac{r^2}{R^2} \left(1 - \frac{6z^2}{h^2}\right) - \frac{3}{2} a_2 \frac{z}{R^2} \left(1 - \frac{z^2}{h^2}\right) \quad \dots (4)$$

Korišćenjem izraza (2) i (4) može se odrediti intenzivnost deformacije:

$$\xi_i = \left[28 \frac{a_2^2 z^2 r^2}{R^4} - \left(1 - \frac{2z^2}{h^2}\right)^2 + 3\xi^2 + 18 \frac{a_2 z r}{R^2} - \left(1 - \frac{2z^2}{h^2}\right) + a_2^2 \frac{r^4}{R^4} \left(1 - 6 \frac{z^2}{h^2}\right)^2 - \right. \\ \left. - \frac{3a_2^2 r^2 z^2 (1 - 6 \frac{z^2}{h^2}) (1 - \frac{z^2}{h^2}) + \frac{9}{4} a_2^2 \frac{z^4}{R^4} \left(1 - \frac{z^2}{h^2}\right)^2 \right]^{0,5} \quad \dots(5)$$

U cilju nalaženja parametra a_2 treba koristiti varijacionu jednačinu Lagranža:

$$\tilde{\gamma}_s \int_0^{2\pi} \int_0^R \int_0^h \frac{\partial \xi_i}{\partial a_2} r dr dz + \alpha \tilde{\gamma}_s \int_0^{2\pi} \int_0^R \frac{\partial U_{r/z=h}}{\partial a_2} r dr dz = 0 \quad \dots(6)$$

gdje su: $\tilde{\gamma}_s$ - napon tečenja pri smicanju

α - funkcija ($0 \leq \alpha \leq 1$) koja zavisi od kontaktnih uslova i odnosa dimenzija zone deformacije i za slučaj sabijanja cilindra prema autoru /2/ iznosi:

$$\alpha = \mu + \frac{1}{8} \frac{R}{h} (1 - \mu) \sqrt{\mu} \quad \dots(7)$$

Rešavanjem jednačine (6) dobija se varijacioni parametar a_2 :

$$a_2 = 0,866 \alpha \xi / (1,4 + 1,78k^2 + 0,06k^4) \quad \dots(8)$$

gdje je: $k = h/R$

Sada se može postaviti jednačina održanja energije:

$$A = P \Delta h = \tilde{\gamma}_s \int_0^{2\pi} \int_0^R \int_0^h \xi_i r dr dz + \alpha \tilde{\gamma}_s \int_0^{2\pi} \int_0^R U_r r dr dz \quad \dots(9)$$

gdje je P sila sabijanja cilindra. Nakon rešavanja zapreminskih i površinskih integrala jednačine (9) uzimajući da je $\tilde{\gamma}_s = \sqrt{3} \tilde{\gamma}_s$ i definišući radni pritisak kao: $p = P/R^2 \tilde{\gamma}_s$ dobija se relacija:

$$\frac{p}{\tilde{\gamma}_s} = 1 + C_1 + \alpha C_2 \quad \dots(10)$$

gdje su: $C_1 = \left(\frac{a_2}{\xi}\right)^2 (0,47 + 0,59k^2 + 0,2k^4)$

$$C_2 = \frac{0,19}{k} - 0,29 \frac{a_2}{\xi} \quad \dots(11)$$

Analiza jednačina (7), (8), (10) i (11) pokazuje da je:

$$\frac{p}{\sigma_s} = f(k, \mu) \quad \dots(12)$$

Takodje je očigledno da relacija (10) za razliku od poznate relacije Zibela uzima u obzir preko člana C_1 uticaj neravnomjernosti deformacije na radni pritisak deformisanja. U poredjenju sa rešenjem Unksova /2/ dobijeni su nešto umanjeni rezultati za male i srednje vrijednosti R/h ($k > 0,08$), kada je neravnomjernost deformacije posebno izražena. To je uslovljeno činjenicom da je izraz (10) dobijen uz poštovanje zakona minimuma rada deformisanja (9) pa je time minimiziran i radni pritisak p . Uporedjenje uz primjenu računara je dokazalo da su dobijeni rezultati vrlo bliski varijacionom rešenju Tanovskog koje je znatno komplikovanije (koriste se tri varijaciona parametra).

Treba istaći da se rešenje može uprostiti zanemarivanjem člana k^4 u jednačinama (8) i (11) jer je isti malo uticajan za male vrijednosti k .

3. Eksperimentalna istraživanja

Presovanja uzoraka su izvršena na hidrauličnoj presi nominalne sile 50MN, ukupnog hoda 1000 mm i podešive brzine pritiskivača. Podmazivanje je izvodjeno grafitnom mašću. Pripremci su trupci prečnika \emptyset 262 mm i različitih visina: 227; 262; 300 mm. Trupci su zagrijavani u električnoj prolaznoj peći a kontrola njihove temperature je vršena pomoću kontaktnog pirometra sa ručnim oslanjanjem na komad.

Mjerne veličine su registrovane pomoću davača P-4k, a zatim pojačavane pomoću šestokanalnog pojačivača KWSI6A-5. Oba uredjaja su marke Hottinger. Promjena mjernih veličina u vremenu je snimana na fotoosetljivom papiru. Kontrola dimenzija izvadaka nakon završetka presovanja je vršena pomoću kljunastog mjerila.

Snimani su dijagrami /4/ promjene pritiska na ulazu u glavni cilindar i promjene visine sa vremenom na osnovu kojih se mogla uspostaviti veza pritiska od visine. To znači da se eksperimentalno može odrediti radni pritisak presovanja prema obrascu:

$$p = p_1 \frac{A_c}{A} \quad \dots(13)$$

gdje su: p_1 -izmjereni pritisak fluida na ulazu u glavni cilindar

A_c -površina klipa u cilindru

A -kontaktna površina uz pretpostavku ravnomjernog deformisanja trupaca

4. Ispitivanje koeficijenta trenja

Radni pritisak presovanja (13), a takodje i odnos p/σ_s /6/ su opitno dobijene vrijednosti koje se u posmatranom eksperimentu mijenjaju u zavisnosti od temperature uzoraka T , dimenzije istih $k_0 = H_0/D_0$ kao i stepena deformacije ψ . Istaknuto podmazivanje je isto-vjetno za sve uzorke, a deformacija je monotona ($\dot{\psi} \approx 0,01s^{-1}$).

U posmatranom trenutku presovanja (za određeno ψ) znajući prethodno k_0 može se odrediti veličina k .

To znači da u relaciji (12) jedina nepoznata veličina je koeficijent trenja . S obzirom da jednačina (12) nije data u eksplicitnoj formi po μ , napravljen je program za računar primjenom kojeg se za određene p/σ_s i k postupno, iterativnim postupkom dobija vrijednost koeficijenta trenja μ .

Iz gornjeg slijedi da se primjenom izvedene relacije (12) i eksperimentalno dobijenih rezultata može uspostaviti zavisnost koeficijenta trenja od: temperature uzoraka, početnog odnosa visine i prečnika i stepena deformacije. Preliminarnim istraživanjima se došlo do saznanja da se ova zavisnost može uspješno predstaviti stepenom funkcijom. Za plan eksperimenta usvojen je trofaktorni ortogonalni plan na dva nivoa sa ukupnim brojem eksperimenata: $N=2^3+4=12$. Model je oblika:

$$\mu = CT^{a_1} \cdot k_0^{a_2} \cdot \psi^{a_3} \quad \dots(14)$$

U cilju određivanja numeričkih vrijednosti konstante i parametara obradljivosti neophodno je model (14) transformisati u linearni oblik koji za slučaj uzimanja u obzir efekata uzajamnog dejstva ima oblik (15):

$$\mu = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3 \quad \dots(15)$$

Primjenom računara nalaženi su parametri modela (15). Izvršena je provjera njihove značajnosti i provjera adekvatnosti matematičkog modela. Dekodiranjem su dobijene tražene stepene zavisnosti.

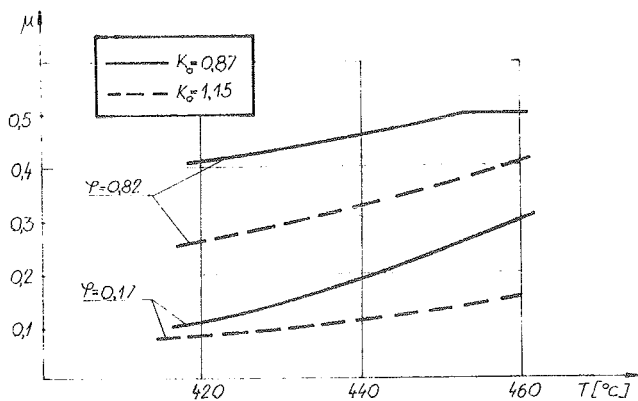
Intervali varijacije nezavisno promjenljivih su: $T(420-460^\circ\text{C})$; $k_0(0,87-1,15)$ i $\psi(0,17-0,82)$.

U tablici I je data plan matrica eksperimenta. Izlazna veličina je μ , a nezavisno promjenljive su obelježene u koordinantnom obliku: x_1, x_2 i x_3 (T, k_0 i ψ sukcesivno).

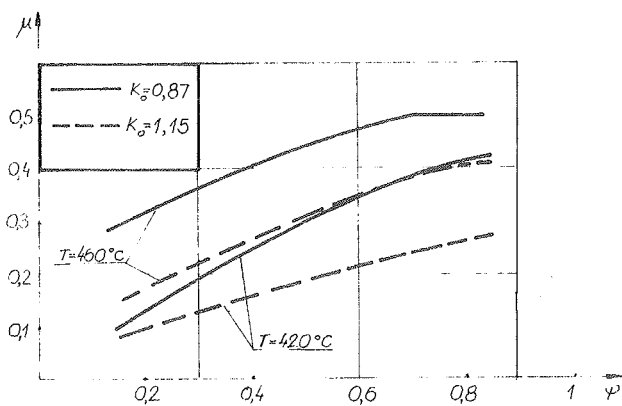
Tablica 1. Plan matrica eksperimenta

N ₀	F A K T O R I			μ
	x_1	x_2	x_3	
1	-	-	-	0,1
2	+	-	-	0,302
3	-	+	-	0,08
4	+	+	-	0,14
5	-	-	+	0,47
6	+	-	+	0,5
7	-	+	+	0,263
8	+	+	+	0,384
9	0	0	0	0,255
10	0	0	0	0,305
11	0	0	0	0,25
12	0	0	0	0,26

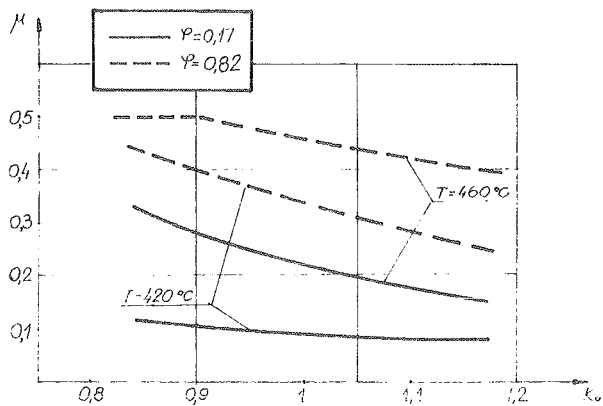
Nakon obrade na računaru dobijen je izraz za koeficijent trenja pri sabijanju trupaca od legure AK6:



a)



b)



c)

Sl.1. Zavisnost koeficijenta trenja od: a) temperature, b) stepena deformacije, c) početnog odnosa visine i prečnika

$$\mu = 3,417 \cdot 10^{-5} \cdot T^{1,566-4,283 \ln \psi} \cdot k_0^{-131,083+21,269 \ln T} \cdot \psi^{26,738-131,381 \ln k_0} \cdot T^{-21,588 \ln k_0} \ln \psi \quad \dots (16)$$

Grafička interpretacija relacije (16) je data na sl.1. Prikazane su zavisnosti koeficijenta trenja od: T(sl.1.a), ψ (sl.1.b) i k_0 (sl.1.c).

5. Zaključna razmatranja

Primjenom varijacione metode na sabijanje cilindričnih uzoraka dobijena je relacija (10), koja povezuje tri veličine: odnos radnog pritiska i specifičnog deformacionog otpora p/σ_s , početni odnos visine i prečnika komada k i koeficijent trenja μ . U odnosu na pojedine, često korištene formule istaknuta relacija ima određene prednosti (uzima u obzir trenje i krivljenje horizontalnih ravni pri deformisanju, a takodje i relativno je jednostavna).

Korištenjem izvedene jednačine i eksperimentalnih rezultata dobijenih pri toplom sabijanju trupaca od aluminijске legure AK6, prema planu eksperimenta, uz primjenu računara, dobijena je stepena zavisnost $\mu = \mu(T, k, \psi)$ (16). Ova jednačina uzima u obzir efekte međudejstva faktora (jednačina koja ne uzima u obzir efekte međudejstva faktora ne zadovoljava uslov adekvatnosti).

Pokazuje se da sa porastom temperature raste koeficijent trenja pri čemu se za najveći razmatrani stepen deformacije ($\psi=0,82$) i najniži uzorak ($k=0,87$) dostiže maksimalna vrijednost koeficijenta trenja ($\mu=0,5$). To znači da u razmatranom intervalu varijacije nezavisno promjenljivih, koeficijent raste sa porastom stepena deformacije ψ , a opada sa rastom početnog odnosa visine i prečnika uzorka k_0 . Pri $\psi \approx 0,65$ uočava se ravnoteža uticaja faktora T i k_0 na koeficijent trenja μ : $\mu(T=420, k_0=0,87) = \mu(T=460, k_0=1,15)$.

Ovako dobijena vrijednost koeficijenta trenja je veoma važna ulazna informacija pri određivanju deformacionog i naponskog polja primjenom energetskog i varijacionog metoda.

Literatura

- /1/ B.Musafija
Primijenjena teorija plastičnosti II dio, Sarajevo, 1974. str. 312.
- /2/ I.Ja.Tarnovskij, A.A.Pozdeev, O.A.Ganago
Deformaciji i usilija pri obrabotke metalov davlenijem, Mašgiz, Moskva, 1959.str.303.
- /3/ A.P.Grudev, Ju.V.Zilberg, V.T.Tilik
Trenie i smazka pri obrabotke metalov davlenijem, Spravočnik, Metalurgija, Moskva, 1982., str. 312.
- /4/ V.Domazetović, M.Vukčević
Ispitivanje slobodnog sabijanja uzoraka od Al-legure na hidrauličnoj presi, VIII Seminar BIAM, Zagreb, 1986.
- /5/ R.S.Schechter
The variational method in engineering, McGraw-Hill Book Company, 1967.,str.292.
- /6/ P.I.Poluhin, G.Ja.Gun, A.M.Galkin
Soprotivlenie plastičeskoj deformaciji metalov i splavov, Spravočnik, Metalurgija, Moskva, 1983., str. 352.

21. SAVJETOVANJE PROIZVODNOG STROJARSTVA JUGOSLAVIJE, OPATIJA, 1987.

ČINIOCI KOJI UTIČU NA KRIVE GRANIČNE DEFORMABILNOSTI LIMOVA
FACTORS INFLUENCING THE FORMING-LIMIT CURVES OF SHEET METALS

B. Devedžić Mašinski fakultet Kragujevac,
34000 Kragujevac, Jugoslavija

Ključne riječi: SAŽETAK: U radu su navedeni brojni eksperimentalni i neki teorijski podaci koji treba samo da ilustruju način (prirodu) i stepen uticaja pojedinih relevantnih činilaca od kojih zavisi granična deformabilnost tankih limova. Kako su oni prezentirani uglavnom grafički, to su i odgovarajući komentari dati veoma skraćeno i nepotpuno. Inače, svaki od uticajnih činilaca mogao bi biti predmet posebne opsežne analize.

Lim
Deformabilnost
r-factor
n-factor
Istorija
deformisanja

Key words: ABSTRACT: Presented in the paper are numerous experimental data and theoretical results to illustrate the nature and degree of influence of individual relevant factors upon the limit formability of thin sheet metals. Since the presentation is mainly graphical, the relevant comments are very short and incomplete. Yet each of the influential parameters could be the subject of a detailed study.

Sheet metal
Formability
r-value
n-value
Strain history

1. Uvod

Dijagrami granične deformabilnosti (DGD) tankih limova (sl. 1.) našli su veoma široku primenu, kako u okviru laboratorijskih istraživanja obradivosti materijala, tako i kao izvanredno pomoćno sredstvo pri rešavanju različitih tehnoloških problema u industriji. Iz ove okolnosti proizilazi njihov izuzetan značaj, pa je, pored ostalog, od posebnog interesa steći uvid u činioce koji utiču na njihove oblike i položaje. Oni su veoma brojni, a najvažniji među njima su sledeći: vrsta materijala, debljina, deformaciono ojačavanje (n-faktor), anizotropija (r-faktor i eventualno orijentacija u odnosu na pravac valjanja), istorija deformisanja, brzina, distribucija deformacija, kontaktni uslovi, kriterijumi nastanka lokalizovanog deformisanja, metodologija dobijanja dijagrama, primenjena eksperimentalna tehnika, krupnoća merne mreže, početni defekti u materijalu i dr.

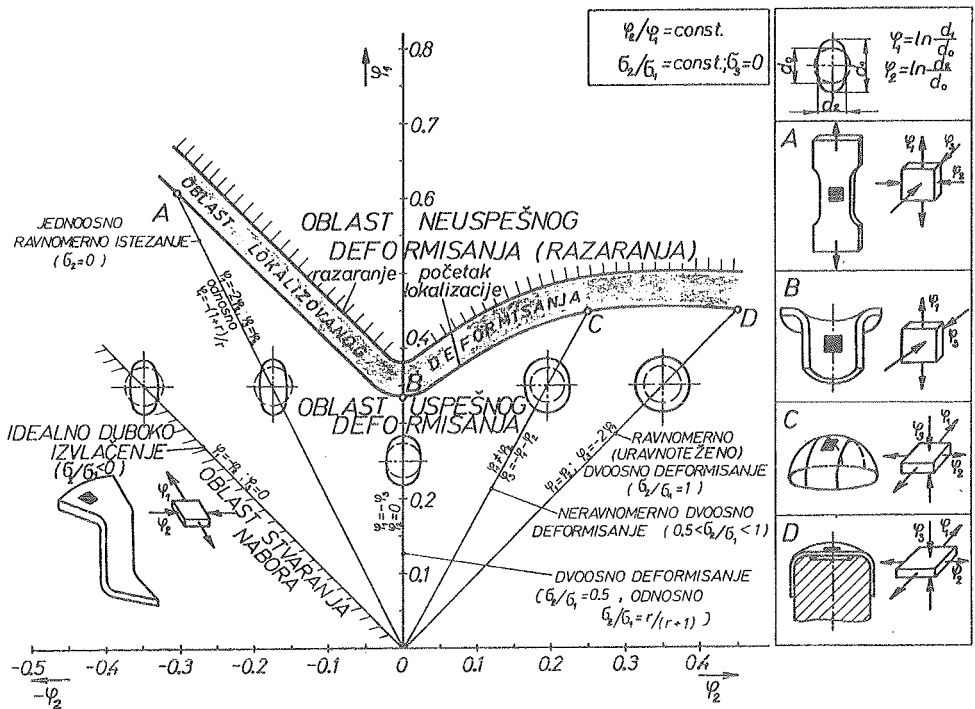
Da bi se efekti ovih uticajnih činilaca pojedinačno analizirali, moguće je postupiti dvojako:

- a) koristiti rezultate eksperimentalnih istraživanja;
- b) koristiti analitičke izraze kojima se matematički interpretiraju

DGD.

Treba, međutim, istaći da se prema ovom drugom postupku, koji se na prvi pogled čini pogodnijim, zasada može izvršiti samo manje-više kvalitativna analiza, odnosno sticanje opšteg principijelnog uvida u prirodu pojedinih uticaja, njihove načelne medjuzavisnosti i sl. Ovo stoga što su ti izrazi izvedeni uz korišćenje različitih polaznih hipoteza, mnogih pretpostavki i uprošćenja. Osim toga, zbog ovih uprošćenja, oni i ne sadrže članove koji bi karakterisali sve pomenute uticajne činioce, već samo neke od njih.

Ipak, bez obzira na ovu okolnost, u daljem će se sažeto izložiti rezultati većeg broja istraživanja (kako autora, tako i drugih istraživača) provedenih uz korišćenje i jednog i drugog postupka.



Sl. 1. Dijagram granične deformabilnosti tankih limova (za slučaj proporcionalnog deformisanja)

2. Neke analitičke relacije

Rezultati isključivo analitičko-teoretskog pristupa proizlaze iz niže navedenih relacija (ili nekih drugih sličnih njima). One omogućuju da se na osnovu poznavanja osnovnih mehaničkih karakteristika materijala, kao i naponsko-deformacionih odnosa u toku procesa deformisanja dodje do graničnih

deformacija u ravni lima φ_{1g} i φ_{2g} , kao koordinata DGD.

2.1. Izrazi dobijeni na osnovu hipoteza o nastanku difuzne ili skoncentrisane lokalizacije deformisanja

$$\varphi_1 = \frac{[(\frac{G}{H} + 1) - \alpha] \varphi_e}{\{\frac{2}{3}(\frac{F}{H} + \frac{G}{H} + 1) [(\frac{G}{H} + 1) - 2\alpha + (\frac{F}{H} + 1)\alpha^2]\}^{1/2}}$$

$$\varphi_2 = \frac{[(\frac{F}{H} + 1)\alpha - 1] \varphi_e}{\{\frac{2}{3}(\frac{F}{H} + \frac{G}{H} + 1) [(\frac{G}{H} + 1) - 2\alpha + (\frac{F}{H} + 1)\alpha^2]\}^{1/2}}$$

Granične vrednosti φ_{1g} i φ_{2g} dobijaju se kada se izvrši zamena $\varphi_e = \varphi_{eg} = n S_D$ ili $\varphi_e = \varphi_{eg} = n S_N$, pri čemu su S_D i S_N kritični iznosi subtangenti na krivoj tečenja za tačke D i N u kojima nastaje difuzna, odnosno skoncentrisana (nagla) lokalizacija. Ovi iznosi su definisani sledećim relacijama:

$$S_D = \sqrt{\frac{2}{3}(\frac{F}{H} + \frac{G}{H} + 1)} \frac{[(1 + \frac{F}{H})\alpha^2 - 2\alpha + (1 + \frac{G}{H})]^{3/2}}{[1 + \frac{G}{H} - \alpha]^2 + [(\frac{F}{H} + 1)\alpha - 1]^2 \alpha}$$

$$S_N = \sqrt{\frac{2}{3}(\frac{F}{H} + \frac{G}{H} + 1)} \frac{[(1 + \frac{F}{H})\alpha^2 - 2\alpha + (1 + \frac{G}{H})]^{1/2}}{\frac{G}{H} + \frac{F}{H} \alpha}$$

a za slučaj izotropnog materijala

$$S_D = \frac{4(\alpha^2 - \alpha + 1)^{3/2}}{(1+\alpha)(4\alpha^2 - 7\alpha + 4)}$$

$$S_N = \frac{2\sqrt{\alpha^2 - \alpha + 1}}{1+\alpha}$$

Pojedine oznake u gornjim izrazima imaju sledeća značenja: φ_e - ekvivalentna deformacija, F, G, H - parametri anizotropije; $\alpha = \sigma_2/\sigma_1$ (odnos glavnih napona u ravni lima).

Pretpostavka je da se deformisanje vrši proporcionalno.

Opsežna istraživanja su potvrdila da kriterijum difuzne lokalizacije bolje odgovara eksperimentalno ustanovljenim odnosima u desnom delu dijagrama, a skoncentrisane lokalizacije u levom.

2.2. Izraz dobijen na osnovu hipoteze o postojanju početnog defekta (oslabljenog mesta) - prema Marciniak-u [1]:

$$\frac{du}{u} = \left[\frac{1}{A+B\varphi_2} + \left(Cu - \frac{1}{D+B \int \frac{d\varphi_2}{\sqrt{1-u^2}}} \right) \frac{1}{\sqrt{1-u^2}} + E \right] d\varphi_2$$

gde je: $u = \frac{\sigma_{1B}}{\sigma_{eB}} \frac{\sqrt[4]{3(2r+1)}}{\sqrt{2(r+1)}}$, a indeks B se odnosi na zonu materijala u kojoj se od početka nalazi oslabljeno mesto; r - koeficijent normalne anizotropije materijala; A, B, C, D, E - koeficijenti zavisni od deformacionih odnosa, kao i n - i r -faktora.

Kada se dostigne vrednost $u = 1$, nastaje nestabilno deformisanje, tj. dostižu se granični odnosi.

3. Sažet ilustrativni pregled pojedinih uticaja

Raspoloživi obim ovog rada, sa jedne strane, i brojnost pomenutih uticajnih činilaca, sa druge, ne dozvoljavaju da se ovom prilikom vrše detaljnije analize i daju kompletnija objašnjenja. Stoga će se ovaj pregled svesti, uglavnom, na odabrane ilustrativne grafičke prikaze pojedinih uticaja, dok se za detaljnije upoznavanje sa njihovom suštinom zainteresovani upućuju na specijalnu literaturu.

Napomena: u većini prikazanih dijagrama kao pokazatelj deformacija korišćena je procentualna deformacija δ , ali u nekim slučajevima takodje i logaritamska deformacija φ .

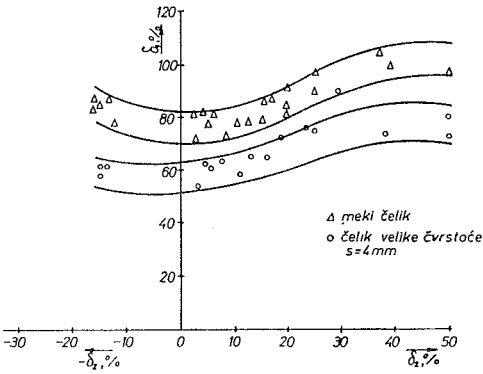
Uticaj svojstava materijala (sl. 2 i 3). Pri normalnim varijacijama mehaničkih svojstava limova sličnog kvaliteta ne bi trebalo očekivati znatnije promene DGD. Međutim, kod znatno različitih materijala to nije slučaj kao što se iz prikazanih primera može zaključiti.

Uticaj debljine lima s (sl. 4) i početne nehomogenosti f_0 (sl. 5). Načelno posmatrano, veća debljina lima dovodi do pomeranja granične krive naviše (naročito u desnom delu dijagrama). Pri tome treba imati u vidu da veća debljina lima doprinosi i povećanju parametra f_0 - prema Marciniak-u.

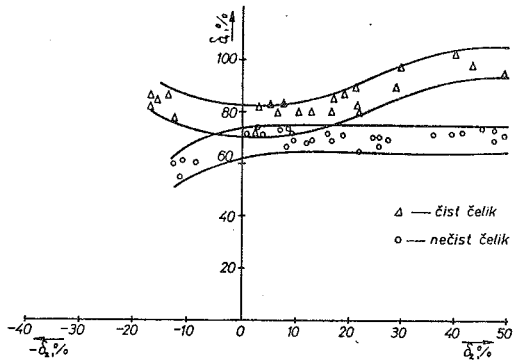
Uticaj eksponenta deformacionog ojačavanja (n -faktora). U ovom smislu se najpre navode karakteristični odnosi dobijeni na osnovu teorijskih relacija po Marciniak-u (sl. 6.) [4], kao i na osnovu kriterijuma zasnovanog na lokalizaciji deformisanja (sl. 7.) [19]. U ovom drugom slučaju konstanta materijala B i eksponent n važe za konstitutivnu jednačinu u obliku $\sigma_e = A(B + \varphi)^n$.

Sličan dijagram, samo za slučaj usvojenog oblika ove jednačine $\sigma_e = A\varphi^n$ prikazan je na sl. 8 [2], a na sl. 9. rezultati jednog eksperimentalnog istraživanja sličnog lima, ali za suženo područje variranja faktora n [11].

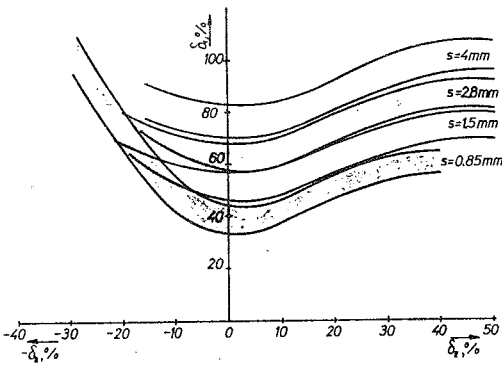
Vidi se da povećanje n -faktora dovodi do nevelikog pomeranja granične krive naviše. Stoga poboljšanje obradivosti lima razvlačenjem koje prati ovo povećanje ne proističe toliko iz pomeranja krive, koliko iz poboljšanja distribucije deformacija u kritičnoj zoni.



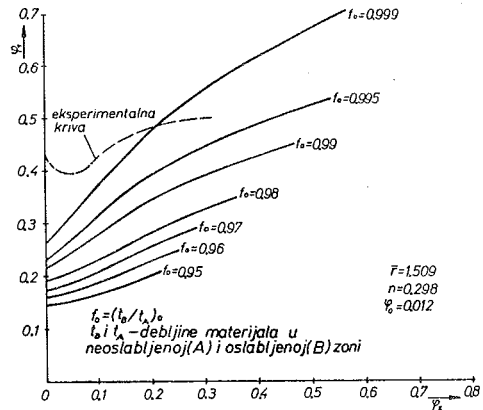
Sl. 2. Uporedni prikaz DGD za lim od mekog čelika i od čelika velike čvrstoće



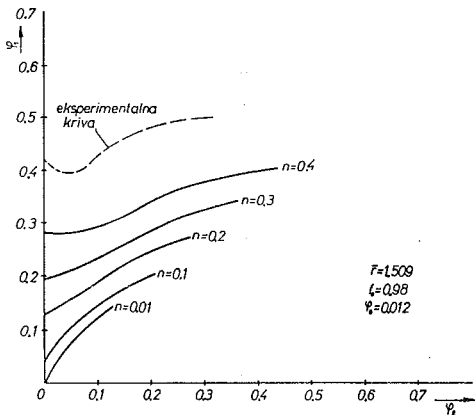
Sl. 3. Uporedni prikaz DGD za lim od čistog i nečistog čelika



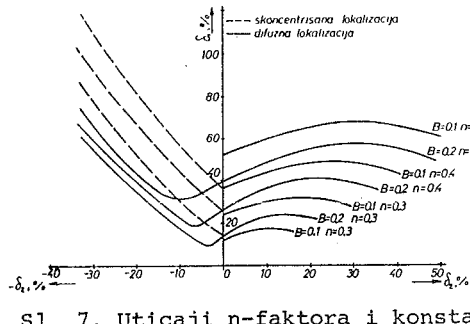
Sl. 4. Uticaj debljine malouglijeničnog čeličnog lima na DGD [11]



Sl. 5. Uticaj početne nehomogenosti f na DGD (prema teorijskim relacijama Marciniak-a) - umiren čelični lim za duboko izvlačenje [4]



Sl. 6. Uticaj n-faktora na DGD (po Marciniak-u) - umiren čel. lim za duboko izvlačenje



Sl. 7. Uticaji n-faktora i konstante B na DGD (prema kriterijumu nastanka lokalizacije deformisanja, a za $\sigma_e = A(B + \varphi_e)^n$)

Utica j anizotropije (r-faktora i anizotropije u ravni lima). Radi ilustracije opštih odnosa i ovde su najpre navedene isključivo teorijske relacije - prema hipotezi Marciniak-a (sl. 10.) [4] i prema kriterijumu lokalizacije deformisanja (sl. 11.) [9].

Primer eksperimentalno ustanovljenih odnosa, i to za slučaj velike promene r-faktora, dat je na sl. 12. [7].

Neusaglašenost odnosa na sl. 10. i 11. sa onim prikazanim na sl. 10. otvara pitanje: da li porast normalne anizotropije može donekle ubrzati nastajanje difuzne lokalizacije, ili je možda, u pitanju nesavršenost teorijskih izraza na kojima se zasnivaju odnosi na sl. 10.

Što se tiče anizotropije u ravni lima, i u vezi sa tim orijentacije lima pri deformisanju, može se reći da će biti najpovoljnije ako se deformacija φ_1 ostvaruje u pravcu valjanja lima ($\alpha = 0^\circ$) - v. sl. 13 [18].

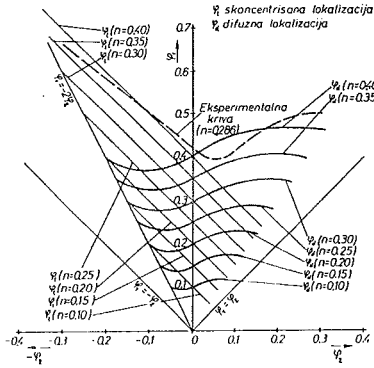
Utica j brzine deformisanja. Brzina deformisanja može i primetno uticati na uslove trenja, a time i na položaj putanja deformisanja (tj. odnos $m = \varphi_2/\varphi_1$), ali pri tome krajnje tačke ovih putanja uglavnom ostaju na istoj graničnoj krivoj - sl. 14. [13].

Utica j krupnoće merne mreže i distribucije deformacija. Priroda ovog uticaja može se lako uočiti sa šeme na sl. 15. Na njoj su naznačene dve različite distribucije deformacija (A i B) i odgovarajuće dimenzije većih prečnika elipsi u kritičnoj zoni (na mestu razaranja d_{1R} i susednih d_{1L}). Dalja ilustracija u ovom smislu data je na sl. 16. [2].

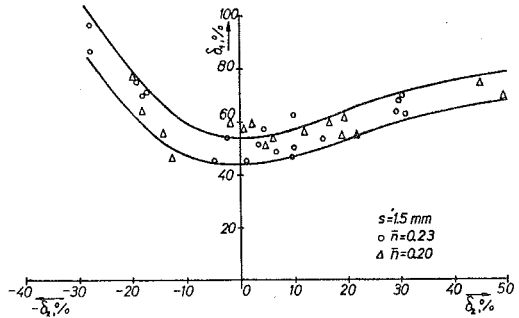
Utica j trenja. Zbog pomenutog uticaja trenja na putanju deformisanja, u nekim slučajevima dolazi do njenog odstupanja od pravolinijskog oblika, a time i do promene položaja granične krive. Osim toga, trenje utiče i na deformacioni gradijent, što takodje može dovesti do pomeranja krive. Međutim, u ovom smislu je od većeg uticaja geometrija alata, pa se može zaključiti da trenje samo po sebi nema naročito veliki utica j na položaj granične krive (sl. 17.) [2]. Ipak, ako su u pitanju takve razlike, kakve se javljaju, na primer, pri hidrauličnom izvlačenju u odnosu na izvlačenje čvrstim izvlačenjem, onda se položaji DGD znatnije razlikuju (v. sl. 19.).

Utica j kriterijuma nastanka lokalizovanog deformisanja. Iz šematskog prikaza na sl. 18. proizlazi velika međusobna nepodudarnost DGD dobijenih eksperimentalnom, odnosno teorijskim metodologijama: difuzne (φ_d) i skocentrisane (φ_s) lokalizacije, Marciniak-a (M) i Gosh-a (G) [15].

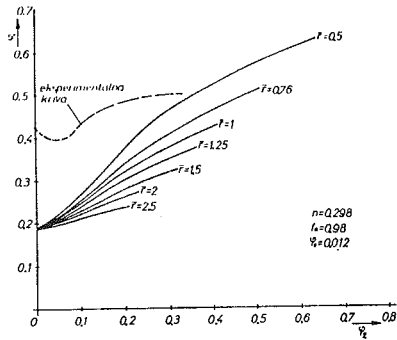
Utica j metodologije dobijanja dijagrama i primenjene eksperimentalne tehnike. U primeni su različite eksperimentalne tehnike dobijanja DGD. Najznačajnije među njima su: 1) izvlačenje polusfernim čvrstim izvlačačem



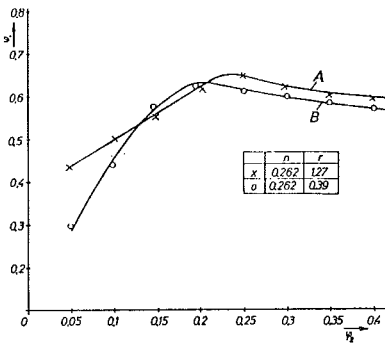
Sl. 8. Uticaj n-faktora na DGD za umiren malouglijenični čelični lim (prema kriterijumu nastanka lokalizacije deformisanja, a za $\Psi_e = A\sigma^n$)



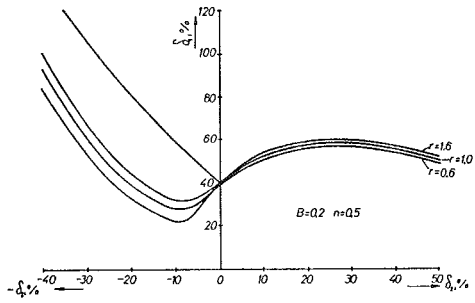
Sl. 9. Uticaj n-faktora na DGD (eksperimentalni rezultati)



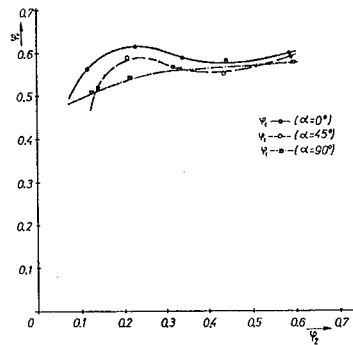
Sl.10. Uticaj r-faktora na DGD (prema hipotezi Marciniak-a)



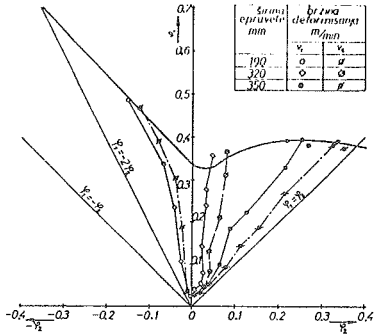
Sl.12. Uticaj r-faktora na DGD (eksperimentalni rezultati)



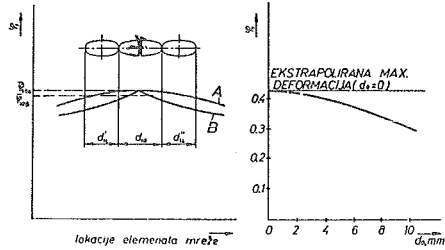
Sl.11. Uticaj r-faktora na DGD (prema kriterijumu lokalizacije deformisanja)



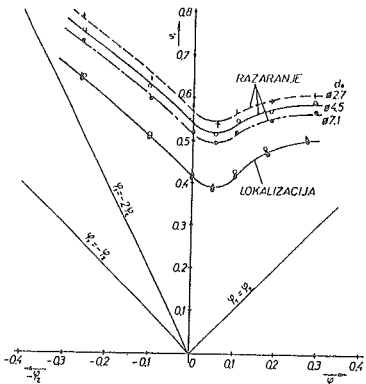
Sl.13. Uticaj orijentacije anizotropnog lima (od malouglijeničnog čelika, umirenog aluminijumom) na DGD



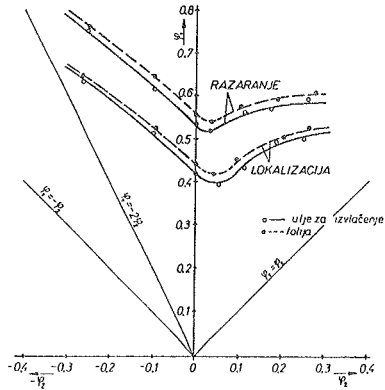
Sl.14. Uticaj promene brzine deformisanja od $v_1 = 1$ m/min do $v_2 = 11$ m/min na DGD i putanje deformisanja



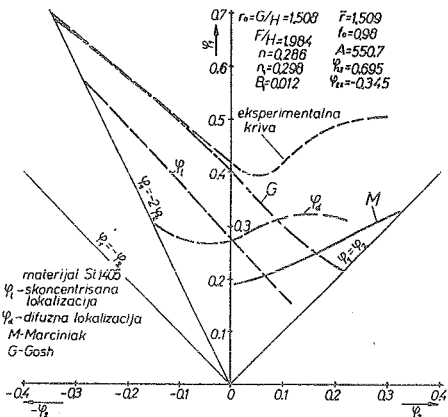
Sl.15. Šema uticaja deformacionog gradijenta i krupnoće merne mreže na veličinu registrovane deformacije



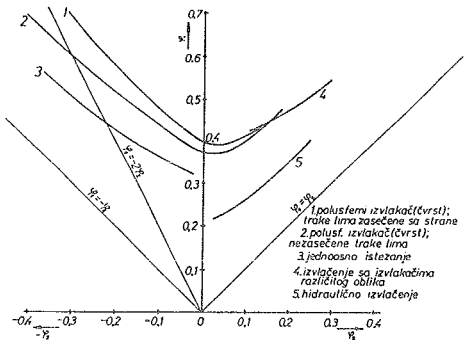
Sl.16. Uticaj krupnoće elemenata merne mreže na DGD (umiren čelični lim za duboko izvlačenje; debljina 0,92 mm)



Sl.17. Uticaj vrste maziva na DGD (umiren čelični lim za duboko izvlačenje; deblj. 0,92 mm; $d_0 = 4,5$ mm)



Sl.18. Uporedni prikaz eksperimentalnog i teorijskih DGD dobijenih različitim postupcima



Sl.19. DGD dobijeni različitim eksperimentalnim postupcima (umiren čelični lim za duboko izvlačenje; debljine 1 mm; $d_0 = \varnothing 4,5$ mm)

traka lima (ili kružnih ploča) sa prethodno izradjenim različitim bočnim zasecima; 2) izvlačenje polusfernim čvrstim izvlakačem nezasečenih traka različite širine; 3) jednoosno istezanje nezasečenih i zasečenih traka; 4) izvlačenje izvlakačima različitog oblika; 5) hidraulično izvlačenje (samo za desnu stranu dijagrama).

Na sl.19. je dat uporedni prikaz ovako dobijenih krivih [3].

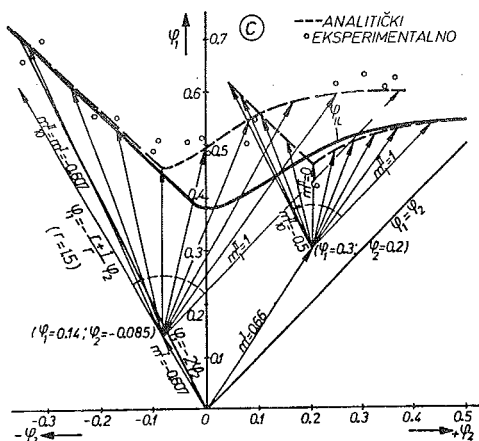
Uticaj istorije deformisanja. Koristeći hipotezu o dekoheziji mikrostrukture materijala u toku deformisanja do njenog kritičnog iznosa, može se definisati koeficijent iskorišćenja plastičnosti:

$$q = \int_0^{\varphi_e} \frac{d\varphi_e}{\varphi_{eg} [\beta(\varphi_e)]}$$

gde su: φ_{eg} -granična vrednost deformacije;
 β - pokazatelji naponske šeme na kritičnom mestu; $\beta = \sigma_m / \sigma_e$ (σ_m -srednji-, σ_e -ekvivalentni napon)

U kritičnom trenutku bilo bi $q = 1$.

Na sl. 20. prikazan je primer dijagrama koji je dobio autor za slučaj dvofaznog deformisanja (za $m^I = +0,66$ i $m^{II} = -0,607$), pri čemu je zadovoljen uslov $q^I + q^{II} = 1$.



Sl. 20. Primer DGD za različite putanje deformisanja (dve faze)

LITERATURA

- [1] Marciniak Z., Kuczynski K., Pokora T.: "Influence of the Plastic Properties of a Material on the Forming Limit Diagram for Sheet Metal in Tension"; Int. J. Mech. Sci.; 15/1973; pp. 789-805.
- [2] Hasek V.: "Über den Formänderungs- und Spannungszustand beim Ziehen von grossen unregelmässigen Blechteilen"; Ver. W.Girardet; Essen; 25/1973.
- [3] Hasek V.: "Anwendung von Grenzformänderungsschaubildern; Tiefziehen; 99, N^o 20; 1977; S. 343-347.

- |4| Hasek V.: "Untersuchung und theoretische Beschreibung wichtiger Einflussgrößen auf das Grenzformänderungsschaubild", Blech, Rohre, Profile; 5,6,8,10/1978.
- |5| Devedžić B.: "Difuzna i nagla lokalizacija pri izvlačenju delova od lima i njen značaj"; Obrada Def. u Maš.; 2/1976; Novi Sad; Str.2-26.
- |6| Drewes J., Henning H., Pape R, Wrede W.: "Praxisnahe Versuche zur Kennzeichnung der Umformbarkeit von Tiefziehstählen", Hoesch Ber.; 1/72; S.26-36.
- |7| Woodthorpe J., Pearce R.: "The effect of r and n upon the forming limit diagrams of sheet steel"; Sheet Met. Ind.; Dec. 1969; pp.1061-1067.
- |8| Haberfield A., Boyles M.: "Laboratory determined forming limit diagrams"; Sheet Met. Ind.; July 1973, pp. 400-405.
- |9| Venter D., Malherbe M.: "Theoretical estimate of the Keeler-Goodwin formability curve"; Sheet Metal Ind., Sept. 1971,pp.656-658.
- |10| Korhonen A.: "Work-hardening and formability of austenitic stainless steel-sheets"; Sheet Met. Ind., May 1978, pp. 598-606.
- |11| Hiam J., Lee A.: "Factors influencing the forming-limit curves of sheet steel"; Sheet Met. Ind., May 1978; pp.631-641.
- |12| Drewes J., Lenze F.: "Kaltumformung von Blechen"; Hoesch Ber., 1/86; S. 13-21.
- |13| Drewes J., Martini A.: "Einfluss der Umformgeschwindigkeit auf die Grenzformänderungen und die Formänderungsverteilung von Feinblech"; Arch. Eisenhüttenwes; 47/1976, März, N^o 3; S.167-172.
- |14| B. Devedžić, M. Stefanović: "Effects of the Friction and Deformation Path on Strech - Formability of Sheet Metal", 2nd Int. Conf. on Technology of Plasticity, Stuttgart; 1987.
- |15| Hasek V.: "An Evaluation of the Applicability of theoretical Analyses to the Forming Limit Diagram", Fracture; Vol 2; ICF4; Watrloo; Canada; June; 1977; pp. 475-481.

21. SAVJETOVANJE PROIZVODNOG STROJARSTVA JUGOSLAVIJE, OPATIJA, 1987.

EKSPERIMENTALNA METODA ZA UGOTAVLJANJE KRIVULJE MEJNIH DEFORMACIJA
SREDNJE DEBELE PLOČEVINE

EKSPERIMENTAL METHOD FOR DETERMINATION OF FORMING LIMITS CURVES
FOR MIDDLE THICK SHEET METAL

J. Pipan Fakulteta za strojništvo, Univerza "E. Kardelj"
61000 Ljubljana Jugoslavija

J. Kadivnik DO TAM, Tovarna avtomobilov
62000 Maribor, Jugoslavija

Ključne besede: Izvleček: V prispevku je podana metoda merjenja krivulj mejnih deformacij srednje debele pločevine s pomočjo grafometrične analize deformacij. Podana je primerjava krivulje mejnih deformacij dobljene z direktnim merjenjem obeh glavnih deformacij v ravnini pločevine in krivulje dobljene na osnovi merjenja manjše od deformacij v ravnini ter deformacij v smeri debeline pločevine.

Pločevina
Preoblikovalnost
Grafometrična analiza
Mejne deformacij

Key words: ABSTRACT: A method of measuring the forming limit diagram (FLD) of middle thick sheet metal is presented. The suggested experimental procedure is similar to that, most common used in case of thin sheet metal respecting same specialities that were found out during experiments. To avoid mistakes due to strain gradient an indirect method of measuring the largest of two deformations in plane of Graphometrical analysis sheet is suggested, that is by measuring thickness deformation.

Sheet metal
Formability
Measuring network
Limiting deformations

1. Uvod

Krivulja mejnih deformacij (KMD), ki sta jo prva podala Keeler /1/ in Goodwin /2/, se je v tehnološko naprednih sredinah uveljavila kot pomemben pripomoček pri optimiranju postopkov preoblikovanja pločevine zlasti, kadar gre za geometrijsko zahtevnejše preoblikovance. Na osnovi poznane KMD uporabljene pločevine in deformacij izmerjenih na najbolj kritičnem delu vlečenca je možno ugotoviti koeficient izkoristka plastičnosti, ki predstavlja, razmerje med največjo doseženo in mejno deformacijo v ravnini pločevine /3/. V odvisnosti od velikosti tega izkoristka so možni različni ukrepi v smislu optimiranja preoblikovalnega procesa, kot: uporaba manj (ali bolj) kvalitetne pločevine, sprememba preoblikovalnih pogojev, konstrukcijske spremembe /4/.

Pomen, ki ga je dala slutiti KMD na področju optimiranja izrabe preoblikovalnih sposobnosti pločevine, je vspodbudil številne avtorje k teoretičnemu proučevanju KMD, iskanju najustrežnejših eksperimentalnih metod ugotavljanja KMD ter proučevanju vpliva različnih preoblikovalnih pogojev na velikost mejne deformacije.

Poteki KMD različnih materialov so v osnovi podobni poteku v prikazanem na sliki 1, dosedanje raziskave pa so pokazale, da vplivajo nanje že poznani parametri materialov kot eksponent utrjevanja n in faktor normalne plastične anizotropije R , poleg tega pa tudi potek deformacije.

Danes so poznane različne metode ugotavljanja KMD:

- teoretična metoda, na osnovi poznanih vrednosti n in R ,
- eksperimentalna metoda, na osnovi merjenja deformacij φ_1 in φ_2 v ravnini pločevine ob mestu lokalne kontrakcije oz. porušitve.

Do sedaj dobljeni rezultati kažejo /5, 6, 7, 8/, da ležijo teoretične krivulje znatno nižje od eksperimentalnih. Eksperimentalno ugotovljene KMD še vedno veljajo kot zanesljivejša ocena preoblikovalnosti pločevine medtem, ko imajo teoretične krivulje bolj kvalitativni pomen. Predlagana je tudi kombinacija teoretičnega in eksperimentalnega pristopa, pri katerem je na osnovi eksperimenta določena lega, teoretično pa oblika poteka KMD /7/.

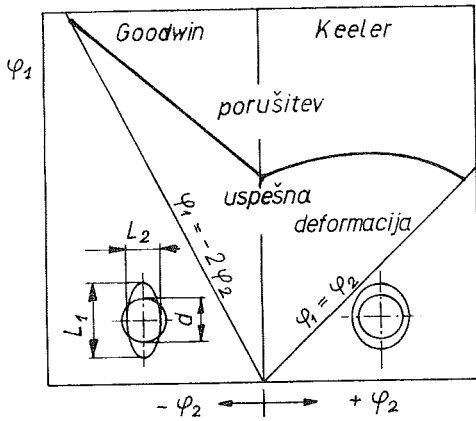
Podatki o postopkih eksperimentalnega ugotavljanja KMD, ki jih je mogoče zaslediti v literaturi, se nanašajo na merjenje KMD tanke pločevine debele približno 1 mm. V zadnjem času pa se je pojavil interes za primerjalno analizo preoblikovalnosti z uporabo grafometrične metode tudi za srednje debelo pločevino ($s = 2$ mm do 3 mm).

V sklopu sodelovanja FS Ljubljana in DO TAM pri uvajanju grafometrične metode v industrijsko prakso je bila že nabavljena oprema za elektrokemično nanašanje koordinatnih mrež (EI Niš), izdelano pa je bilo tudi eksperimentalno orodje za vlečenje trakov različnih širin debeline do 1,5 mm preko polkroglastega pestiča /8/. V pričujočem prispevku so podani rezultati poizkusov, da bi obstoječo opremo z minimalno potrebno predelavo uporabili tudi za eksperimentalno ugotavljanje KMD srednje debele pločevine.

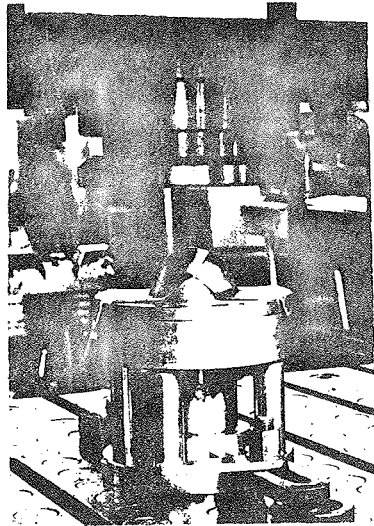
2. Preizkus vlečenja trakov preko polkroglastega pestiča

Glede na povečano debelino pločevine je bilo potrebno za obstoječe eksperimentalno orodje izdelati novo matrico z ustrežno zračnostjo in večjim radijem vlečnega roba, zaradi povečanja sile vlečenja pa je bilo potrebno zagotoviti tudi zadostno silo pridržavanja v prirobnici. Orodje je bilo zato prirejeno za montažo na razpoložljivo hidravlično stiskalnico z maksimalno silo pridržavanja 1200 kN, kot dodatno varovanje proti spodrsavanju pa služi zavih preko zunanjega roba držala pločevine (slika 2).

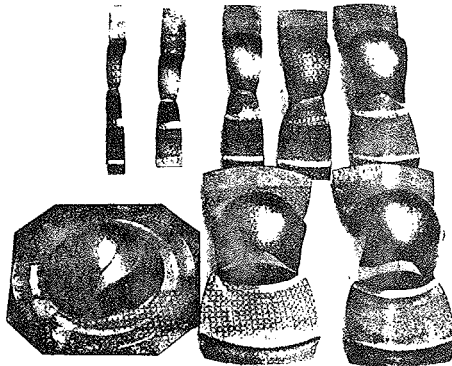
Prva serija preizkusov vlečenja trakov različnih širin od 60 mm do 120 mm iz pločevine Č.0148 debeline 3 mm ni dala pričakovanih rezultatov zaradi pojava razpok na nepravem mestu, v neposredni bližini radija matrice. Nekoliko boljši je bil rezultat v primeru osnosimetričnega vlečenja, vendar je tudi tam prišlo do razpoke precej izven območja enakomernega dvoosnega raztezanja.



Slika 1: Diagram poteka krivulje mejnih deformacij (Keeler-Goodwin-ov diagram).



Slika 2: Eksperimentalno orodje za vlečenje trakov.



Slika 3: Preizkušanci izvlečeni s pestičem z radijem krogle 37,5 mm, mazanje z oljem za globoki vlek.

Z namenom, da bi kritično mesto, na katerem pride do pojava lokalne kontrakcije oz. razpoke pomaknili v smeri proti vrhu pestiča, kjer pride tudi do izrazitejšega vpliva širine traku na velikost deformacije φ_2 , so bili storjeni naslednji ukrepi:

- 1) Izmenljivi nastavek vlečnega pestiča z radijem krogle 50 mm je bil nadomeščen z nastavkom radija 37,5 mm in koničnim prehodom na premer 100 mm.
- 2) Zmanjšanje koeficienta trenja med pestičem in pločevino z uporabo teflonske folije namesto olja za globoki vlek.
- 3) Zožitev trakov v osrednjem delu.

Učinki navedenih ukrepov so prikazani na slikah 3, 4 in 5.

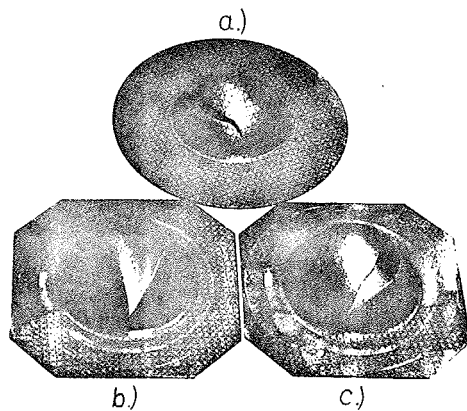
3. Merjenje mejnih deformacij

Točka krivulje mejnih deformacij je definirana z vrednostima obeh glavnih deformacij v ravnini pločevine na mestu, kjer večja od obeh doseže tisto maksimalno vrednost, ki jo je še mogoče smatrati kot usšeno deformacijo. V področju negativnih vrednosti deformacije φ_2 je to zgornja meja difuzne kontrakcije /9/, ki jo je mogoče izmeriti ob robu lokalne kontrakcije, v področju dvoosnega raztega pa je to začetek difuzne kontrakcije. Ugotavljanje teh deformacij sloni na merjenju deformacij koordinatne mreže krogov nanešene na površino še nedefimirane pločevine. Ti krogi se v splošnem deformirajo v elipse, katerih osi ležijo v smeri glavnih deformacij, vrednosti obeh deformacij na opazovanem mestu pa se računa na osnovi razmerja med dolžino osi elipse in premerom kroga:

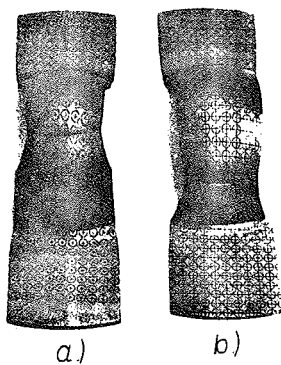
$$\varphi_1 = \ln \frac{L_1}{d} \quad , \quad \varphi_2 = \ln \frac{L_2}{d} \quad . \quad (1)$$

Zaradi gradienta deformacije φ_1 v območju merjenja elipse pa na ta način ni mogoče izmeriti dejanskih vrednosti prav na robu vidne brazde, ki predstavlja lokalno kontrakcijo, ampak samo neko približno srednjo vrednost znotraj dolžine L_1 . Rezultirajoča sistematska napaka zavisi pri tem od gradienta deformacije in dolžine elipse. Na velikost gradienta deformacije vplivajo različni faktorji kot material, oblika orodja, trenje, oblika preizkušanca, razmerje med debelino pločevine in radijem krogle. Medtem ko so možnosti zmanjšanja gradienta deformacije v okviru danega eksperimentalnega postopka omejene na zmanjševanje koeficienta trenja in izbiro vlečnega pestiča s čim večjim radijem krogle, se v primeru tanke pločevine priporoča uporaba koordinatne mreže s čim manjšimi premeri krogov, kar pa ima tudi smiselne meje glede na natančnost merjenja dolžin. Iz navedenih razlogov se najpogosteje uporabljajo mreže s krogi premerov od 2 mm do 5 mm.

Napaka meritve zaradi gradienta deformacije φ_1 pride še bolj do izraza v primeru merjenja KMD srednje debele pločevine, kar je pripisati večjemu razmerju med debelino pločevine in radijem krogle na pestiču. Po drugi strani pa je mogoče pri teh območjih debelin dovolj točno direktno izmeriti deformacijo debeline že z običajnim mikrometrskim vijakom s primerno oblikovanima tipaloma. Glede na to se v primeru srednje debele pločevine ponuja možnost doščanja deformacije φ_1 na osnovi izmerjene deformacije φ_2 in deformacije v smeri debeline φ_3 , z upoštevanjem konstantnosti volumna:



Slika 4: Pojav razpok pri različnih pogojih osnosimetričnega vleka:
a) Radij krogle na pestiču 50 mm, mazanje z oljem za globoki vlek.
b) Radij krogle na pestiču 37,5 mm, mazanje s teflonsko folijo.
c) Radij krogle na pestiču 37,5 mm, mazanje z oljem za globoki vlek.



Slika 5: Položaj razpoke v odvisnosti od oblike preizkušanca:
a) Trak širine 60 mm, ki je v sredini zožen na 48 mm.
b) Raven trak širine 60 mm.

$$\varphi_1 = -\varphi_2 - \varphi_3, \quad (2)$$

$$\varphi_3 = \ln \frac{S}{S_0}. \quad (3)$$

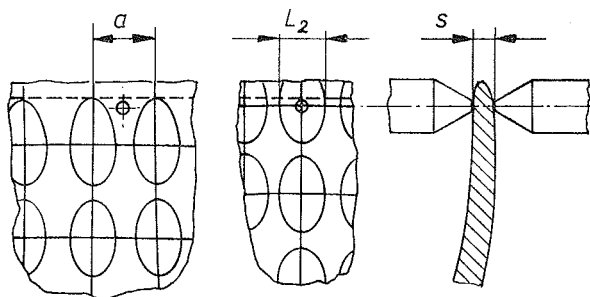
Tudi pri tem načinu še vedno obstaja možnost napake zaradi gradienta deformacije v smeri glavne deformacije φ_2 , ki pa je vsaj v bližini simetralne preizkušanca zanemarljiva.

Deformacijo φ_2 na izbranem mestu je možno meriti na osnovi enačbe (1) samo v primeru, če je to mesto istočasno tudi središče elipse. V splošnem pa je bolj uporabno merjenje deformacije φ_2 na osnovi spremembe razdalje med sosednjima neprekinjenima linijama koordinatne mreže. Pri tem načinu merjenja je potrebno upoštevati še pogoj, da potekajo ravne linije v smeri glavne deformacije φ_1 , kar je razvidno tudi iz smeri elipse. Opisani način merjenja je prikazan na sliki 6, na sliki 7 pa je prikazana primerjava KMD pločevine Č.0148 debeline 3 mm izmerjenih po direktni in indirektni metodi.

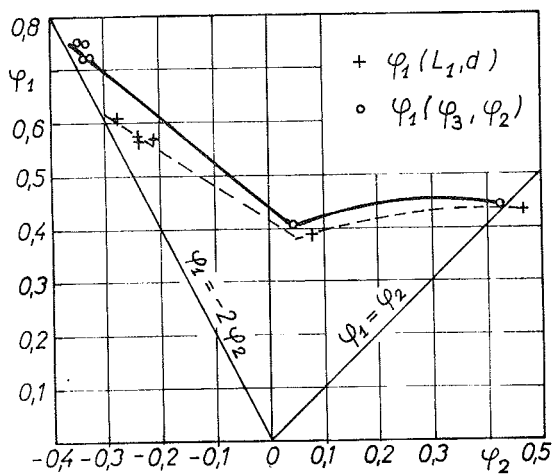
4. Zaključek

V prispevku so podane praktične izkušnje, dobljene pri iskanju ustrezne eksperimentalne metode ugotavljanja KMD srednje debele pločevine. Ker je bilo zaradi racionalnosti uporabljeno isto eksperimentalno vlečno orodje kot za tanko pločevino, ni bila ohranjena geometrijska podobnost preoblikovalnega procesa. Predvsem zaradi tega so bili potrebni nekateri ukrepi s pomočjo katerih je bilo doseženo ^{ustrezno} deformacijsko stanje. Pri vlečnem preizkusu se je izkazalo kot zelo učinkovito mazanje s teflonsko folijo, neobhodna za nastanek lokalne kontrakcije oz. porušitve v območju vrha vlečnega pestiča pa je oslabitev srednjega dela traku. Za izdelavo najpriklnejši so se pokazali krožni izseki, ki jih je mogoče izdelati na univerzalnem orodju.

Uporaba posredne metode merjenja deformacije φ_1 (z merjenjem deformacije debeline in druge glavne deformacije v ravnini pločevine) omogoča eliminacijo napake zaradi gradienta deformacije φ_1 na kritičnem mestu. Poleg tega se pri določanju mesta merjenja deformacij ni potrebno ozirati na lego krogov koordinatne mreže, zaradi česar je manjše tudi trosenje merilnih rezultatov. Ker je pri posredni metodi merjenja omogočeno ugotavljanje mejne deformacije v točki tik ob robu lokalne kontrakcije, leži tako dobljena KMD nekoliko višje od krivulje izmerjene po direktni metodi. To potrjuje tudi položaj obeh KMD na sliki 7.



Slika 6: Princip merjenja deformacij φ_2 in φ_3 na robu lokalne kontrakcije.



Slika 7: Krivulji mejnih deformacij pločevine Č.0148 debeline 3 mm dobljeni:

- Z direktnim merjenjem deformacij φ_1 in φ_2 v ravnini pločevine
- Indirektno, na osnovi merjenja deformacij φ_2 in φ_3 .

Literatura

- /1/ S.Keeler: Determination of Forming Limits in Automotive stampings Sheet Met.Ind.IX/65.
- /2/ Goodwin G.M.: Application of strain analysis to sheet metal forming problems.Metalurg. Ital.60(1968).
- /3/ Devedžić M.B.: Problematika granična deforambilnosti složenih otpreska od lima i njeni savremeni teorijsko-eksperimentalni aspekti. IX.Savjetovanje proizvodnog mašinstva,Niš,7¹.
- /4/ Gologranc F.: Eksperimentalno teoretična analiza deformacij in opredelitev preoblikovalnosti tanke pločevine. Strojniški vestnik Ljubljana, 1979/11-12.
- /5/ Haring A., Horvat Z., Kadivnik J.: Grafometrična analiza preoblikovalnih sposobnosti tankih pločevin z uporabo krivulje mejnih deformacij. Strojniški vestnik 1981/7-9.
- /6/ Kadivnik J.: Uporaba grafometrične metode pri komparativni analizi preoblikovalnosti tanke pločevine za izdelavo velikih karoserijskih delov.Magisterij.F.S.UEK Ljubljana,82.
- /7/ Devedžić M.B.: Racionalizacija postopka odredživanja realnog položaja krive granične deformabilnosti pri izvlačenju delova od lima. Naučno stručni skup "Obrada deformisanjem Banja Luka, 1977.
- /8/ Gologranc F.: Identifikacija preoblikovalnosti tanke pločevine, 3.delšt.B-782/2154-80, str. 46-118? Ljubljana, 1980.
- /9/ Devedžić M.B.: Difuzna i nagla lokalizacija deformisanjem pri izvlačenju delova od lima i njen značaj. Obrada deformisanjem u mašinstvu br.2, Novi Sad 1976.

21. SAVETOVANJE PROIZVODNOG STROJARSTVA JUGOSLAVIJE, OPATIJA 1987.

PRILOG ISTRAŽIVANJU DEFORMACIONOG OTPORA KOD KOVANJA U ZAVISNOSTI OD RAZNIH UTICAJNIH FAKTORA SA POSEBNIM OSVRTOM NA OBLIK PRIPREMKA

BEITRAG DER FORSCHUNG DES VERFORMUNGSGWIDERSTANDES BEIM SCHMIEDEN, IN ABHANGIGKEIT VON VERSCHIEDENEN EINFLUSSFAKTOREN, MIT BESONDERER RUCKSICHT AUF DIE ROHLINGSFORM

Lj. Bogdanov

RO ZA NAUČNOISTRAŽIVAČKU I RAZVOJNU DELANOST
INSTITUT „EDVARD KARDELJ“ 18000 NIŠ – Jugoslavija

Ključne reči:

kovanje
deformacioni otpor
oblik priprema
ojačavanje

SAŽETAK: U radu su date promene specifičnog deformacionog otpora u zavisnosti od stepena i brzine deformacije, kao i temperature, sa posebnim osvrtom na oblik priprema. Posebna pažnja je posvećena njegovim vrednostima na početku i kraju kovanja, a i određivanju uslova za postavljanje matematičkog modela za proračun. Cilj identifikacije promene specifičnog deformacionog otpora je postavljanje određene proporcionalnosti između otpora i napona tečenja u gravuri alata u pravcu dejstva sile, sa ciljem definisanja geometrijskih veličina gravure alata za tečenje viška materijala.

Hauptfachwörter:

Schmieden
Verformungswiderstand
Rohlingsform
Starkung

ZUSAMMENFASSUNG: In der Arbeit sind die Änderungen des spezifischen Verformungswiderstandes, in Abhängigkeit vom Grad und der Geschwindigkeit der Verformung, sowie von der Temperatur, mit der besonderen Rücksicht auf die Rohlingsform, gegeben worden. Besondere Aufmerksamkeit wurde den Werten dieses Einsatzmaterials am Anfang und Ende des Schmiedeverfahrens und der Bestimmung der Bedingungen zur Festlegung des mathematischen Berechnungsmodells, gewidmet. Zweck der Identifizierung der Änderung des spezifischen Verformungswiderstandes ist das Feststellen der bestimmten Proportionalität zwischen dem Fließwiderstand und der Fließspannung in der Gesenkgravierung in Richtung der Kraftwirkung, mit dem Ziel, die geometrischen Größen der Gesenkgravierungen für das Fließen des Materialüberschusses zu definieren.

1. Uvod

Osnovni faktori koji utiču na otpor deformacije — ojačavanja i razojačavanja — zavise od svojstva materijala i uslova deformacije.

Na ponašanje specifičnog deformacionog otpora utiču faktori povezani sa osobinama materijala, i to: hemijski sastav, zagrejanost nemetalnih uključaka, fazno stanje, energija defekata kristalnih rešetki, veličina zrna i dr.

Deformacioni otpor povećava se sa uvećanjem sadržaja rastvorenih uključaka, njihovo prisustvo u fazi i rasporeda u strukturi.

Proces kovanja sa aspekta kontrolisanosti specifičnog deformacionog otpora treba započeti i završiti u jednofaznom području a to je austenit. Ako su prisutne druge faze ili uključci, specifični deformacioni otpor podleže promenama.

Uvećanje prečnika zrna izaziva promenu specifičnog deformacionog otpora zbog prirode tečenja materijala pri oblikovanju.

Deformacioni otpor livene strukture čini 0,7–0,95 od ostvarene vrednosti strukture posle deformisanja. Karakter krivih tečenja u oba slučaja u suštini je isti. Razlike u apsolutnim vrednostima nastaju i objašnjavaju se nejednorodnom strukturom i veličinom zrna, a takođe i orijentacijom kristalnih zrna u odnosu na pravac napona. Livena struktura razojačava sporije nego obrađena deformacijom.

Sa povećanjem brzine deformacije deformacioni otpor i brzina ojačavanja rastu prema zakonu stepene funkcije.

Vrednost deformacionog otpora, sa aspekta naponskog stanja, zavisi od ekvivalentnih vrednosti napona, stepena deformacije, brzine deformacije i karaktera tečenja pri oblikovanju u vrućem stanju.

2. Uticajni faktori uslovljeni tehnološkim procesom

Važni tehnološki faktori od uticaja na karakter ojačavanja i razojačavanja pri obradi u vrućem stanju su: temperatura deformacije, brzina deformacije, stepen deformacije, parcijalnost deformacije i trajanje međudeformacionih pauza.

Ovi faktori mogu biti matematički određeni i ocenjeni za konkretni hemijski sastav ili za strukturno stanje materijala sa veoma visokom tačnošću. Suštinski uticaj na karakter ojačavanja i razojačavanja ima i šema naponskog stanja deformišućeg materijala. Dati jednoznačne zaključke o karakteru ojačavanja i razojačavanja u tehnološkom procesu obrade deformisanjem prema laboratorijskim rezultatima ispitivanja ponekad je i nepouzdan. U proizvodnim uslovima stvara se višeosno naponsko stanje pri čemu se posmatra različiti karakter raspored temperaturnog polja, stepena i brzine deformacije po poprečnom preseku, kao i dužine pripremla.

3. Model za identifikaciju deformacionog otpora

Mehaničke karakteristike materijala – specifični deformacioni otpor (K), zatezna čvrstoća (σ_m), maksimalno jedinično izduženje (ϵ_m) – uglavnom zavise od oblika i stanja materijala, brzine, stepena deformacije i temperature.

Ako se temperatura pripremla promeni za (Δt) pri sabijanju od $\epsilon = 0$; $\pm \epsilon_1$, tada se može, s obzirom na brzinu procesa, smatrati da se temperatura linearno menja u tom intervalu čime se čini zanemarljivo mala greška. Na bazi ovakve pretpostavke iz krive ojačavanja lako se dobija zakon promene specifičnog deformacionog otpora u funkciji od temperature. Za određene vrednosti temperaturnog intervala (Δt) dobija se veći broj grafičkih zavisnosti promene deformacionog otpora K u zavisnosti od temperature i stepena deformacije $K = K(\varphi, t)$.

Za određivanje specifičnog deformacionog otpora (K), primenom metode planiranja eksperimenta, izabran je matematički model funkcije cilja za izabrane uticajne faktore u obliku:

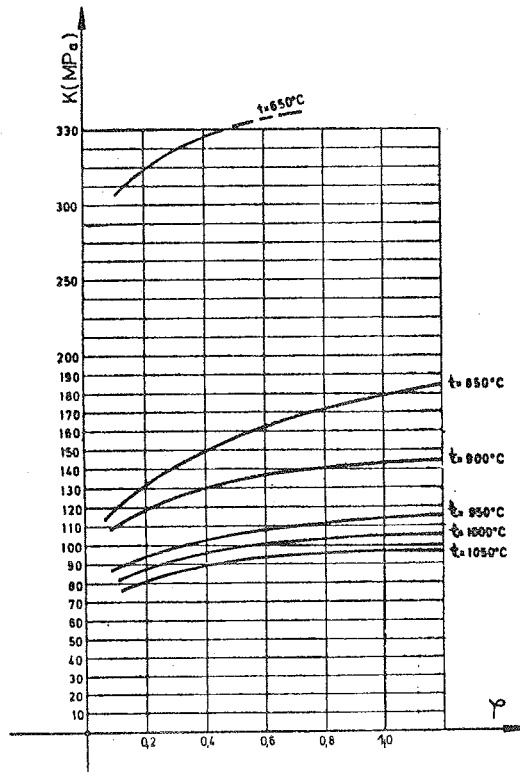
$$K = C \cdot \varphi^n \cdot t^m = K(\varphi, t) \dots \dots \dots (1)$$

Eksperimentalni podaci korišćeni su iz krivih ojačavanja za šest izabranih temperatura upotrebom eksperimentalnih rezultata istraživanja čelika za cementaciju Č.4320 (tabela 1, sl. 1).

Vrednosti specifičnog deformacionog otpora za Č.4320 u zavisnosti od stepena deformacije i temperature

Tabela 1.

	138	102	108			
1050						
$t^\circ C/\varphi$	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	$K_o = G_{02}$
650	312	340	355	360	363	280
850	138	152	161	170	178	105
900	198	130	135	139	141	100
950	95	102	108	110	112	81
1000	89	92	96	100	102	69
1050	82	88	90	90	91,5	65



Slika 1. Krive ojačavanja za Č.4320 na povišenoj temperaturi.

Za izabrane nivoe karakterističnih vrednosti (K), date u tabeli 1. uz uvođenje plana matrice faktornog eksperimenta i uvažavanje metodologije značajnosti koeficijenata regresije sa proverom adekvatnosti modela, dobijen je matematički izraz za vrednosti specifičnog deformacionog otpora u zavisnosti od stepena defromacije i temperature za Č.4320 u obliku:

$$K = 1,564 \cdot 10^{10} \cdot \varphi^{0,12364} \cdot t^{-2,716405} \dots \dots \dots (2)$$

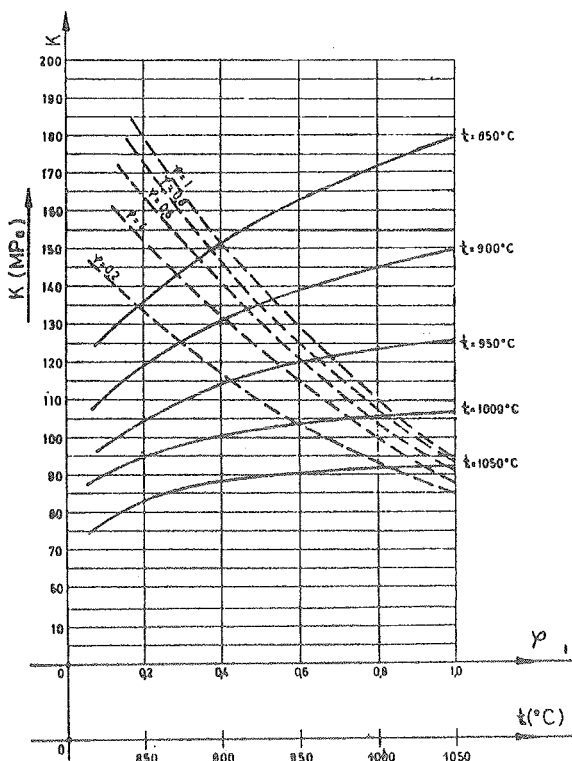
Za određene realne vrednosti temperature i stepena deformacije za izvođenje procesa kovanja sa računara uzete su vrednosti prema jednačini (2) i prezentirani u tabeli 2.

Vrednosti K prema jednačini (2)

Tabela 2.

t°C/ φ	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
1100	69,95	76,22	80,13	83,03	85,35
1050	79,38	86,48	90,23	97,22	96,85
950	104,18	113,50	119,34	123,67	127,12
900	120,66	131,46	138,22	143,22	147,23
850	140,22	153,53	161,43	167,27	171,95

Na osnovu vrednosti (K) iz table 2 nacrtan je dvojni dijagram zavisnosti specifičnog deformacionog otpora od stepena deformacije i temperature (slika 2).



Slika 2. Zavisnost specifičnog deformacionog otpora temperature i stepena deformacije.

Iz dijagrama (slika 2) može se zaključiti da priraštaj deformacionog otpora sa porastom stepena deformacije (φ) i padom temperature raste zbog prirode procesa kovanja, a priraštaj deformacionog otpora sa porastom temperature (ka gornjoj granici temperature kovanja) je veoma mali što i eksperiment potvrđuje.

Kod zapreminskog oblikovanja, ako se identifikuje određena proporcionalnost između napona tečenja, odnosno specifičnog deformacionog otpora uložnog materijala i maksimalnog napona koji treba izazvati u gravuri alata u pravcu dejstva sile i prema tom odnosu definisati geometrijske parametre alata za tečenje viška materijala (preko prelaznog mostića), onda su deformaciona sila i rad minimalni i postiže se kontrolisano tečenje materijala. Identifikacija specifičnog deformacionog otpora preciznije i bliže olakšava rešavanje problema kontrolisanog tečenja materijala za razne oblike priprema.

3.1. Eksperimentalna istraživanja i verifikacija ponašanja deformacionog otpora u zavisnosti od oblika priprema

Promena specifičnog deformacionog otpora korišćenjem raznih oblika poprečnog preseka priprema primечena je u praksi pri kovanju istog otkovka od materijala kružnog, kvadratnog ili pravougaonog preseka. Ovaj fenomen se može proučavati sa aspekta nejednorodnosti materijala po preseku, uticaja kontaktnog trenja sa korišćenjem oblika priprema čiji je oblik projekcione površine što manji ili teži ka minimalnom obliku – krugu.

Interesantno je uporediti rezultate ispitivanja mehaničkih osobina materijala Č.4320 dimenzije $\varnothing 24$, od kojeg su urađene standardne epruvete za kidanje iz iste šipke (prečnik epruvete $\varnothing 20$ i $\varnothing 12$ mm). Rezultati ispitivanja dati su u tabeli 3.

Mehaničke karakteristike Č.4320 pri kidanju, epruvete Ø 20 i Ø 12 mm.

Tabela 3.

Red. broj	d_o mm	A_o mm ²	L_o mm	L_1 mm	F_y (kN)	F_m (N)	σ_v (MPa)	σ_m MPa	δ_s %	ψ %	d_1 mm	A_1 mm ²
1	Ø 20	314	100	125,5	148	195,1	471	621	25,5	63,4	12,1	114,9
2	Ø 12	113	60	78	58	69	495	611	30,0	64,0	7,2	40,7

Iz tabele se može uočiti da granica razvlačenja σ_v koja je bliska granici tečenja pokazuje razliku 4,2%, granica kidanja 1,6% a izduženje 17,6%, kao merilo plastičnosti materijala.

Dalja istraživanja imala su za cilj da se identifikuje uticaj oblika priprema na veličinu deformacionog otpora, tj. njegovu promenu u odnosu na osnosimetrični oblik (krug).

U tom cilju korišćen je materijal Al, Cu, Mg, Pb Ø 42—din 1725/1, ($\sigma_m = 437$ MPa, $\sigma_{02} = 306$ MPa, $\delta_s = 13,3\%$).

Urađeno je pet različitih uzoraka prema poprečnom preseku sa jednakim površinama preseka $A = 90$ mm². Odnos dužine priprema prema maksimalnoj meri preseka (okrugli, cevasti, kvadratni, pravougaonik, dva kruga) je: $L_o/D_o = 1,4$.

Rezultati ispitivanja dati su u tabeli 4.

Tabela 4. — Vrednosti sile sabijanja za određenu vrednosti ΔH /mm/

Oblik pripr.	$(KN)/\Delta H$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
krug P_1		340	400	450	490	510	530	550	580	595	605	615	640	680	690	708	710	prs.
cev P_2		385	400	420	455	485	500	508	525	535	555	565	585	598	600	prskotina		
kvadrat P_3		300	380	410	450	490	505	520	555	585	600	608	640	680	prskotina			
pravougaonik P_4		250	290	300	310	340	375	395	405	420	460	500	515	550	600	620	680	730
dva kruga P_5		350	445	500	535	560	598	615	650	690	725	780	805	810	prskotine			

Prve prskotine pod uglom od 45° u odnosu na osu dejstva pravca sile pojavile su se kod stepena sabijanja (deformacije) i to:

$$\epsilon_1 = 33,3\%, \epsilon_2 = 23,78\%, \epsilon_3 = 64,5\%, \epsilon_4 = 38,2\%, \epsilon_5 = 38,2\%$$

Korišćenjem rezultata ispitivanja iz tabele 4 mogu se odrediti parametri značajni za porast deformacionog otpora u zavisnosti od oblika priprema (tabela 5).

Tabela 5.

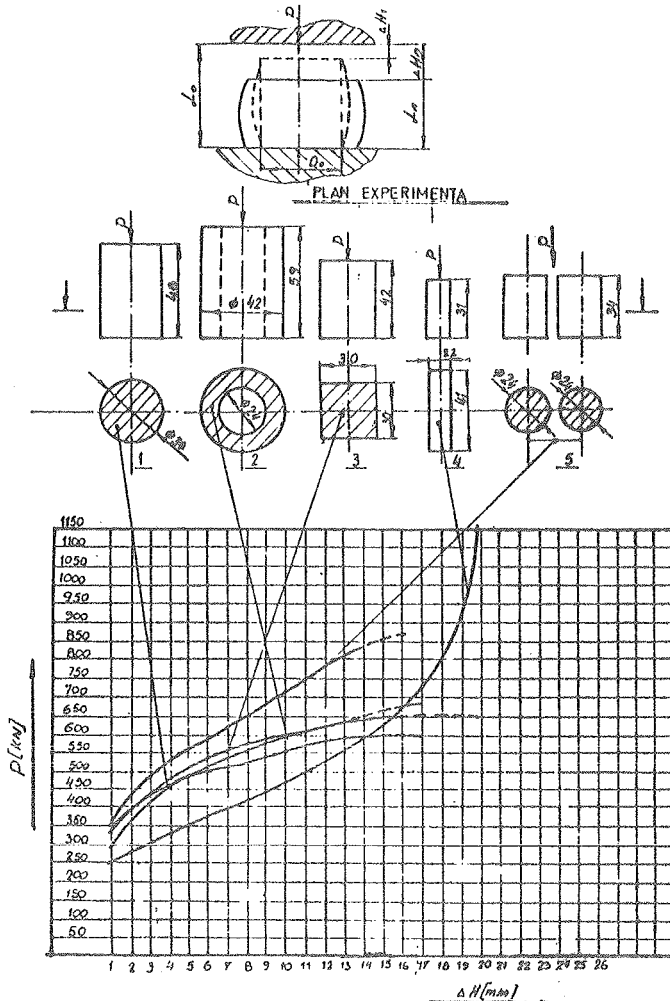
Robometar	Krug	Indeks 100	Vrsta priprema (oblik poprečnog preseka)								
			Cev	%	Kvadrat	%	Pravougaonik	%	Dva kruga	%	
P_{prsk}			1,74		2,27		4,60		2,31		
P_1											
$\epsilon_{prsk}\%$		33,3	23,7		30,9		64,5		38,2		
K_1 (MPa)		378	100	383	+1,3	333	-12	278	-26	389	+2,9
K_2 (MPa)		789	100	667	-1,5	756	-4	1278	+62	900	+14
K_2/K_1		2,09		1,74		2,27		4,60		2,31	
0 (mm)		107		132/75		120		126		151	

- Oznake: Pprs (kN) sila sabijanja u momentu pojave prskotine
 P_1 (kN) sila pri apsolutnom sabijanju od $H = 1$ mm
 ΔH (mm) apsolutna veličina sabijanja po visini
 P_i (kN) sile sabijanja za razne oblike
 ϵ_1 — stepen sabijanja
 K_1 (MPa) — specifični deformacioni otpor sabijanja pri apsolut. sabijanju $\Delta H = 1$ mm
 K_2 (MPa) — specifični deformacioni otpor sabijanja u momentu pojave prskotine.

Promena specifičnog deformacionog otpora izrazita je kod oblika složenih poprečnih preseka što i istraživanja potvrđuju. Kod proračuna sile i deformacionog rada o ovim uticajnim faktorima mora se voditi računa.

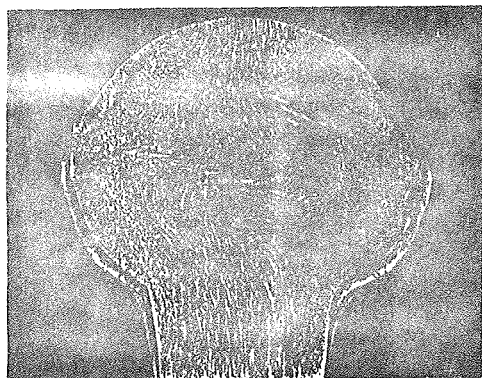
U današnje vreme energija je veoma skupa i za optimalno određivanje deformacione sile i deformacionog rada u procesima kovanja na čekićima, presama, automatskim linijama a naročito na fleksibilnim linijama tačna identifikacija specifičnog deformacionog otpora je od izuzetnog značaja.

Na bazi rezultata ispitivanja iz tabele 4 data je zavisnost sile sabijanja od veličine apsolutnog sabijanja (sl. 3).



Slika 3. Zavisnost sile sabijanja od vrednosti apsolutnog sabijanja za prikazane oblike.

U savremeno konstruisane mašine, vozila, energetska postrojenja i dr. ugrađuju se delovi za koje su zahtevi u pogledu dinamičke izdržljivosti, pouzdanosti i dr. veoma izraženi, pa se u procesu kovanja mora obezbediti kontrolisano tečenje viška materijala za dobijanje pravilnog toka vlakana na otkovku, što je garancija povišenog kvaliteta. Na slici 4a dat je makrosnimak uzorka sa nekontrolisanim tokom vlakana i makrosnimak sa kontrolisanim tokom valakana (sl. 4b) uvažavajući rezultate istraživanja za identifikaciju specifičnog deformacionog otpora materijala otkovka.



Sl. 4a

Makrosnimak za nekontrolisanim tokom vlakana



Sl. 4b

Makrosnimak sa kontrolisanim tokom vlakana

ZAKLJUČAK

Složenost procesa kovanja, višebrazni oblici otkovaka, otežano istraživanje procesa i dr. uslovi zahtevaju da se uvede pojam „srednja vrednost specifičnog deformacionog otpora“. Postojeća teorijska rešenja odnose se na proste oblike (osnosimetrični, pravougaoni, kvadratni, cevasti i dr.) a korišćenje savremenih matematičkih metoda i računara zahteva dosta vremena i novca za rešavanje problema.

Zbog složenosti matematičkog modela na računaru dozvoljavaju se razne korekcije pa se mogu zanemariti važna svojstva istraživačkog procesa i dobiće se približna rešenja. Zato je potrebna korektura rezultata od strane iskusnog tehnologa kovanja.

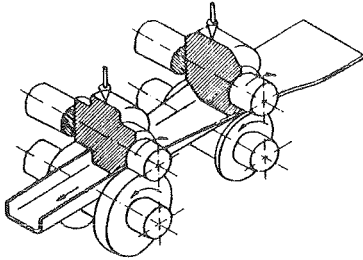
Korišćenjem metoda planiranja eksperimenta mogu se dobiti empirijske formule, tabele, dijagrami i dr. za identifikaciju specifičnog deformacionog otpora za proračun sile, deformacionog rada i dr. parametara za obavljanje procesa kovanja.

Oblik priprema i te kako utiče na promenu specifičnog deformacionog otpora i oblici sa većim obimom projekcije površine povećavaju srednji specifični deformacioni otpor, a samim tim remeti se kontrolisano tečenje materijala u gravuri kovačkog kalupa. Kovanje se javlja statistički kao nestabilan proces, jer mnogi parametri nisu isti za isti oblik otkovka i dimenzije već se ponašaju prema zakonu verovatnoće. Zato rezultate ispitivanja iz teorijske analize i eksperimentalnih istraživanja treba podvrći analizi i logičnom zaključku.

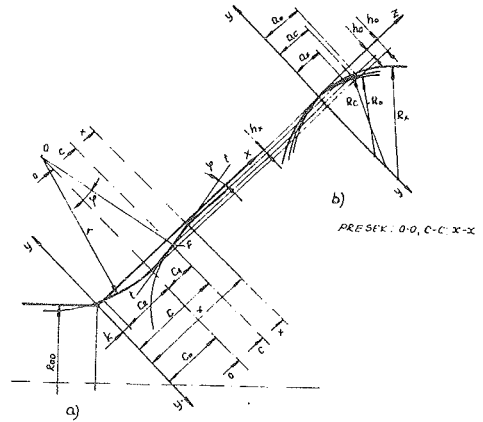
Literatura:

- (1) Musafia B., *Primenjena teorija plastičnosti*; I i II dio, Univerzitet u Sarajevu, 1973/74. god.
- (2) Musafia B., *Obrada materijala plastičnom deformacijom*. „Svetlost“ Sarajevo, 1972.
- (3) Novik F.S, Arsov J.B., *Optimizacija procesov tehnologiji metalov metodami planirovanija eksperimentov*. „Mašinostroenie“, Moskva, 1980.
- (4) Flemings M., *Procesi zatverdevanija*, „MIR“, Moskva, 1977 (prevod sa engleskog).
- (5) Bodanov Lj., *Uticao konceptijskog rešenja konfiguracije i kvaliteta kovačkog alata na proces obrade materijala kovanjem i kvalitet otkovka*. — Doktorska disertacija, Niš, 1984. god.

$$p_{xb} = f(x) = \frac{\sigma_T \cdot s^2}{4x} + 3,52 \cdot 10^{-4} \cdot E_1 \cdot \alpha^{1,4} \cdot s^{2,6} \cdot b^{-2,6} \cdot x \quad \text{za } x \geq c \quad (1')$$



Sl.1 Princip izrade li-
menih profila



Sl.2 Dodirne dužine lima i valjaka

Maksimalna vrednos specifičnog pritiska na površinu valjka na rastojanju x od temena ugla savijanja:

$$p_{x\max} = \begin{cases} \frac{3}{8D} \frac{R'_x - R_x}{R'_x \cdot R_x} \cdot \sqrt{R_x^2 - |R_x - h_0 + r - \sqrt{r^2 - (x - c - c_1)^2}|^2} & \text{za } x \leq c \\ \frac{2}{55} \sqrt{\frac{3\pi}{16} \cdot \frac{R'_x - R_x}{R'_x \cdot R_x} \left(\frac{\sigma_T \cdot s^2}{4 \cdot x} + 3,52 \cdot 10^{-4} \cdot E_1 \cdot \alpha^{1,4} \cdot s^{2,6} \cdot b^{-2,6} \right)} & \text{za } x \geq c \end{cases} \quad (2')$$

Poludužina luka dodira lima koji se profiliše sa površinom valjka na rastojanju x (sl.2)

$$a_x = \begin{cases} \sqrt{R_x^2 - |R_x - h_0 + r - \sqrt{r^2 - (x - c - c_1)^2}|^2} & \text{za } x \leq c \\ \sqrt{\frac{16D}{3} \cdot \frac{R'_x \cdot R_x}{R'_x - R_x} \left(\frac{\sigma_T \cdot s^2}{4x} + 3,52 \cdot 10^{-4} \cdot E_1 \cdot \alpha^{1,4} \cdot s^{2,6} \cdot b^{-2,6} \cdot x \right)} & \text{za } x \geq c \end{cases} \quad (3')$$

Na osnovu datih relacija i usvojenih oznaka $A = \frac{\sigma_T \cdot s^2}{4}$; $B = 3,52 \cdot 10^{-4} \cdot E_1 \cdot \alpha^{1,4} \cdot s^{2,6} \cdot b^{-2,6}$ mogu se napisati sledeći odnosi:

$$p_{xb} = \frac{3}{16D} \cdot \frac{R'_x - R_x}{R'_x \cdot R_x} \cdot a_x^2 \quad |\text{N/mm}| \quad \text{za } x \leq c \quad (4)$$

$$p_{xb} = \frac{A}{x} + Bx \quad |\text{N/mm}| \quad \text{za } x \geq c \quad (4')$$

$$p_{x\max} = \frac{2 \cdot p_{xb}}{\pi \cdot a_x} \quad |\text{N/mm}^2| \quad (5)$$

Veličina specifičnog pritiska lima na vajke na rastojanju x od temena ugla savijanja i na rastojanju z od sredine dodirne krive:

$$p_{xz} = f(x, z) = p_x \max \sqrt{1 - \frac{z^2}{a_x^2}} = \frac{2 p_{xb}}{\pi \cdot a_x} \sqrt{1 - \frac{z^2}{a_x^2}} \quad |N/mm^2| \quad \text{za } x \geq c \quad (6)$$

Na sl.2 prikazane su površinske deformacije valjaka kao i geometrijske veličine koje figurišu u datim izrazima.

Slika 2a predstavlja presek kroz osnu površinu valjaka, a sl.2b, predstavlja presek valjka sa ravnima koje su postavljene upravno na konusnu površinu elementa valjka.

U datim izrazima korišćene su sledeće oznake (sl.2):

$c = r \cdot \text{tg } \frac{\alpha c}{2}$ - rastojanje od temena ugla savijanja do tačke povezivanja krivolinijskog dela mesta savijanja sa ravnim delom savijenog elementa ($x=c$):

$r = s \cdot (135/\alpha c + 0,5)$, $r=2s$ - spoljašnji poluprečnik mesta savijanja pri režimu profilisanja sa konstantnom dužinom luka, ili spoljašnji poluprečnik mesta savijanja pri režimu profilisanja s konstantnim poluprečnikom

$R_x = R_{OD} / \cos \alpha c + x \cdot \text{tg } \alpha c$ - radijus krivine površine koja se profiliše na rastojanju x od temena ugla savijanja

$\gamma_x = \arctg \pi \cdot x \cdot \alpha / 180 \cdot l_2$ - ugao izmedju osne površi valjka i normale na dodirnu površinu lima s valjkom na rastojanju x od temena ugla savijanja:

$l_{\gamma x} = \pi \cdot R_x \cdot \gamma_x / 180 = \pi \cdot R_x / 180 \cdot \arctg \pi \cdot x \cdot \alpha / 180 \cdot l_2$ - rastojanje po luku na površini donjeg veljka od osne površi valjka do srednje linije dodirne površine:

$l_2 = 0,134 \sqrt[5]{(\alpha \cdot b / s)^2 \cdot b}$ - dužina druge zone dela ravnog prelaza:

R'_x - poluprečnik krivine površine metala koji se profiliše u mestu dodira s površinom valjka:

$$R'_x = \frac{E l s^3}{12 \cdot p_{xb} (x - l_{\gamma x})} = \frac{E l s^3}{12 \cdot \left(\frac{A}{x} + Bx \right) \left(x - \frac{\pi \cdot R_x}{180} \arctg \frac{\pi \cdot x \cdot \alpha}{180 \cdot l_2} \right)}$$

$p_{cb} = p_{xb}(x=c)$ - vrednost pritiska po jedinici dužine na rastojanju $x=c$ od temena ugla savijanja:

$$p_{cb} = \frac{\sigma_T \cdot s^2}{4 \cdot c} + 3,52 \cdot 10^{-4} \cdot E \cdot \alpha^{1,4} (s/b)^{2,6} \cdot c;$$

a_c - polu širina dodirne površine na rastojanju $x=c$ od temena ugla savijanja:

$$a_c = \sqrt{\frac{16D \cdot p_{cb}}{3 \cdot \pi} \cdot \frac{R_c \cdot R'_c}{R'_c - R_c}} = \sqrt{\frac{16D}{3 \cdot \pi} \cdot \frac{R_c \cdot R'_c}{R'_c - R_c} \left(\frac{A}{c} + Bc \right)}$$

$h_x = R_x - \sqrt{R_x^2 - a_x^2}$ - veličina zbližavanja konične površine valjka i površine lima koji se profiliše na rastojanju x od temena ugla savijanja:

$h_c = h_x(x=c) = R_c - \sqrt{R_c^2 - a_c^2}$ - veličina zbližavanja konične površine valjka i površine lima koji se profiliše na rastojanju $x=c$ od temena ugla savijanja:

$\text{tg } \phi$ - tangens ugla nagiba za jediničke tangente t-t krivolinijskog dela mesta savijanja i površine valjka:

$$\operatorname{tg} \phi = \frac{dh_x}{dx} = \operatorname{tg} \alpha_c - \frac{R_c \cdot \operatorname{tg} \alpha_c - a_c (a_c)'}{\sqrt{R_c^2 - a_c^2}} ;$$

$c_1 = r \cdot \sin \phi = r \cdot \frac{\operatorname{tg} \phi}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \phi}}$ - rastojanje od tačke F prelaza prevojnog mesta u pravolinijski deo profila od tačke najvećih specifičnih pritisaka:

$h_0 = h_c + r - \sqrt{r^2 - c_1^2}$ - veličina najvećeg zblizavanja lima koji se profiliše i površine valjka:

$c_2 = \sqrt{r^2 - (r - h_0)^2}$ - rastojanje od tačke najvećeg specifičnog pritiska u zoni izlaza 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:

$a_0 = \sqrt{2 R_c h_0 - h_0^2}$ - poluširina dodirne površine u preseku najvećih specifičnih pritisaka:

$D = 3/4 (1 - \nu_1^2/E_1 + 1 - \nu_2^2/E_2)$ - koeficijent koji uzima u obzir uticaje modula elastičnosti E_1 , E_2 i koeficijenta Puasona ν_1 , ν_2 materijala koji se profiliše i materijala radnih valjaka:

σ_T - napon na granici tečenja;

E - modul elastičnosti materijala koji se profiliše;

E - modul elastičnosti materijala radnih valjaka;

ν_1 - koeficijent Puasona materijala koji se profiliše;

ν_2 - koeficijent Puasona materijala radnih valjaka;

s - debljina lima koji se profiliše;

b - širina profila;

α - ugao savijanja profila za prolaz;

α_c - zbirni ugao savijanja u datom prolazu;

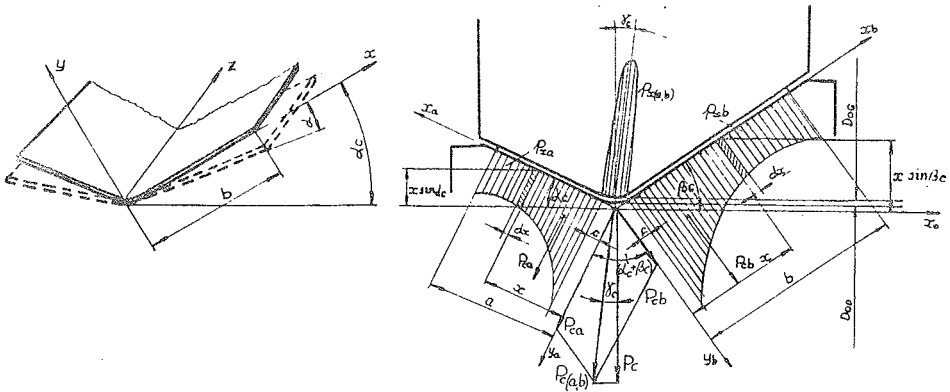
Na osnovu datih obrazaca i objašnjenja, za izračunavanje specifičnih pritisaka na valjcima pri profilisanju mogu se izračunati njihove veličine, a na osnovu njih može se nacrtati dijagram raspodele specifičnih pritisaka.

Da bi se odredili specifični pritisci na mestu savijanja potrebno je prethodno odrediti zbirne pritiske na stranama V-profila (sl.3)

$$P_{ca} = \int_c^a p_{xa} \cdot dx \quad \text{i} \quad P_{cb} = \int_c^b p_{xb} \cdot dx ;$$

Korišćenjem trigonometrijskih obrazaca iznalazi se da je:

$$P_c(a, b) = \sqrt{P_{ca}^2 + 2P_{ca} \cdot P_{cb} \cdot \cos(\alpha_c + \beta_c) + P_{cb}^2} \quad (7)$$



Sl.3 Raspored pritiska

$$P_c = P_{ca} \cdot \cos \alpha_c + P_{cb} \cdot \cos \beta_c \quad (8)$$

Maksimalna vrednost specifičnog pritiska na površinu oblikujućeg valjka na mestu savijanja:

$$P_{x \max} = \frac{3 \cdot P_c(a,b)}{2\pi \cdot a \cdot b} \quad (9)$$

Veličina specifičnog pritiska na mestu savijanja:

$$P_{xz} = P_{x \max} \sqrt{1 - \frac{z^2}{a^2} - \frac{x^2}{b^2}} = \frac{3 \cdot P_c(a,b)}{2\pi \cdot a \cdot b} \sqrt{1 - \frac{z^2}{a^2} - \frac{x^2}{b^2}} \quad (10)$$

U izrazima (9) i (10) a i b su velika i mala poluosa elipse:

$$a = \lambda_1 \sqrt{\frac{3}{2} P_c(a,b) \cdot R_{OG} \left(\frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2} \right)} \quad (11)$$

$$b = \lambda_2 \sqrt{\frac{3}{2} P_c(a,b) \cdot R_{OG} \left(\frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2} \right)} \quad (12)$$

gde su:

λ_1 i λ_2 - koeficijenti koji uzimaju u obzir krivinu na mestu uzajamnog dodira, pri profilisanju $\lambda_1=1$, $\lambda_2=0,05$;

Δ_1 - veličina porasta koordinate z ($\Delta_1 = \frac{a}{n_1}$);

Δ_2 - veličina porasta koordinate x ($\Delta_2 = \frac{b}{n_2}$).

Ugao koji zaklapa vektor zbirnog pritiska $P_{c(a,b)}$ sa pravom koja stoji upravno na osu valjaka:

$$\gamma_c = \arccos \frac{P_c}{P_{c(a,b)}} \quad (13)$$

3. Sile koje opterećuju vratilo

Pošto su poznati rasporedi pritisaka po jedinici dužine odgovarajućih strana (a i b) profila, mogu se integraljenjem površina rasporeda pritisaka (sl.3) odrediti sile koje deluju upravno na strane profila (P_{ca} i P_{cb}). Sabiranjem odgovarajućih projekcija sila na vertikalni pravac dobija se vertikalna komponenta rezultante sila (P_c), koja opterećuje vratilo pri profilisanju V-profila, merodavna za proračun vratila valjaoničkih stanova. Sile koje opterećuju vratilo:

$$\begin{aligned}
 P_c &= P_{ca} \cdot \cos \alpha_c + P_{cb} \cdot \cos \beta_c \\
 P_c &= \int_a^a p_{xa} \cdot dx \cdot \cos \alpha_c + \int_b^b p_{xb} \cdot dx \cdot \cos \beta_c \\
 P_c &= \left| \frac{\sigma_T \cdot S^2}{4} \ln \frac{a}{c} + 3,52 \cdot 10^{-4} \cdot E_1 \cdot \alpha^{1,4} \cdot S^{2,6} \cdot a^{-2,6} \left(\frac{a^2}{2} - \frac{c^2}{2} \right) \right| \cos \alpha_c + \\
 &\quad \left| \frac{\sigma_T \cdot S^2}{4} \ln \frac{b}{c} + 3,52 \cdot 10^{-4} \cdot E_1 \cdot \beta^{1,4} \cdot S^{2,6} \cdot b^{-2,6} \left(\frac{b^2}{2} - \frac{c^2}{2} \right) \right| \cos \beta_c \quad (14)
 \end{aligned}$$

4. Momenti uvijanja na vratilima

a) Donje vratilo

Momenti uvijanja koji se javljaju na stranama profila jednaki su integralu proizvoda diferencijala sile koja deluje na element dx, koeficijenta trenja (obimna sila - otporna sila), odgovarajućeg kraka momenta uvijanja (rastojanje od ose vratila do tačke delovanja diferencijala sile) (sl.3). Sabiranjem momenata uvijanja koji deluju na pojedinim stranama V-profila dobija se rezultujući moment uvijanja koji deluje na donje vratilo.

Moment uvijanja na strani "a" profila:

$$M_a = \mu_c \left| \int_c^a p_{xa} \left(\frac{D_{OD}}{2} + x \cdot \sin \alpha_c \right) \cdot dx \right|,$$

Moment uvijanja na stranim "b" profila:

$$M_b = \mu_c \left| \int_a^b p_{xb} \left(\frac{D_{OD}}{2} + x \cdot \sin \beta_c \right) \cdot dx \right|,$$

Rezultujući moment uvijanja na donjem vratilu: $M_D = M_a + M_b$

$$\begin{aligned}
 M_D &= \mu_c \left\{ \frac{\sigma_T \cdot S^2}{4} \left| \frac{D_{OD}}{2} \ln \frac{a \cdot b}{c^2} + (a-c) \cdot \sin \alpha_c + (b-c) \cdot \sin \beta_c \right| + \right. \\
 &\quad \left. + 3,52 \cdot 10^{-4} \cdot E_1 \cdot S^{2,6} \left| \alpha^{1,4} \left(\frac{D_{OD}}{2} \frac{a^2 - c^2}{2 \cdot a^{2,6}} + \frac{a^3 - c^3}{3 \cdot a^{2,6}} \cdot \sin \alpha_c \right) + \right. \right. \\
 &\quad \left. \left. + \beta^{1,4} \left(\frac{D_{OD}}{2} \frac{b^2 - c^2}{2 \cdot b^{2,6}} + \frac{b^3 - c^3}{3 \cdot b^{2,6}} \cdot \sin \beta_c \right) \right| \right\} \quad (15)
 \end{aligned}$$

Za slučaj $a=b$ i $\alpha_c = \beta_c$ rezultujući moment uvijanja: $M_D = 2M_a = 2M_b$

$$M_D = 2\mu_c \left| \frac{\sigma_T \cdot S}{8} D_{OD} \cdot \ln \frac{a}{c} + 3,52 \cdot 10^{-4} \cdot E_1 \cdot S^{2,6} \cdot \alpha^{1,4} \frac{D_{OD}}{2} \right|$$

$$\cdot \left(\frac{a^2}{2} - \frac{c^2}{2} \right) + \frac{\alpha_T \cdot S^2}{4} (a-c) \cdot \sin \alpha_C + 3,52 \cdot 10^{-4} \cdot E_1 \cdot S^{2,6} \cdot$$
$$\cdot \alpha^{1,4} \cdot a^{-2,6} \left(\frac{a^3 - c^3}{3} \right) \cdot \sin \alpha_C \quad (16)$$

5. Zaključak

Polazeći od poznatih izraza [1] za određivanje rasporeda pritisaka po jedinici dužine, specifičnog pritiska, veličina sila i momenta uvijanja pri profilisanju simetričnih limenih V-profila na valjcima, u radu je razradjen postupak određivanja istih izraza za nesimetrične profile V-profil, pri čemu izvedeni izrazi ne egzistiraju u literaturi. Posebno je detaljno prikazan postupak određivanja rasporeda specifičnih pritisaka na mestima savijanja opisanog profila.

Kao što je već rečeno ovde je razradjen karakterističan tipski V-profil čijom se kombinacijom mogu dobiti složeni profili, a samim tim moguće je odrediti sile i momente uvijanja za te složene profile.

Određivanje rasporeda specifičnih pritisaka, sila i momenata uvijanja koji se javljaju pri profilisanju limenih profila je neophodno za izbor racionalnog režima za profilisanje, kao i za određivanje optimalnih konstruktivnih elemenata valjaka i radnih stanova (dimenzije vratila, prenosni odnos reduktora, pogonski mehanizam, elektromotor i dr.).

L i t e r a t u r a

- [1] I.S. TRIŠEVSKIJ i dr., *Proizvodstvo i primenienie gnutih profilei prokata, Moskva, Metallurgija, 1979.*
- [2] D. LAZAREVIĆ.: *Seminarski rad, Mašinski fakultet, Niš, 1980.*

21. SAVJETOVANJE PROIZVODNOG STROJARSTVA JUGOSLAVIJE, OPATIJA, 1987.

ICRD2 - PROGRAMSKI SISTEM ZA PROJEKTOVANJE TEHNOLOGIJE I ALATA ZA
IZVLACENJE PRIMENOM RACUNARA

ICRD2 - PROGRAMMIERSYSTEM ZUM PROJEKTIEREN DER TECHNOLOGIE UND DES
WERKZEUGES ZUM TIEFZIEHEN MIT DEM RECHNER

V. Stoiljkovic Masinski fakultet Nis, Univerzitet u Nisu
18000 Nis, Beogradska 14, Jugoslavija

Z. Stamenkovic Ei Nis - Nis
18000 Nis, Jugoslavija

Ključne riječi: Sažetak: U radu se daje prikaz Programskog sistema
Komputer: ICRD2. Program ICRD2 je deo Programskog sistema IZV-
Projektovanje LAC. Namijenjen je za automatsko projektovanje tehnolo-
Izvlacenje gije i alata za izvlacenje cilindricnih rotacionih
Alati delova. Program omogućuje izbor optimalne tehnologije
Tehnologija je. Pored definisanja tehnologije i alata Program daje
i Proizvodnu dokumentaciju.

Keywords: Zusammenfassung: In dieser Arbeit wird Programmsystem
Computer: ICRD2 dargestellt. Programm ICRD2 ist ein Teil des
Projektieren Programmiersystem IZVLAC. Dieses Programm ist zum
Tiefziehen automatischen Projektieren der Technologie und des
Werkzeuge teile geeignet. Dieses Programm ermöglicht die Aus-
Technologie wahl der optimalen Technologie. Neben der Bestimmung
der Technologie und des Werkzeuges ermöglicht das Pro-
gram auch die Ausführung der Produktionsdokumentation.

1. Uvod

Projektovanje primenom racunara nalazi sve vecu primenu i u oblasti obrade deformisanjem. Do sada je u vecoj mjeri primenjen racunar za projektovanje tehnologije i alata za savijanje /1,2/, prosecanje i odsecanje /3,4/, kovanje /5/, kao i za izvlacenje /6,7/. Na Masinskom fakultetu u Nisu poslednjih godina se, u saradnji sa privredom, intenzivno razvijaju programski sistemi za oblast obrade deformisanjem. Rezultat tog rada je i programski sistem ICRD2. Sistem ICRD2 cini niz

Programa za Projektovanje tehnologije i alata za izvlacenje osnosimetričnih delova na Prezama. Ovaj Programski sistem Po unosu ulaznih informacija sa crteza gotovog dela potpuno automatski određuje: dimenzije Priprema, tehnologiju izvlacenja, dimenzije alata u svim operacijama izvlacenja, Prese za izvlacenje itd. Pored toga, Priprema svu Proizvodnu dokumentaciju potrebnu za izradu dela.

2. Programski sistem IZVLAC

Programski sistem IZVLAC čini veći broj Programa (slika 1). Program SIZV Povezuje šest Posebna Programa za automatsko Projektovanje tehnologije i alata za izvlacenje:

- ICRD2 - cilindričnih rotacionih delova,
- IKRD - koničnih rotacionih delova,
- ISRD - sferičnih delova,
- IZND - nesimetričnih delova,
- IZFLU - delova fluidom i
- IZEKS - eksplozivom.

Program IZVLAC Poziva se na izvršenje EC datotekom EC SAPIZV. Odmah Po Pozivu na monitoru se pojavljuje meni, koji nudi izbor Postupka za izvlacenje (slika 1). Ukucavanjem broja 1, 2, 3, 4, 5, ili 6 Poziva se odgovarajući Program (ICRD2, IKRD, ISRD, IZND, IZFLU ili IZEKS) na izvršenje. Rezultati koji se dobijaju Pri izvršenju tih Programa smestaju se u odgovarajuće izlazne datoteke (IZLAC2, IZLAK, IZLAKS, IZLAKN, IZLAKF ili IZLAKZ), a Program se vraća na početni meni. Korisnik može da pozove na izvršenje jedan od preostalih Programa, ili da prekine rad ukucavanjem 0. Rezultati koji su smesteni u datoteci mogu da se vide na monitoru ili da se odštampaju na štampacu.

Programski sistem IZVLAC, prikazan na slici 1, predstavlja otvoreni sistem. Isti može da se dopuni i proširi sa novim oblicima delova (stupnjeviti, ...). Kao i sa novim tehnologijama (izvlacenje sa redukcijom debljine zida, kombinovano izvlacenje, rotaciono izvlacenje itd.).

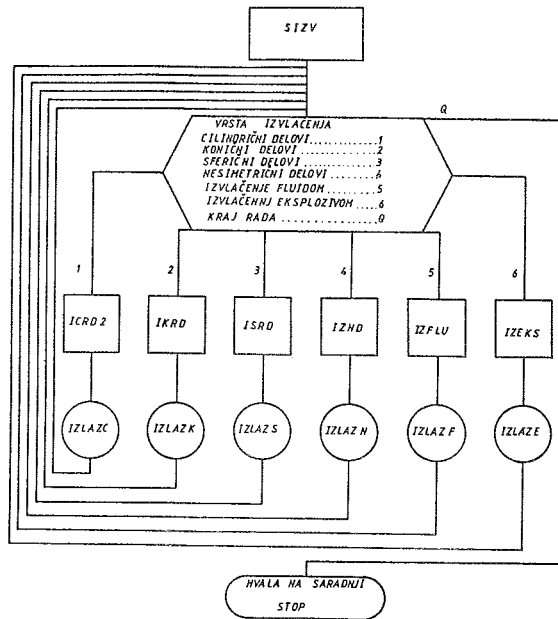
3. Program ICRD2

U ovoj fazi razvoja Programskog sistema IZVLAC najdalje se otislo sa Programom ICRD2. Ovo je već druga verzija tog Programa. Prva verzija Pod nazivom ICRD već se našla primenu u industriji /7/. Na preostalim Programima se radi intenzivno. Neke faze tih Programa su već završene.

Za Program ICRD2 urađeno je matematičko modeliranje procesa dubokog izvlacenja cilindričnih rotacionih delova. NaPonsko i deformaciono stanje opisano je primenom teorije plasticnosti. Pri tome je korišćena

metoda zajedničko⁹ rešavanja jednacine ravnoteže i uslova plastičnosti /87/.

2) određivanje sile držaca lima postoji uvek broj različitih pristupa. U okviru ovog rada koristi se izlaz koji je dobijen primenom regresione analize /87/.



Slika 1 - Programski sistem IZVLAC

Matematičko modeliranje alata dovelo je do definisanja nekoliko različitih modula. Zajedničko za sve te alate, bilo da se odnose na prou ili naredne operacije izvlačenja, da izvode samo izvlačenje, ili da su kombinovani alati za presecanje, izvlačenje i opsecanje, jeste da je najveći broj delova alata standardizovan. Time je, pored skraćivanja vremena potrebno za projektovanje tehnologije i alata, skraćeno i vreme potrebno za izradu alata.

Informacioni tok programa ICRD2 prikazan je na slici 2. Program ICRD2 ima veoma komforan modul za unos podataka. Po startovanju programa pojavljuje se maska 1 sa menijem. Korisnik programa može da odabere da direktno unosi podatke sa crteža dela, ili da iste učitava iz datoteke koju je prethodno pripremio. Ako se odluči za unos podataka, pozivaju se sistemski programi i programi unadjeni za masku. Kako je to unadjeno u radu /87/. Svo ti programi povezani su programom UNOS. U maski su

napisane sve velicine koje korisnik treba da unese. Broj mesta za unos Podataka automatski vodi racuna o ogranicenju pojedinih velicina. Ukoliko se Prekoraci vrednost neke velicine javlja se Poruka o gresci. Korisnik Popunjava oznacena mesta u masci sa vrednostima koje su date na crtezu dela.

Da je pri izboru nacina unosenja Podataka odabrano ucitavanje datoteke, moze bi se pojavila maska ali sa vec Popunjenim vrednostima za sve potrebne velicine.

U sledecem koraku pojavljuje se nova maska koja nudi izbor nacina odredjivanja Pocetno9 PriPremla: 1 - Preko Kodova oblika i 2 - Preko elementarnih Poursina. Za slucaj da se korisnik opredeli za kodove oblika u banci Podataka mu stoje smestena 40 razlicita oblika cilindricnih delova. Pozivanjem PotPrograma PPI odredjuje se Precnik PriPremla ukljucujuci i dodatke za obrezivanje (DDH ili DDV).

Ukoliko oblik dela nije isti sa nekim od oblika iz banke Podataka, poziva se PotProgram PP, koji omogucava odredjivanje dimenzija Pocetno9 PriPremla za bilo koji rotacioni deo. I u ovoj grani se odredjuju dodaci za obrezivanje.

Dalji rad Programsko9 sistema ICRD2 je PotPuno automatski. Najpre se ispituje Precnik PriPremla i debljina lima. Ako je $Do < 100$ mm i $s < 2.5$ mm odabrana je tehnologija izvlacenja iz trake. Pa se poziva Program ICRDT (izvlacenje cilindricnih rotacionih delova iz trake u konacnom alatu - ovaj Program je u fazi razvoja).

U slucaju da je $100 < Do < 250$ mm Programski sistem ICRD2 usvaja Postupak izvlacenja u Posebnim alatima. Pri tome se za Prvo izvlacenje koristi materijal iz kotuna. Da je Precnik PriPremla bio veci od 250 mm izrada bi se vrsila iz tabli lima koje se odsecaju na odredjenu sirinu. Zatim se na makazama sa kruznim nozevima vrsi izrada Pocetnih PriPremla.

Posto su ispitani svi uslovi poziva se PotProgram KICE, koji vrsi izbor koeficijenata izvlacenja, zavisho od vrste izvlacenja koja je Prethodno definisana (izvlacenje bez drzaca, sa drzacom,...). Koeficijenti izvlacenja su uzimani na donjoj granici, tako da je zaokruzivanje broja operacija moguće samo na vecem celom broju.

Odredjivanje dimenzija dela po operacijama vrsi se u PotProgramu DID. Prvo se odredi Potreban broj operacija izvlacenja, na osnovu usvojenih koeficijenata izvlacenja, zadato9 konacno9 Precnika dela i odredjeno9 Precnika PriPremla. Dobijeni broj operacija se zaokruzuje na Prvu vecu celu vrednost, a usvojeni koeficijenti izvlacenja se uvecavaju za odredjenu vrednost, koju je omogucilo uvecanje broja operacija. Tako se dobijaju stvarni koeficijenti izvlacenja i stvarne dimenzije dela po operacijama. Za odredjivanje dimenzije trake za izvlacenje služi Poseban PotProgram DIDTR. Ovaj PotProgram definise sve velicine vezane za modul alata za Prosecanje.

Određivanje sile izvlačenja i deformatičnog rada za svaku operaciju izvlačenja vrši se u PotProgramu SRI. Pri tome se koristi Kriva ovrscavanja trećeg reda u stepenoj zavisnosti za određivanje specifičnog deformatičnog otpora. Pri određivanju maksimalnog radijalnog napona ispituje se Koeficijent Plastičnosti: ,

$$\eta = K_0/K(I) \quad (1)$$

gde su:

K_0 - vrednost specifičnog deformatičnog otpora nedeformisanog materijala i

$K(I)$ - vrednost specifičnog deformatičnog otpora u I-toj operaciji

Ukoliko je $\eta < 0,43$ uvodi se dodatna operacija zarenja. Operacije izvlačenja, koje slede Posle zarenja, ne treba da zadrže iste koeficijente izvlačenja. Stoga se za te operacije određuju nove vrednosti Koeficijenata izvlačenja, koje su uvećane za 0,05 u odnosu na početno usvojene vrednosti.

Promena vrednosti Koeficijenata izvlačenja, u operacijama Posle zarenja, zahteva Ponovno određivanje dimenzija dela u tim operacijama. To znaci da se Ponovo vraca na PotProgram DID. Ukupan broj operacija izvlačenja, određen bez zarenja, može da bude jednak ili za jednu operaciju veći od broja operacija izvlačenja sa zarenjem. Načesce se na račun uvođenja operacije zarenja, smanjuje za jednu operaciju izvlačenje. Time Program ICRO2 vodi računa i o optimalnosti izabranog tehnološkog Postupka.

Po definitivnom određivanju tehnološkog Postupka, Ponovo se Preracunavaju tačne vrednosti sile izvlačenja i deformatičnog rada u PotProgramu NSR. Stampanje tehnološkog Postupka vrši se u PotProgramu TP. Pri tome se daju svi potrebni podaci koji definišu deo, Postupak izvlačenja, potrebna kolicina materijala za seriju i godišnju proizvodnju, kao i redosled operacija. U ovom PotProgramu se automatski određuje Pripremna operacija, operacija izvlačenja, Prosecanja, opsecanja i zarenja. Za svaku operaciju se definiše radna jedinica u kojoj se realizuje odgovarajuća operacija.

Alati za izvlačenje su za sada svrstani u šest modula:

ALIMK - izvlačenje sa opsecanjem za slučaj da je PripremaK urađien na kružnim makazama.

ALIM - izvlačenje bez opsecanja za slučaj da je PripremaK urađien na kružnim makazama.

ALIK - Prosecanje, izvlačenje i opsecanje u Prvoj operaciji.

ALII - Prosecanje i izvlačenje u Prvoj operaciji.

ALIN - naredno izvlačenje i

ALIND - naredno izvlačenje sa opsecanjem.

Uz svaki modul alata, odgovarajući PotProgram, poziva se PotProgram ISKI (izbor standardnog kucista za izvlačenje), koji obezbeđuje da svaki

modul alata bude standardizovan u najvećoj mogućoj mjeri. Koji će od modula alata biti izabran to zavisi od Precnika PriPremka i rednog broja operacije.

Mašina na kojoj se izvodi operacija izvlačenja može da bude ekscentrična ili hidraulična presa. Ekscentrična presa će biti izabrana samo u slučaju da je visina dela u rasmatranoj operaciji manja od $0,4 * D(D)$. To znači da se desi samo u prvoj operaciji izvlačenja. Za ostale slučajeve bira se hidraulična presa. Pri izboru prese mora da bude zadovoljen niz uslova: Pocev od sile, mogućnosti smestaja alata, hoda prese i velicine radnog prostora.

Izborom prese završen je deo projektovanja tehnologije i alata sa izborom opreme. Za lansiranje proizvodnje potrebno je da se uradi proizvodna dokumentacija, odnosno operacione liste. Za to služe postprocesori OL - koji je zajednicki za svaku operaciju, OLPR - za presecanje, OLIZ - za izvlačenje i OLOP - za opsecanje. U svakom operacionom listu upisani su svi podaci koji definišu tu operaciju, uključujući i zahvate koje treba radnik da izvrši.

Svi rezultati koje daje programski sistem ICRD2 smesteni su u datoteci ICLRCC. koja se zatvara pre završetka programa. Ti rezultati mogu da se prikazu na način kako to želi korisnik.

4. Zaključak

Primena CAD/CAM u obradi deformisanjem predstavlja neophodnost za brze i pouzdanije projektovanje i izradu alata. Do sada postoji malo razvijenih programa za tu namenu. Razvijeni programski sistem ICRD2 omogućuje brze i pouzdanije projektovanje tehnologije i alata za izvlačenje cilindričnih rotacionih delova. Odbirnom da su sva odličivanja ugrađena u program, to korisnik ne mora da bude stručnjak za izvlačenje. Te poslove može da obavlja i programer sa srednjom spremom.

Razvijeni programski sistem ICRD2 omogućuje:

- projektovanje tehnoloskog postupka izvlačenja cilindričnih rotacionih delova.
- definisanje operacionih listova za svaku operaciju predviđenu tehnoloskim postupkom.
- projektovanje i dimenzionisanje alata za svaku operaciju izvlačenja.
- izbor prese za svaku operaciju.
- definisanje svih velicina koje se odnose na sile i rad itd.

Razvojem postprocesora za crtanje alata bice završen kompletan CAD za izvlačenje cilindričnih rotacionih delova.

Literatura:

[1.] Ludouis G. Programmiersystem für das CNC-Walzrunden, wt-2.ind.Fertig

71(1981) 287-291.

- /2/ Finkenstein E., Ludwig G., Rechner ermittelt Steuerdaten für das Walzrunden von Blechen, Bänder Blech Rohre, 3-1984, 66-78.
- /3/ Grivacevskii A., Avtomatizacija Proektirovania Processov tehnologii - ceskoi Podgotovki holodnostrampoochnogo Proizvodstva, KSP, No8, 1985.
- /4/ Teterin G., Nikulsina L., Povisenie effektivnosti avtomatizirovanogo Proektirovania Pramoúgol'nogo naskrajnaja listovogo Prokata v savremeni Proizvodstvo, KSP, No6, 1985.
- /5/ Teterin G., Poluhin P., Osnovi optimizacii i avtomatizacii Proektirovanija tehnologiceskih Processov gorjacei objemnoi stamPovki, Masinstroenie, Moskva, 1979.
- /6/ Grigorjev L., Avtomatizovano Projektovanie v hladnom limenom Presovanii, Masinstroenie, Leningrad, 1984.
- /7/ Stoiljkovic V., Stankovic Z., Automatic engineering technology and tools in drawing cylindrical elements through the use of computers, IX medjunarodni simpozijum, "Computer at the university", Cautat, 18-22.05.1987.
- /8/ Stoiljkovic V., Teorija obrade deformisanjem, Univerzitet u Nisu, Nis, 1984.
- /9/ Stoiljkovic V., Krstic M., KOVAC2 - the Program system for computer - aided desing of forging technology and tools, International conference on advanced manufacturing system and technology - ANST '87, Opatija, Yugoslavia, 1987.

21. SAVJETOVANJE PROIZVODNOG STROJARSTVA JUGOSLAVIJE, OPATIJA, 1987.

PONAŠANJE MATERIJALA PRI SLOBODNOM SABIJANJU
PROFILISANIM ALATIMA
MATERIAL BEHAVIOUR IN UPSETTING WITH
PROFILING DIES

D. Vilotić Fakultet tehničkih nauka, NO Institut za proizvodno mašinstvo, 21000 Novi Sad, Jugoslavija

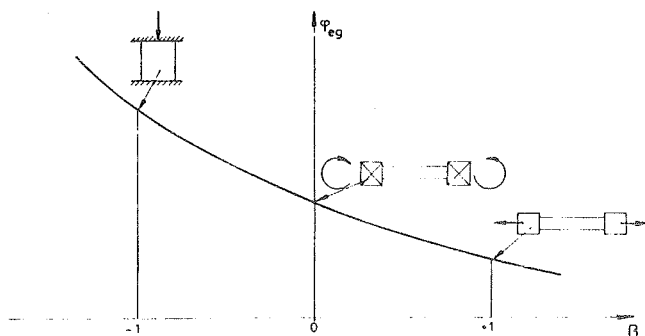
Ključne reči: SAŽETAK: Metodologija određivanja dijagrama granične deformabilnosti veoma je složena i zahteva precizno određivanje naponskog i deformacionog stanja u zoni pojave loma na obratku. U tu svrhu obično se koriste jednostavni vidovi deformacije kao što je slobodno sabijanje cilindra, ispitivanje torzijom i ispitivanje zatezanjem. U ovom radu prezentirani su rezultati određivanja deformabilnosti materijala pri slobodnom sabijanju prizmatičnih obradaka cilindričnim alatima. Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti da postoji mogućnost primene modela oblikovanja profilisanim alatima za detaljnije definisanje krive granične deformabilnosti.

Key words: ABSTRACT: Methodology of determination of formability diagram is very complex and requests a precise identification of stress and strain state in the cracks zone. In this case the most convenient is to use simple deformation models as axial compression test, torsion test and tension test. This paper deals with problem of workability identification using upsetting test with cylindrical dies. According to the presented results it could be concluded that it is possible to use upsetting test with profiling dies for more precise definition of formability diagram.

1. Uvod

Mnogobrojna teorijsko-eksperimentalna istraživanja [1,2,4] pokazala su da ponašanje materijala, s obzirom na ispoljavanje deformabilnosti, u najvećoj meri zavisi od realizovanog naponskog stanja tokom procesa deformisanja. Pri tome dominantnu ulogu igra sferni tenzor napona, tj. hidrosta-

tički napon. Grafička interpretacija deformabilnosti materijala u zavisnosti od pokazatelja naponskog stanja data je na sl.1 i predstavlja dijagram



Sl.1 Dijagram granične deformabilnosti

granične deformabilnosti u kojem je pokazatelj naponskog stanja β definisan sledećim izrazom:

$$\beta = \frac{3\sigma}{\sigma_e} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{\sigma_e} \quad (1)$$

gde je:

σ - hidrostatički napon

σ_e - efektivni normalni napon

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ - komponente glavnih normalnih napona.

Efektivna granična deformacija ϕ_{eg} - deformacija u trenutku pojave oštećenja strukture materijala, zavisi od kombinacije naponskih komponenti koje deluju u kritičnoj zoni obratka. Porastom hidrostatičkog pritiska ($\beta < 0$) raste granična deformacija, dok se pri porastu zateznih komponenti napona ($\beta > 0$) mogu očekivati niže vrednosti graničnih deformacija (sl.1).

Jedan od problema koji se pojavljuje pri istraživanju deformabilnosti materijala jeste metodologija odredjivanja krive granične deformabilnosti. U tu svrhu primenjuju se različite metode i modeli obrade deformisanjem [1,2,4]. Uobičajeni postupak definisanja dijagrama granične deformabilnosti sastoji se u primeni tri osnovna modela deformacije: slobodno sabijanje cilindra, ispitivanje torzijom i ispitivanje zatezanjem. Ovim postupkom dobija se osnovni tok dijagrama, dok se za detaljnije definisanje krive granične deformabilnosti moraju koristiti dodatna istraživanja.

Laboratorija za obradu deformisanjem u okviru istraživanja deformabilnosti materijala posebno se bavi problematikom odredjivanja dijagrama granične deformabilnosti. Deo tih rezultata prezentiran je i u ovom radu, a odnosi se na primenu specijalnih modela u tu svrhu.

U tabeli 1 prikazane su šeme oblikovanja prizmatičnog obratka alatima koji se sastoje od ploča različitog oblika. Primenom elementarnih ploča ravnog, konkavnog i konveksnog oblika dobijeno je šest šema oblikovanja, koje pružaju različite mogućnosti u pogledu ispoljavanja deformabilnosti materijala. Za analizu deformabilnosti materijala posebno je značajan model 22 (tabela 1), koji predstavlja sabijanje cilindričnim alatima, kod kojeg u zo-

Tabela 1

GORNJI ALAT	1	2	3
DONJI ALAT			
1	11		
2	21	22	
3	31	32	33

ni deformacije deluje raznoimena naponska šema koja omogućuje utvrđivanje deformabilnosti materijala u području $\beta = (-0,65) \div (-0,9)$. Treba istaći još i to da ovaj model se može primenjivati sa različitim oblikom priprema - - prizmatičnim i cilindričnim.

Rezultati prikazani u ovom radu odnose se na model sabijanja prizmatičnog obratka cilindričnim alatima.

2. Analiza naponskog stanja pri slobodnom sabijanju cilindričnim alatima

Komponente naponskog stanja potrebne za definisanje β -faktora (jednačina 1) u kritičnoj zoni obratka, kod ovog modela deformacije određivane su primenom različitih metoda: metoda ravnih preseka, metoda vizioplastičnosti uz primenu deformacione teorije i eksperimentalno, pomoću mernih čivija sa elektronskim pretvaračem.

Primenom metode ravnih preseka prema modelu (sl.2) dobijena je diferencijalna jednačina ravnoteže u sledećem obliku:

$$\frac{d\sigma_x}{d\alpha} + \sigma_x \frac{\mu \cos \alpha}{a - \cos \alpha} + 1,15K \frac{\sin \alpha - \mu \cos \alpha}{a - \cos \alpha} = 0 \quad (2)$$

gde je:

μ - koeficijent trenja

$a = h/R + 1$ - geometrijski faktor

K - specifični deformacioni otpor koji se menja duž zone deformacije:

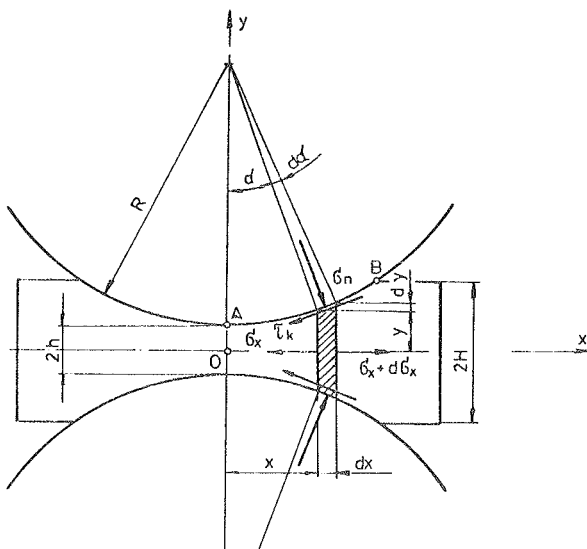
$$K = K_0 + A\phi_e^b \quad (3)$$

gde je:

$K_0 = \sigma_v$ - početni specifični deformacioni otpor,

A i b - konstante zavisne od materijala,

$$\phi_e = 1,15 \ln \frac{H}{y}.$$



Sl.2 Komponente napona pri sabijanju cilindričnim alatom

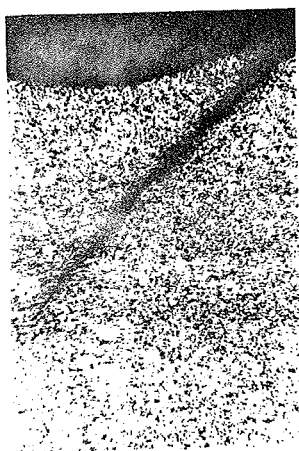
Rešenje diferencijalne jednačine (3) po σ_x može se dobiti numeričkim putem primenom odgovarajuće metode, a komponenta napona σ_n zatim se određuje iz jednačine plastičnosti:

$$\sigma_n = 1,15K - \sigma_x \quad (4)$$

Primenom izraza (1) moguće je odrediti trenutnu vrednost pokazatelja naponskog stanja u ma kojoj tački zone deformisanja. Za analizu deformabilnosti interesantne su vrednosti ovog pokazatelja u kritičnoj tački obratka. Položaj ove tačke utvrđen je metalografskom analizom (sl.3). Zbog izražene nemonotonosti procesa sabijanja ($\beta \neq \text{const}$), neophodna je primena metodologije Kolmogorova [1] za određivanje srednje vrednosti pokazatelja naponskog stanja prema sledećem izrazu:

$$\beta_{sr} = \frac{1}{\phi_{eg}} \int_0^{\phi_{eg}} \beta(\phi_e) d\phi_e \quad (5)$$

gde je $\beta(\phi_e)$ zavisnost pokazatelja naponskog stanja od efektivne deformacije.



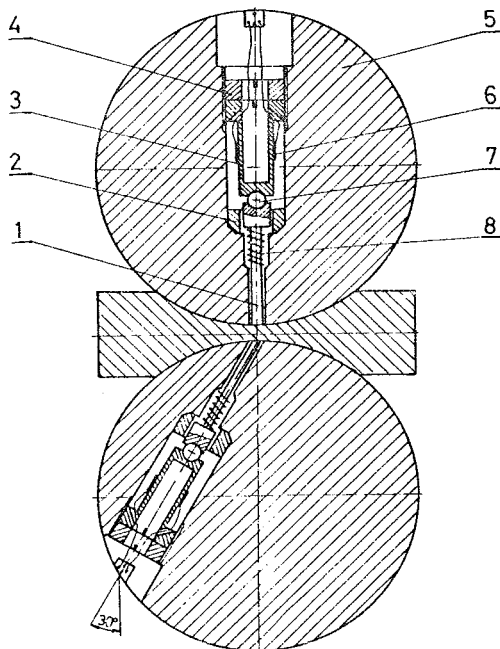
S1.3. Položaj pukotine

Primenom ove procedure dobijeni su relativno dobri rezultati deformabilnosti za ispitivane materijale, uz prisustvo odstupanja od krive granične deformabilnosti kod pojedinih uzoraka.

Detaljnija istraživanja naponsko-deformacionog stanja i deformabilnosti materijala izvedena su primenom koordinatne mreže i deformacione teorije. Dobijeni rezultati pokazuju veoma dobro slaganje sa osnovnim tokom krive granične deformabilnosti uz napomenu da je metoda veoma složena i zahtava obimna teorijsko-eksperimentalna istraživanja.

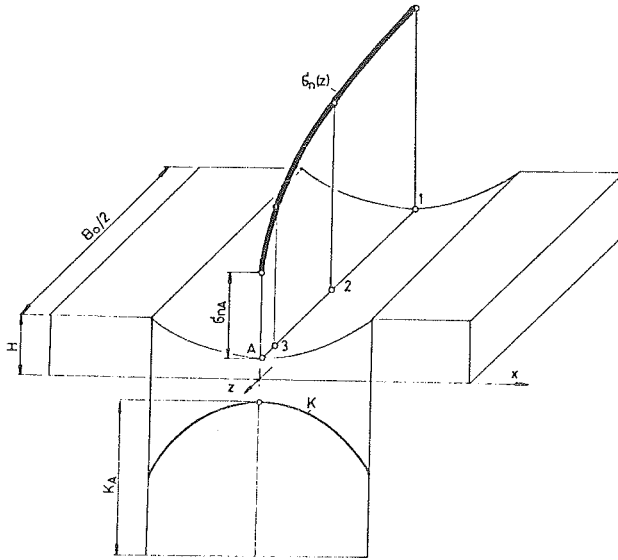
Primena metode merne čivije za identifikaciju kontaktnih napona i analizu deformabilnosti dala je zadovoljavajuće rezultate, a sama metoda relativno je jednostavna.

Detaljniji prikaz metode merne čivije dat je u radu [3], a na s1.4 dat je presek cilindričnih alata sa ugradjenim mernim elementima koji omogućuju



S1.4 Alat s ugradjenim mernim elementima: 1-čivija $\varnothing 2$, 2-prsten, 3-merni cilindar, 4-kontranavrтка, 5-cilindrični pritiskivač, 6-merna traka, 7-kuglica, 8-opruga

utvrđivanje normalnog (σ_n) i tangencijalnog (τ_k) napona na kontaktnoj površini obratka. Na sl.5 dat je model koji je poslužio za određivanje komponenti napona i pokazatelja naponskog stanja β u kritičnoj tački obratka. Na osnovu izmerenih vrednosti komponente σ_n u tačkama 1, 2 i 3 interpolacijom je određen napon σ_{nA} u tački A, a zatim primenom jednačine plastičnosti (4) i komponenta σ_{xA} .



Sl.5 Raspored napona u kritičnoj tački obratka

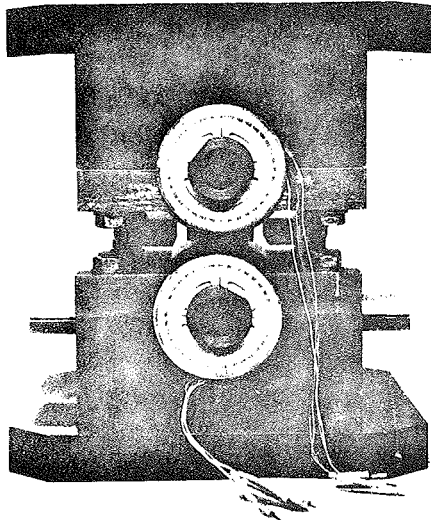
Tekuće vrednosti pokazatelja naponskog stanja određivane su primenom izraza (1), a njegova srednja vrednost na osnovu izraza (5).

3. Eksperimentalna istraživanja

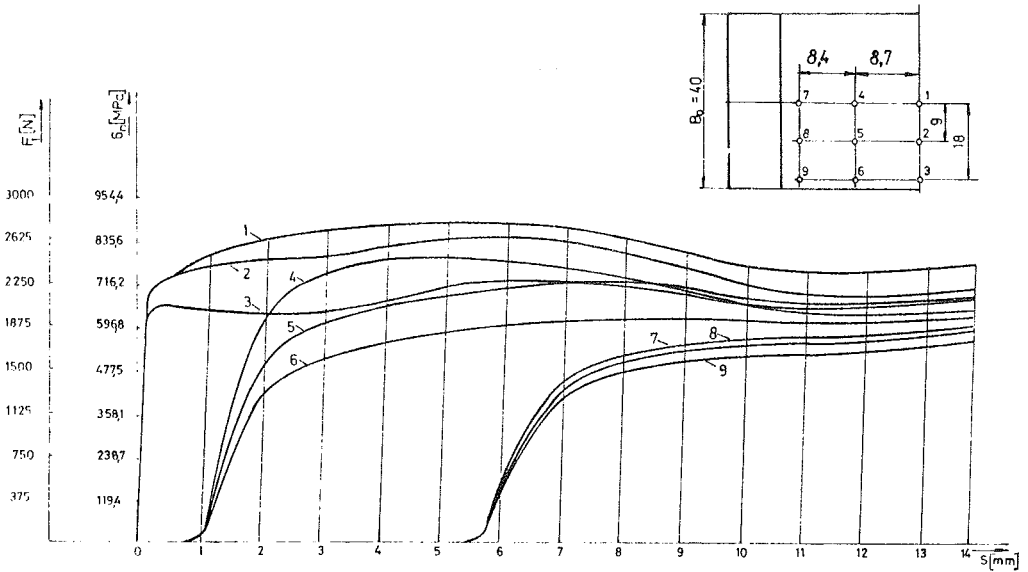
Eksperimentalna istraživanja deformabilnosti materijala pri sabijanju cilindričnim alatima obuhvataju veći broj uticajnih faktora. Ovde je prezentiran deo rezultata dobijenih ispitivanjem č.1221.

Koncepcija eksperimentalnih istraživanja sastojala su se u određivanju dijagrama granične deformabilnosti pomoću osnovnih modela deformacije (slobodno sabijanje cilindra, torzija i zatezanje) i dopunjavanju rezultatima dobijenim na osnovu slobodnog sabijanja cilindričnim alatima.

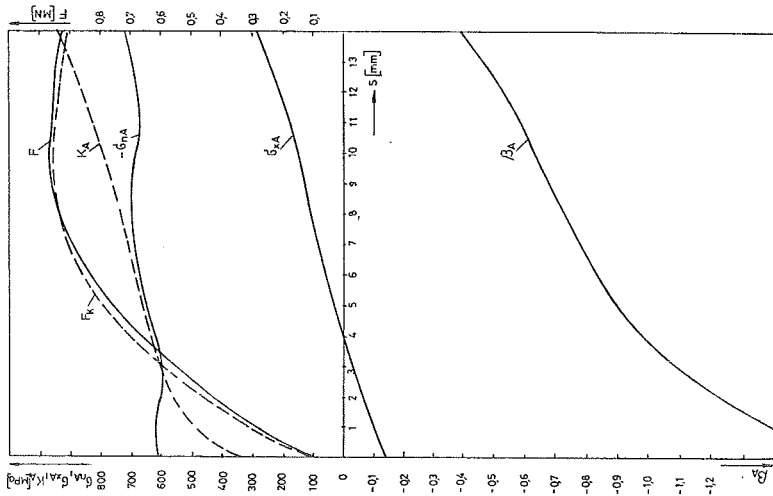
Za ispitivanje su korišćeni uzorci polazne visine $2H=10$ mm (serija 100) i $2H=18$ (serija 200). Deformisanje uzoraka uz kontinualno registrovanje opterećenja na mernim čivijama, izvedeno je na hidrauličnoj presi pomoću alata, sl.6. Dijagram opterećenja radijalnog mernog elementa u pojedinim mernim tačkama dat je na sl.7.



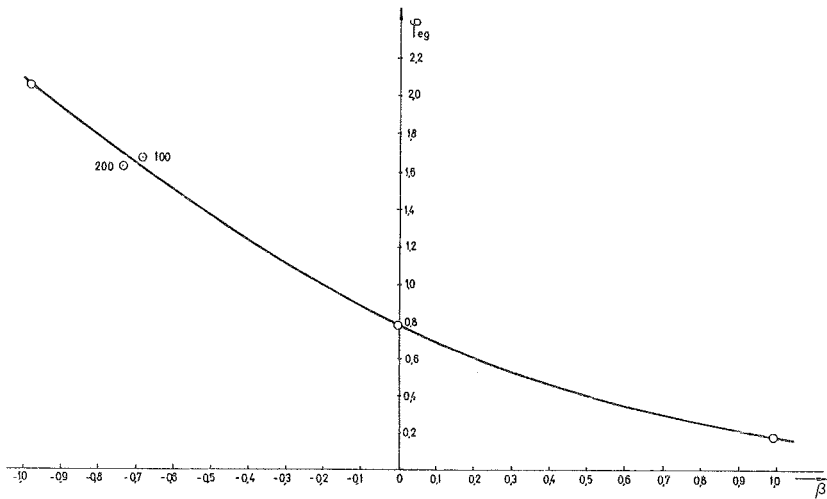
SI.6 Alat za eksperimentalna istraživanja kontaktnih napona i deformabilnosti materijala



SI.7 Opterećenje na radialnom mernom elementu za uzorke serije 200



S1.8 Promena karakterističnih veličina u zavisnosti od hoda alata za seriju 200



S1.9 Dijagram granične deformabilnosti za č.1221 s podacima uzoraka serija 100 i 200

4. Analiza rezultata i zaključak

Megodologija odredjivanja dijagrama granične deformabilnosti je veoma složena jer je povezana sa procedurom odredjivanja komponenata napona i deformacija u "kritičnoj" tački obratka, što je svakako jedan od najdelikatnijih zadataka primenjene teorije plastičnosti.

Slobodnim sabijanjem prizmatičnih pripremačkih cilindričnim alatom kod č.1221 ostvarena je prosečna vrednost pokazatelja naponskog stanja $\beta = -0,71$ uz veoma dobro slaganje graničnih deformacija sa opštim tokom krive granične deformabilnosti (sl.9). Analiza naponskog stanja kod ovog modela deformacije pokazuje da u "kritičnoj" tački obratka prisutna raznoimena naponska šema sa promenljivim odnosom pojedinih komponenti napona tokom procesa deformisanja (sl.8). U početnom stadijumu prevladjuje pritisni napon σ_{nA} , a porastom hoda alata raste uticaj zateznog napona (σ_{xA}) uz porast β faktora, odnosno pogoršanje uslova deformisanja.

Primenjena eksperimentalna metoda odredjivanja kontaktnih napona i parametara deformabilnosti pri slobodnom sabijanju cilindričnim alatima dala je zadovoljavajuće rezultate. Deformaciona sila odredjena na osnovu izmerenih kontaktnih napona (kriva F_k - sl.8) dobro se slaže sa dijagramom sile, odredjenim direktnim snimanjem na mašini (kriva F - sl.8).

Dobijeni rezultati u pogledu deformabilnosti materijala na modelu sabijanja cilindričnim alatom, čiji je manji deo prikazan u ovom radu, ukazuju na mogućnost primene modela oblikovanja profilisanim alatima (tabela 1) za detaljnije utvrđivanje dijagrama granične deformabilnosti.

L I T E R A T U R A

1. Kolmogorov, V.L.: Naprjaženija, deformaciji, razrušenje. Metallurgija, Moskva, 1970.
2. Vujović, V., Šabaik, A.: Workability Criteria for Ductile Fracture. Transactions of the ASME - Journal of Engineering Materials and Technology, July, 1986, Vol.108/245-249.
3. Vilotić, D.: Prikaz metode eksperimentalnog odredjivanja kontaktnih napona kod slobodnog sabijanja polucilindričnim alatom. Zbornik radova XIX savetovanja proizvodnog mašinstva Jugoslavije, str. 542-548, Kragujevac, 1985.
4. Vilotić, D.: Prilog istraživanju ponašanja čeličnih materijala u različitim obradnim sistemima hladnog zapreminskog deformisanja. Doktorska disertacija, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 1986.
5. Johnson, W., Mellor, P.B.: Engineering Plasticity. Van Nostrand Reinhold Company, London, 1980.
6. Unksov, E.P., Johnson, W. i dr.: Teorija plastičkih deformacija metalov. Mašinstvo, Moskva, 1983.

21. SAVJETOVANJE PROIZVODNOG STROJARSTVA JUGOSLAVIJE, OPATIJA, 1987.

UTJECAJ KONSTRUKCIJE KOMBINIRANOG ALATA
NA KVALITETU AL-PROFILA

THE INFLUENCE OF THE HOLLOW DIE DESIGN
ON THE QUALITY OF AL-EXTRUDED SECTIONS

J.Prgin SOUR Aluminiij Šibenik, R.O. Centar za aluminiij,
59000 Šibenik, Yugoslavia

I.Duplančić Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje,
Sveučilište u Splitu, 58000 Split, Yugoslavia

Ključne riječi: SAŽETAK: U radu je prikazana analiza utjecaja oblika komore za zavarivanje u alatu s mostom na čvrstoću uzdužnih spojeva profila. Čvrstoća uzdužnih spojeva najviše zavisi o pritisku u komori alata. Mrtve zone u alatu djeluju štetno. Istiskivanja profila od AlZn5Mg1 su provedena na 50 MN preši.

Key words: ABSTRACT: This work presents the analysis of influence of the shapes of welding chamber situated in the Bridge die on the strenght of the hollow sections longitudinal joints. The strenght of longitudinal joints is greatly affected by specific pressure in welding chamber. Dead zones in Hollow dies have a negative effect. The extrusion of AlZn5Mg1 hollow sections was done at the Press with 50 MN maximum Force.

1. Uvod

Pod pojmom kombinirani alati podrazumijeva se uglavnom tri tipa alata : komorni, s križnim nosačem trna (Spieder) i s mostom. Svaki tip alata posjeduje svoje prednosti i manjkavosti koje konstruktor uzima u razmatranje kod projektiranja i izbora optimalne konstrukcije.

Komorni alati omogućuju maksimalno iskorištenje trupca, održavanje korektno geometrije teških šupljih profila sa više otvora, ali zahtijevaju veći specifični pritisak a s tim u vezi nude manje brzine istiskivanja.

Alati s križnim nosačem trna (Spieder) se u zadnje vrijeme sve manje upotrebljavaju. Razlog tome je izrazito elastična konstrukcija samog alata, zbog koje je teško postići sve uže tolerancije profila koje zahtijeva tržište. Osim toga, postoje i izvjesne poteškoće za vrijeme montaže i demontaže alatnog sklopa.

Alati s mostom se danas upotrebljavaju samo izuzetno zbog njihovih nedostataka kod odstranjivanja presostatka i lošeg održavanja zahtijevane geometrije složenih šupljih profila. Međutim, primjena alata s mostom naročito dolazi do izražaja kod istiskivanja profila od teško deformabilnih slitina aluminija, koje još imaju dobra svojstva samozavarivanja ($AlZn5Mg1$). Ako je, uz to, pripadajući omjer istiskivanja velik ($A_0/A_1 \geq 60$) tada, iako je specifični pritisak u recipijentu malen ($p < 450 \text{ N/mm}^2$), nastaje spajanje materijala u komorama alata. Ovakove profile drugim kombiniranim alatima nije moguće izraditi [1].

2. Cilj istraživanja

Cilj ovog rada je utvrđivanje utjecaja konstrukcije kombiniranog alata na kvalitetu uzdužnih spojeva kod istiskivanja šupljih profila iz srednje deformabilnih slitina aluminija. Naime, u zadnje vrijeme sveučešćiji zahtijevi tržišta za šupljim profilima većih dimenzija i debljih stijenki. Zbog dimenzionalnih ograničenja i geometrijske složenosti poprečnog presjeka takve je šuplje profile često nemoguće, a i zbog lošeg iskorištenja materijala (gubitak pri probijanju), nije ni ekonomično proizvoditi klasičnim postupkom, preko trna. Time se otvaraju nove mogućnosti za primjenu ekonomičnijih tehnologija pomoću kombiniranih alata. Jedino ograničenje, u tom pogledu, predstavlja ostvarena kvaliteta uzdužnih spojeva tzv. šavova profila.

3. Postavljanje zadatka

Objavljena dostupna literatura po ovoj temi je vrlo oskudna. S obzirom da je konstruiranje alata još uvijek više umijeće a manje nauka [2], dostupna literatura, na empirijskoj osnovi, uglavnom obrađuje pitanja vezana za pravilno dimenzioniranje alata [3], [4], postizanje korektno geometrije profila [5], izbora tipa alata s obzirom na geometriju profila [1]. Još rjeđi su radovi koji tretiraju utjecaj konstrukcije alata na kvalitetu uzdužnih spojeva. U radu Giljdenborna [6] dat je širi opći pristup ovoj problematici.

Dosadašnji radovi na ovoj problematici [7], [8] ukazali su da je osiguranje kvalitete uzdužnih spojeva naročito teško postići kod debelostijenih šupljih profila i kod slitina sa lošijim svojstvima samozavarivanja. Tek strogo kontroliranim parametrima istiskivanja i odgovarajućom konstrukcijom alata moguće je postići kvalitetne uzdužne spojeve iz samo odredjenih slitina aluminija. [8].

U cilju sagledavanja utjecaja konstrukcije alata na kvalitetu uzdužnih spojeva, a s obzirom na činjenicu da ostatak aluminija u kanalima komornog alata može postati vrlo utjecajan faktor [9], [10], istraživanja su provedena po-

moću alata s mostom koji omogućuje ipak samo djelomično odstranjivanje ovog ostatka.

Utjecaj konstrukcije alata na kvalitetu uzdužnih spojeva ispoljava se preko toka materijala i specifičnog pritiska koji alat ostvaruje za vrijeme istiskivanja.

Što se tiče toka materijala osnovna je tečajna konstruktora da maksimalno izbjegne mjesta stvaranja mrtvih zona u alatu. To su zone na oštrim prelazima alata u kojima metal ostvaruje znatno manju brzinu (do potpunog mirovanja) u odnosu na središnje dijelove metala [9], [10]. Uslijed toga, između te dvije zone nastaje smicanje koje ima za posljedicu nehomogena lokalna pregrijavanja zone smicanja.

Značajne utjecaje na kvalitetu uzdužnih spojeva pokazuje maksimalan specifični pritisak. Zbog toga se težište ovog rada svelo na istraživanje konstruktivnih mogućnosti alata s mostom u pogledu maksimalnog povećanja specifičnog pritiska pri istiskivanju debelostijenih šupljih profila iz srednje deformabilnih slitina. U tom pogledu nude se slijedeće mogućnosti:

- a) povećanje visine i širine komore na strani ulaza metala
- b) povećanje visine i širine komore na strani izlaza metala
- c) povećanje visine kalibrirajućeg dijela alata.

U ovom radu istraživane su te mogućnosti samo u okviru točke b.

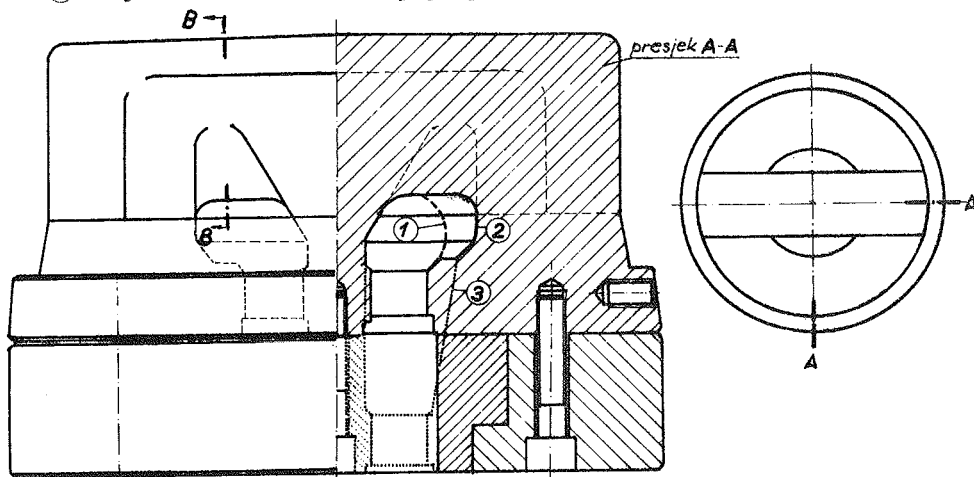
4. Provođenje ispitivanja

Na Slici 1. data je konstrukcija korištenog alata s mostom u tri izvedbe.

Izvedba ① - polazna veličina komore za spajanje (crtkana linija)

Izvedba ② - proširena komora za spajanje (puna linija)

Izvedba ③ - povišena komora za spajanje (točkasta linija)



Slika 1. Jednodijelna (solidna) izvedba alata s mostom

Istiskivanje se izvršilo na horizontalnoj preši maks. sile 50 MN sa trupcima \varnothing 295x700 mm iz slitine AlZn5Mg1.

5. Rezultati ispitivanja

Parametri istiskivanja na 50 MN preši dati su u Tablici 1.

Tablica 1 - Parametri istiskivanja na 50 MN preši

Konst. alata	Broj profila	A_0/A_1	Temper. trupca °C	Brzina ist. m/min	Specif. pritisak $\sigma_{\text{max/min}}$ (N/mm ²)	Vizuelna ocjena spoja 7					
						P		S		K	
1	2	3	4	5	6	a	b	a	b	a	b
1	1	10	525	1,3	225/199	+	-	+	+	+	-
	2	10		2,3	333/199	-	-	+	+	+	-
2	3	10	520	3,7	282/199	+	+	+	+	+	+
	4	10	520	2,3	282/184	+	+	+	+	+	+
3	5	7	545	1,3	397/227	+	+	+	+	+	+

Legenda: (P) - početak, (S) - sredina, (K) - kraj profila,
 (a) i (b) - oznake gornjeg i donjeg spoja
 (+) nevidljiva i (-) vidljiva pukotina

Nakon istiskivanja izvršena je toplinska obrada profila u stanje T6. U tom stanju profili su bili podvrgnuti: metalografskim ispitivanjima (makro izgled uzdužnih spojeva) i ispitivanju rastezne čvrstoće uzdužnih spojeva.

Rezultati ispitivanja makro strukture dati su u Tablici 1 u koloni 7, kroz vizuelnu ocjenu uzdužnog spoja.

Rezultati mehaničkih ispitivanja uzdužnih spojeva dati su u Tablici 2.

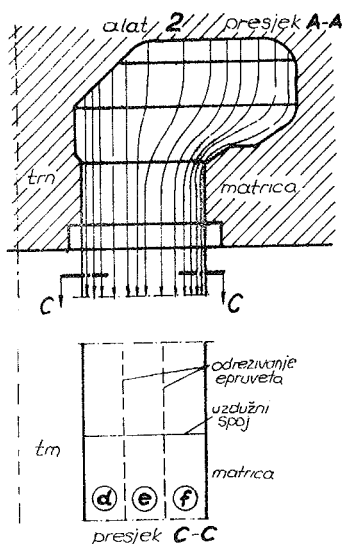
Tablica 2 - Rezultati ispitivanja čvrstoće uzdužnih spojeva profila

Konst. alata	Broj prof.	Rastezna čvrstoća R_m (N/mm ²)								
		P			S			K		
		a	b	c	a	b	c	a	b	c
1	1	170	-	410	370	380	405	310	-	409
	2	-	-	410	275	350	405	325	-	400
2	3	360	350	390	340	350	395	355	349	385
	4	410	419	425	360	260	415	-	323	410
3	5	397	415	425	401	390	423	410	417	425

Legenda: (a) - gornji spoj, (b) - donji spoj
 (c) - osnovni metal

pritisak na početku i kraju istiskivanja u odnosu na ostale profile: spec. pritisak profil 1:5=225/199:397/227 odnosno 1,32/1,14. Usporede li se specifični pritisci ostvareni kod profila 2 i 4 uočava se da je proširenje komore za spajanje prema konstrukciji 2 olakšalo protok metala a tim ujedno smanjilo potrebni maks. i min. specifični pritisak i kod nešto veće brzine istiskivanja. Taj specifični pritisak, vidi se, bio je dovoljan da se proizvedu uzdužni spojevi koji vizuelno ne pokazuju pukotine. Kasnija mehanička ispitivanja ukazala su da profili 3 i 4 ne posjeduju homogenu vlačnu čvrstoću po svojoj dužini (P,S,K) i poprečno po presjeku (spojno mjesto (a) i (b)). Do određenog poboljšanja je došlo zahvaljujući povećanju stupnja deforma-

Rezultati mehaničkih ispitivanja ukazuju da je zadovoljavajuću kvalitetu uzdužnih spojeva (a) i (b) uzduž čitavog profila jedino zadovoljio profil 5, koji je izradjen pomoću alata 3. Iz Tablice 1 se uočava da je alat 3 proizveo najveći specifični



Slika 2. Shematski prikaz toka materijala u komori i način označavanja epruveta poprečno na stijenku profila

cije koje nudi konstrukcija alata 2 u odnosu na 1. Ta činjenica ujedno potvrđuje da značajnije utječe prisutno povećanje stupnja deformacije u komori za spajanje nego smanjenje specifičnog pritiska: stupanj deformacije u karakterističnom presjeku komore za spajanje konstrukcije 1:2= 1,3:1,8.

Vizuelnom kontrolom preloma vlačnih epruveta na mjestu spoja uočila se neujednačena struktura. To direktno ukazuje na neujednačenosti kvalitete spoja unutar jednog presjeka. Zbog toga su izvršena ispitivanja rastezanjem epruveta (d, e i f), izrezanih tračnom pilom prema Slici 2.

U Tablici 3. dati su rezultati ispitivanja rastezne čvrstoće spojeva epruveta izradjenih prema Slici 2. Oni ukazuju da je čvrstoća uzdužnih spojeva primjetno veća za dijelove stijenke uz matricu u odnosu na trn. Time se uočava prednost konstrukcije alata 2 u odnosu na 1. U suštini, to se svodi na dužu putanju čestica metala uz matricu zbog čega se one trebaju kretati brže. Zbog toga se povećava njihova temperatura a i razbijanje oksidnog filma je intenzivnije. Slična zapažanja navedena su i u radu [6].

Tablica 3 - Rezultati ispitivanja R_m prema Slici 2.

Konst. alata	Broj prof.	Rastezna čvrstoća R_m (N/mm ²)								
		P			S			K		
		d	e	f	d	e	f	d	e	f
2	3	338	349	363	350	340	350	342	354	350
	4	418	443	396	276	152	354	pokla	202	445
3	5	394	413	425	423	423	425	425	424	424

Kod profila 5, proizvedenog alatom 3, gubi se ovaj efekt. To znači da je značajniji utjecaj konstrukcije alata koja proizvodi veći specifični pritisak istiskivanja nego turbulentniji tok materijala. Iz navedenog se nameće zaključak da će poboljšanje spajanja materijala u alatu vjerojatno nastati ako se ovi mehanizmi združe u jednoj novoj konstrukciji alata na strani trna.

6. Zapažanja o provedenim isptivanjima

Na kvalitet uzdužnih spojeva najznačajnije utječe postignuti specifični pritisak u komorama za spajanje. Tako pokazuju rezultati u Tablici 1, a imajući u vidu da se istiskivanje izvršilo pomoću alata s mostom, može se prihvatiti da minimalni specifični pritisak na kraju istiskivanja približno odgovara specifičnom pritisku u komorama za spajanje. S obzirom da je profil 5 kvalitetno spojen (uzdužno na P, S i K i u oba spojna mjesta (a) i (b):

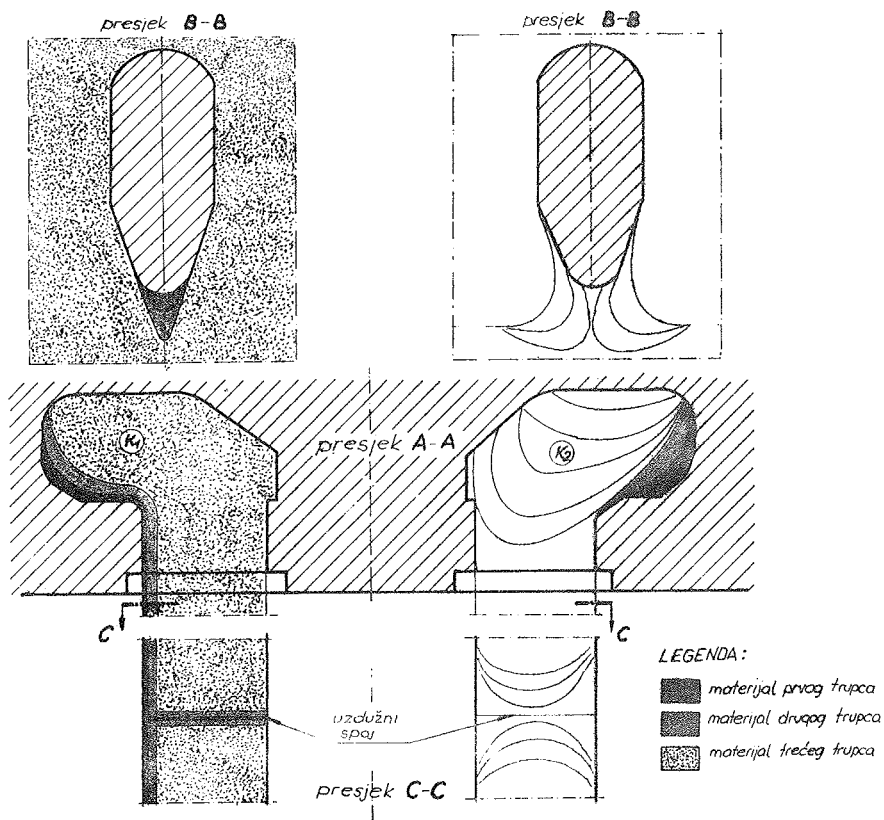
prosječna R_m spoja : R_m osnovni metal = 405:426=95%) i da je izradjen iz slitine AlZn5Mg1, proizlazi da zadovoljava neočekivano mali specifični pritisak u komorama za spajanje od 227 N/mm². Radi usporedbe, navodi se računski podatak o visini specifičnih pritisaka kod istiskivanja cijevi \varnothing 20x 1,5 mm iz slitine AlMg2 pomoću alata s mostom čija je visina komore za spajanje 15 mm odnosno 20 mm i temperatura trupca 420 °C, [6]. On u komori za spajanje iznosi 246 odnosno 283 N/mm², što je znatno više od onog dobijenog ovim ispitivanjem.

Rezultati ispitivanja makro strukture i rastezne čvrstoće uzdužnih spojeva ukazuju da u komorama za spajanje ne postoje isti termomehanički režimi (Tablica 1 i 2). Za obrazloženje ove pojave morao bi se prethodno razlučiti utjecaj geometrijskih razlika između komora alata 1 i 2, kao posljedica strojne obrade, s jedne strane, odnosno eventualnog utjecaja nehomogenosti kemijskog sastava, strukture, temperature i drugih faktora u metalu, s druge strane. Ne ulazeći u ove druge, treba prihvatiti činjenicu da već minimalne geometrijske razlike u komorama alata, kao i razlike u hrapavosti kontaktne površine alata sa metalom, mogu imati značajan negativan utjecaj na kvalitet uzdužnih spojeva. Npr., zbog tih nejednakosti na pojedinim kritičnim mjestima alata stvorit će se različita visina metala u mrtvim zonama.

Na slici 3. je dat shematski prikaz različite zaostale količine metala u mrtvim zonama (pune linije), kao posljedica različite geometrije komora K_1 i K_2 . (presjek A-A). U drugoj projekciji (presjek B-B) dat je, na desnoj strani, prikaz toka materijala uz trn - matricu (crtkane linije). Na lijevoj strani (komora K_1) prikazan je mogući zaostatak metala iz prethodnih istiskivanja (zasjenjeno). Postojanje zaostalog materijala se uočava i na uzdužnom spoju profila (presjek C-C lijeva strana).

Ako se na trenutak pretpostavi istiskivanje slijedećeg, četvrtog trupca, uočava se da najprije treba biti istisnut sav zaostali materijal trećeg trupca (označen točkicama) zatim drugog i konačno prvog trupca. Ukoliko termomehanički režim nije moguće držati konstantnim i optimalnim, vjerojatno neće biti moguće, za vrijeme istiskivanja čitavog ciklusa jednog trupca, istisnuti prethodne zaostatke. Zaostatak materijala uz trn, pa bio on vrlo malen, će biti dovoljan da spriječi međuatomski kontakt dvaju prethodno razdvojenih atoma istog trupca. Iz ovog proizlazi da, u konstruktivnom pogledu alat igra odlučujuću ulogu:

- treba dakle konstruirati alat koji će za vrijeme istiskivanja proizvesti minimalno neophodan specifični pritisak u komorama za spajanje
- konstrukciju i strojnu obradu trna alata izraditi tako da je mogućnost stvaranja mrtvih zona uz trn odnosno na njegovoj donjoj površini što manja.



Slika 3. Shematski prikaz toka materijala u pojedinim presjecima alata s mostom

Literatura

- [1] J.Bielen, Strangpresswerkzeuge für Aluminium, Aluminium 52(1986)12 str. 736-740.
- [2] - , O dimenzijama i deformacijama alata za isprešavanje, neobjavljeni tekst, TLM "Boris Kidrič", Šibenik.
- [3] J.Aalberts, Herstellung und Gestaltung von Werkzeugen für das strangpressen von Leichtmetallprofilen, Vorberichte zum Symposium strangpressen, 12-13 November 1970 in Frankfurt/Main
- [4] J.Hribar, Dimensionieren von Matrizenöffnungen zum Strangpressen, Industrie Anzeiger 99(102)21, 12, 1977.

- |5| L.Bello, Die corrections for changing Flow characteristic, Proceedings of 2. International Extrusion Technology Seminar, Atlanta, November 15-17, 1977, Volume II - Extrusion Dies, str. 89-116.
- |6| M.S.Giljdengorn, V.G.Kerov, G.A.Krivosos, Pressovanje so svarkoj poljih izdelij iz Aljominievljih splavov, Metalurgija, Moskva 1975.
- |7| J.Prgin, I.Duplančić, Odredjivanje najpovoljnijeg tehnološkog postupka isprešavanja debelostijenih šupljih profila, III Savjetovanje o problematici proizvodnje, prerade i potrošnje boksita, glinice i aluminija u Jugoslaviji, Šibenik 1984., Zbornik radova str. 123.
- |8| I.Duplančić, J.Prgin, Problematika isprešavanja šupljih profila iz aluminija pomoću kombiniranih alata, Strojastvo 26(1984)1 str. 45-48.
- |9| H.Valberg, A.W.Hansen, J.O.Løland, Metal Flow at the Die in Aluminium Extrusion, Third International Aluminium Extrusion Technology Seminar, Atlanta, April 22-27, 1984, str. 203-208.
- |10| I.Duplančić, Prilog analizi toka materijala kod istiskivanja cijevi, Disertacija, Zagreb, 1985.

21. SAVJETOVANJE PROIZVODNOG STROJARSTVA JUGOSLAVIJE, OPATIJA, 1987.

KONSTRUKCIJA ALATA ZA HLADNO ZAPREMINSKO OBLIKOVANJE
NA OSNOVU NAPONSKOG STANJA U ALATU

WERKZEUG KONSTRUKTION FÜR VOLUMEN KALTFORMUNG
AUF DEM GRUND DES SPANNUNGSSTANDES IM WERZEUG

Č.Veselinović FAZ OUR "SPECIJALNI AUTOMOBILI"
25.000 Sombor, Jugoslavija

Ključne reči: SAŽETAK: Da bi se dao dalji doprinos razvoju tehnolo-
gije hladnog zapreminskog oblikovanja u ovom radu reša-
van je problem konstrukcije alata na osnovu naponskog
Oblikovanje stanja u alatu. Ovak problem je rešavan iz razloga što
Alat sada projektovani uslovi obrade nemaju zadovoljavajući
Matrica vek. Posebno se ne može biti zadovoljan sa vekom poje-
Lom dinih elemenata uslova obrade i to matrica za kalibri-
Konstruktivno ranje, sprotosmerno i istosmerno istiskivanje.

Otkaz ovih uslova obrade nastaje zbog loma normalnog
na osu koji daje najveći doprinos ovom otkazivanju.
Iz tog razloga određuje se karakter promene naponskog
stanja po zonama te na osnovu takve promene daje se
opšte konstruktivno rešenje.

Schlüsselwort: ZUSAMMENFASSUNG: Um ein weiteren Beitrag der Entwick-
lung der Technologie des Volumen Kaltformungs zu geben
in dieser Arbeit ist gelöst das Problem der Werkzeug
Kaltformungs konstruktion auf dem Grund des Spannungsstandes im
Werkzeug. Dieser Problem ist gelöst aus Bearbeitung
Werkzeuge keine zufriedene Dauer haben. Besonder kann mann nicht
Bruch zufrieden sein mit dem Dauer den einzelnene Elemente
Konstruktive der Bearbeitungs Bedingungen und das die Matrice für
kalibrieren, gegen und gleichlauf auspressen.

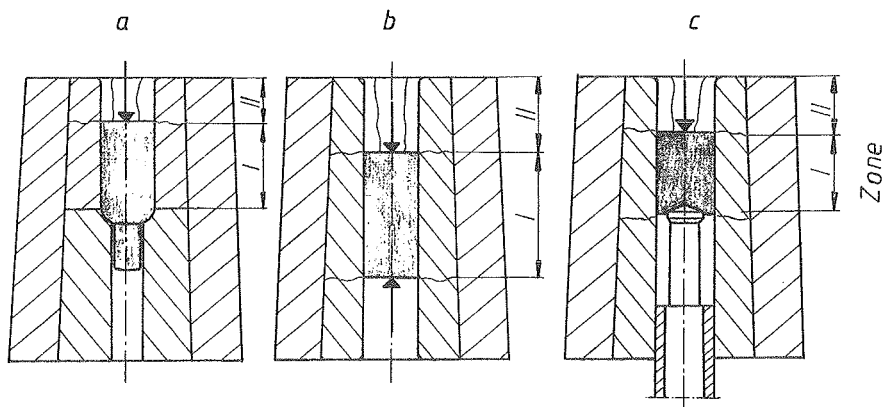
Die Absage diesen Bearbeitungs Bedingungen entstehen
wegen dem Bruch normal auf die Achse welcher den gros-
Beitrag der Absagung gibt. Aus diesem Grund wird der
Charakter der Anderung des Spannungsstandes in den
Zonen bestimmt und auf dem Grund solcher Andering wird
die allgemeine konstruktive Losung gegeben.

1. Uvod

U ovom radu se nastavlja izučavati problem poboljšanja postojanosti
alata u odredjenim uslovima obrade. Postojanost alata se analizira kod
tri procesa i to:

- Kod suprotnosmernog istiskivanja,
- istosmernog istiskivanja i
- kalibrisanja.

Na osnovu praćenja postojanosti alata u toku eksploatacije jednog sata alata zabeleženo je da oblik loma normalnog na osu je 70% zastupljen u odnosu na sve lomove koji se javljaju. Analizom lomova na matricama može se zaključiti da se lom umetaka koji je od tvrdog metala najčešće javlja po ravni koja deli dve zone. Te dve zone su prikazane na sl. 1 a one se razlikuju po tome što je u jednoj zoni radni pritisak $P_1 = 0$ a u drugoj zoni $P_1 \neq 0$.



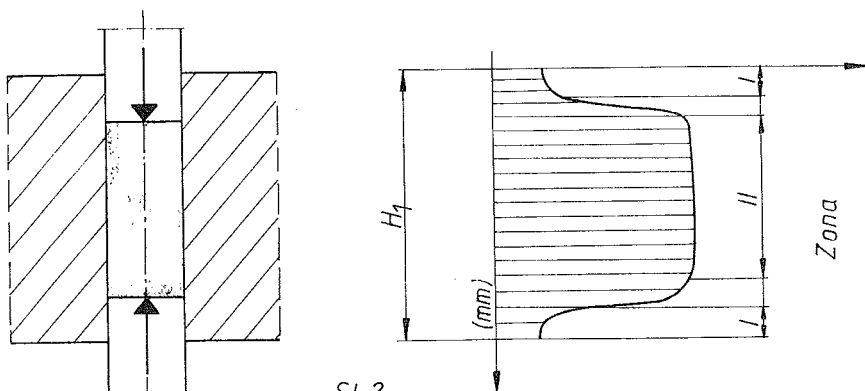
1. Lom normalan na osu
2. Lom paralelan sa osom

Sl.1

Polazeći od činjenice da se kod alata u kojima se vrši kalibriranje, suprotnosmerno i istosmerno istiskivanje u toku oblikovanja javljaju radijalni i tangencijalni naponi moglo se pretpostaviti da u ravni koja deli dve zone dolazi do loma zbog ekstremnih promena napona u toj ravni. Ako bi izvršili sečenje umetaka matrice po ravni paralelnoj sa osom, mogli bi videti da se lom javlja u ravni u kojoj se nalaze bazne površine obratka sl. 3.

Ovakvi lomovi su rezultat pretpostavke da po visini matrice vlada isto naponsko stanje tj. da postoji jedna zona. Ovakva pretpostavka nije tačna iz razloga što u toku oblikovanja obratka postoji više zona, i što je veća razlika radijalnog napona po zonama lom će pre nastati. Ovakvom lomu znatan doprinos daje isto prednaponsko stanje po visini umetka koje je nastalo postavljanjem umetaka u ojačavajući prsten. Na ovaj način dobijena je jedna zona koju karakteriše negativan radijalni napon po celoj visini umetka. U toku oblikovanja obratka, u matrici po visini umetka jedna zona se eliminiše iz razloga što po visini umetka ne vlada isti radijalni pritisak. Ovaj pritisak je u funkciji procesa oblikovanja i on je različit za kalibriranje suprotnosmerno i istosmerno istiskivanje.

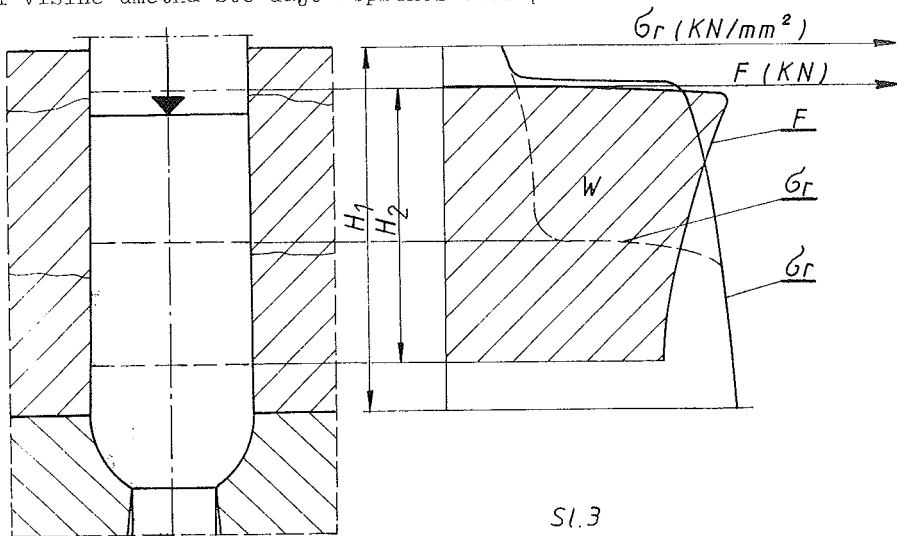
U toku procesa kalibriranja javljaju se dve zone, a maksimalna razlika vrednosti radijalnih napona se javlja na mestu prelaza jedne zone u drugu sl. 2.



Sl. 2

Kod suprotnosmernog istiskivanja najveća razlika radijalnog napona po zona-ma je na mestu kontakta tiskača i obratka sl. 1 C.

Kod istosmernog istiskivanja sl. 3 u toku procesa oblikovanja javlja se problem, što se mesto prelaza jedne zone u drugu kreće u skladu sa kretanjem tiskača. Ovaj problem je interesantan kod istiskivanja obradaka kod kojih je uz istu potrebnu deformacionu silu potreban znatno veći deformacioni rad. Umetak matrice u kojem se vrši istiskivanje obratka najčešće se lomi i na polovini visine umetka što daje doprinos ovom problemu.



Sl. 3

Obratci kod kojih je uz istu deformacionu silu potreban manji deformacioni rad, lom se bez obzira na problem kretanja prelaza jedne zone u drugu javlja samo na jednom mestu. To mesto odgovara baznoj površini obratka koja je u kontaktu sa tiskačem na samom početku istiskivanja.

Ovaj problem je od značaja jer se umetak lomi znatno pre očekivanja. Kad se umetak matrice koja je smeštena u fazi (i) polomi tada se obradak nepravilno oblikuje. Nepravilno oblikovanje obratka koje se ovde javlja doprinosi smanjenju postojanosti alata smeštenih u fazama (i + n) u kojima se vrši oblikovanje tako loše deformisanog obratka.

Cilj ovoga rada je da se izvrši suptilna analiza naponskog stanja u umetku i ojačavajućem prstenu, usled radnog i kontaktnog pritiska, te na osnovu karaktera promene naponskog stanja daje konstruktivno rešenje kojim će se konstrukcija alata prilagoditi naponskom stanju u alatu.

2. Analiza naponskog stanja u matrici sa ojačavajućim prstenom

S obzirom da se lom javlja na cilindričnom delu matrice, na tom delu će se izvršiti analiza naponskog stanja. Analiza naponskog stanja će se izvršiti pomoću Lameovih jednačina (1) za određivanje radijalnih i tangencijalnih napona u debelozidanom cilindru, što treba da omogući određivanje uzroka ovakvog loma.

$$\sigma_r = \frac{P_1 R_1^2 - P_2 \cdot R_2^2}{R_2^2 - R_1^2} - \frac{(P_1 - P_2) R_1^2 \cdot R_2^2}{2(R_2^2 - R_1^2)}$$

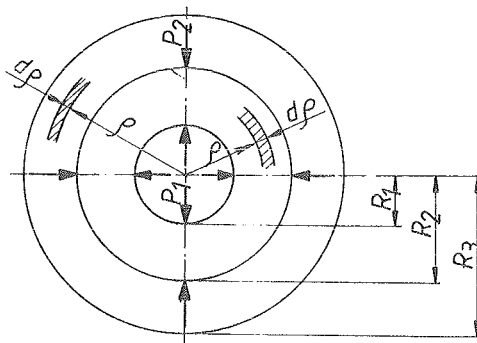
..... 1

$$\sigma_t = \frac{P_1 \cdot R_1^2 - P_2 \cdot R_2^2}{R_2^2 - R_1^2} + \frac{(P_1 - P_2) R_1^2 \cdot R_2^2}{2(R_2^2 - R_1^2)}$$

σ_r - radijalni naponi

σ_t - tangencijalni naponi

Ostale oznake u jednačinama su prikazane na sl. 4.



Sl. 4

Odredjivanje geometrijskog oblika cilindričnog dela alata na osnovu naponskog stanja u alatu kao i karaktera promene, kako komponentata tako i rezultujućeg napona zahteva da se izračunaju komponente napona u umetku i ojačavajućem prstenu usled:

- napona koji potiču od pritiska P_2
- napona koji potiču od radnog pritiska P_1 .

Nakon izračunatih komponentata potrebno je odrediti odnos pritisaka $\frac{P_1}{P_2}$ kako bi se naponsko stanje prikazalo u funkciji samo pritiska P_2 .

Da bi odredili odnos pritisaka pretpostaviće se da je umetak od tvrdog metala GV 60 a ojačavajući prsten od čelika Č 4751. Odnos zateznih čvrstoća navedenih materijala prema katalogu proizvođača je:

$$\frac{\sigma_{dGV}}{\sigma_{dč}} = \frac{2500}{1700} = 1,47 \approx 1,5$$

Uslov čvrstoće prema energetske teoriji se računa po jednačini:

$$\sigma_{dGV} = \sqrt{(\sigma_{t1} - \sigma_{r1})^2 + \sigma_{t1} \cdot \sigma_{r1}} \quad \dots 2$$
$$\sigma_{dč} = \sqrt{(\sigma_{t2} - \sigma_{r2})^2 + \sigma_{t2} \cdot \sigma_{r2}}$$

Ako se odnos zateznih čvrstoća i jednačine 1 uvrste u jednačine 2 te se to sredi dobija se kvadratna jednačina 3.

$$P_1^2 - 5,278 P_1 \cdot P_2 - 3,18 P_2^2 = 0 \quad \dots 3$$

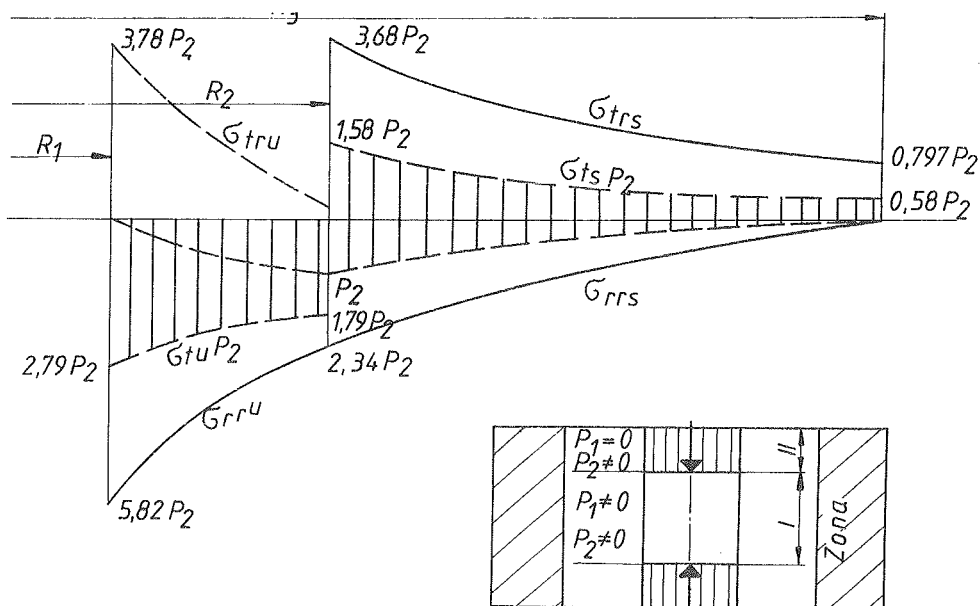
Rešenja jednačine su:

$$P_1 = 5,82 P_2 \quad \text{i} \quad P_1 = -0,546 P_2$$

Kada se zna odnos pritiska $\frac{P_1}{P_2}$ tada se može pristupiti daljoj analizi naponskog stanja.

2.1. Analiza karaktera naponskog stanja usled radnog i kontaktnog pritiska

U cilju komparativne analize karakter promene naponskog stanja, usled radnog pritiska prikazaće se na sl. 5 u funkciji kontaktnog pritiska P_2 .



Ako analiziramo radijalne i tangencijalne napone u funkciji kontaktnog pritiska P_2 tada možemo uočiti da je razlika po zonama značajna. Radijalni napon u zoni I u unutrašnjem prstenu za $\rho = R_1$ je 5,82 puta veći nego u zoni II, dok tangencijalni napon je za 5,57 puta veći u zoni I nego u zoni II. Rezultat ovih razlika i ovakvog naizmenično promenljivog naponskog stanja, čiji je broj ciklusa od 50 - 1200 je lom normalan na osu, da bi odmah nakon toga nastalo prskanje dela umetka po ravni koja je paralelna sa osom matrice. Da bi se sprečio ovakav lom cilindrični deo umetka se deli na dva dela, s tim da podeona ravan bude na mestu granične površine koja je normalna na osu i koja se graniči sa zonom u kojoj je pritisak $P_1 = 0$ i prelazi u nivo gde je $P_1 \neq 0$.

3. Zaključak

Za promenu naponskog stanja u umetku i ojačavajućem prstenu izraženog preko pritiska P_2 možemo reći da se dobio karakter promene naponskog stanja. Ovakva promena napona po zonama u umetku od tvrdog metala doprinosi bržem lomu umetka koji čini jedno kompaktno cilindrično telo u kojem vladaju dva različita ekstremna nivoa radijalnih i tangencijalnih napona. Da bi se prilagodila konstrukcija ovakvoj promeni po graničnoj površini koja deli dve zone mora se izvršiti podela tvrdog metala.

Osim ovih analiziranih procesa možemo doći do zaključka da na svim mestima na kojima dolazi do takve promene odgovarajućim metodama uticaj promene potrebno je eliminisati.

Na primer kod oblikovanja kuglice za ležajeve ili sveričnih izradaka takodje se javljaju dve zone.

Osim ovog problema uočeni su i drugi, na primer koliko podela na jezgru je potrebno izvršiti s obzirom da se kod istiskivanja javlja problem putujućeg maksimuma, zatim kako oblikom obratka iz faze (I) možemo ujednačiti naponsko stanje u alatu smeštenom u fazi (i + 1).

Ovakav pristup konstrukciji matrica daje jednu osnovu za dalja razmišljanja o prilagodjenju konstrukcije alata naponskom stanju u njemu, u cilju kako bi postojanost alata bila veća, što bi omogućilo dalji razvoj obrade deformisanjem.

Literatura:

- /1/ Vlado Vujović, Deformabilnost materijala pri zapreminskom oblikovanju, Mašinski fakultet Skoplje, Skoplje 1981.
- /2/ Billigman, Feldman, Stauchen und Pressen, Carl Hanser, Munchen 1973.
- /3/ Benjanac, Nauka o čvrstoći, Tehnička knjiga Zagreb, 1973.
- /4/ M.E. Plančak, Prilog istraživanju naponsko deformacionog stanja u procesima hladnog istiskivanja čelika, Doktorska disertacija.
- /5/ Čedomir Veselinović, Prilog istraživanju optimalne geometrije alata pri višefaznom zapreminskom oblikovanju na automatskim mašinama, Magistarski rad, Novi Sad, 1983.

21. SAVJETOVANJE PROIZVODNOG STROJARSTVA JUGOSLAVIJE, OPATIJA, 1987.

RAČUNALNIŠKO PODPRTO NAČRTOVANJE TEHNOLOGIJE IN KONSTRUIRANJE
ORODIJ ZA KOVAŠKO VALJANJE
COMPUTER AIDED PROCESS PLANING AND DESIGN OF ROLL DIES

K. Kuzman Fakulteta za strojništvo, Univerza "E. Kardelj"
61000 Ljubljana, Jugoslavia

M. Pirtovšek ZELEZARNA RAVNE
62390 Ravne na Koroškem, Jugoslavia

Ključne besede: POVZETEK: Uvajanje računalniško podprtega konstruiranja
Kovaško valjanje in načrtovanja tehnologije kovaškega valjanja omogoča
Valjalna orodja večjo zanesljivost, krajše čase in izbiro najboljše mož-
CAD ne rešitve. Proces kovaškega valjanja je popisan s šte-
vilom operacij in z obliko obdelovanca med posamezno va-
ljalno operacijo. vzdolžni profili valjalnih orodij se
razlikujejo od pripadajočih dolžin valjancev zaradi po-
java prehitevanja.

Key words: ABSTRACT: The implementation of CAD/CAPP into the forge
Forge rolling rolling process enables greater reliability, shorter ti-
Roll dies mes and optimum choice of all possible alternatives. The
CAD forge rolling process is determined by the number of
passes and the shape of workpieces in particular opera-
tions. The longitudinal cross sections of roll dies dif-
fer from the corresponding lengths of the preform becau-
se of forward slip.

1. Uvod

V zadnjih letih smo priče izjemno hitremu prodiranju uporabe računalnikov v vsa področja človeških aktivnosti. Na področju preoblikovanja pa lahko zasledimo relativno zaostajanje v primerjavi z ostalimi panogami obdelovalne tehnike. Vzrokov za to je sicer več, eden od najbolj tehtnih je vsekakor ta, da se ti procesi, ki so večinoma nestacionarni, zelo težko analitično popišejo. Posebno težavno je to pri postopkih preoblikovanja pri višjih temperaturah.

Računalniško podprto določanje tehnologije (CAPP) in konstruiranje ustreznih orodij (CAD) zahteva, da po eni strani proces izredno natančno analitično obdelamo, po drugi pa, da poznamo preoblikovalne karakteristike upo-

rabljenih materialov. S tega stališča je torej iluzorno pričakovati, da bi nabava naj sodobnejšega CAD/CAM sistema v hipu rešila vse naše interne tehnološke probleme. Brez oplemenitenja grobe programske sheme s specifičnimi podatki obstoječe, lastne proizvodnje, bodo računalniško podprte obdelave le približek tistega stanja, ki vlada v določeni tehnološki sredini.

V pričujočem sestavku želimo prikazati, kako smo z leti dograjevali naše znanje s področja kovaškega valjanja ter to končno prelili v računalniško podprto načrtovanje tehnologije in konstruiranja ustreznih orodij. Izhodišče za kakršno koli aktivnost na področju računalniških obdelav predstavljajo algoritmi, ki matematično popisujejo določen problem. Za kovaško valjanje se je dalo iz literature poiskati specifične, delne rešitve, ki so še vedno zahtevale velike ročne posege, korekcije pri izdelavi in osvajanju posameznih orodij. Zato smo bili prisiljeni opraviti vrsto lastnih eksperimentov valjanja /1, 2/, prav tako pa smo sistematično analizirali uspešne tehnološke rešitve iz naše neposredne industrijske prakse /3/. Vse to skupaj je nato zadostovalo, da smo izdelali računalniške programe, s katerimi lahko zanesljivo obdelamo tehnologijo in pripadajoča valjalna orodja /4/.

Računalniško podprta obdelava kovaškega valjanja je sestavljena iz dveh skupin problemov:

- a) določanje tehnologije, zaporedja operacij, oblike obdelovanca v posamezni operaciji;
- b) konstruiranje pripadajočih valjalnih gravur.

2. Določitev tehnologije valjanja in števila operacij

Kovaško valjanje je proces lokalnega tanjšanja podolgovatih surovcev za kasnejše utopno kovanje. Z valjanjem se želi prečni presek surovcev A_0 zmanjšati na A_n . Zato je:

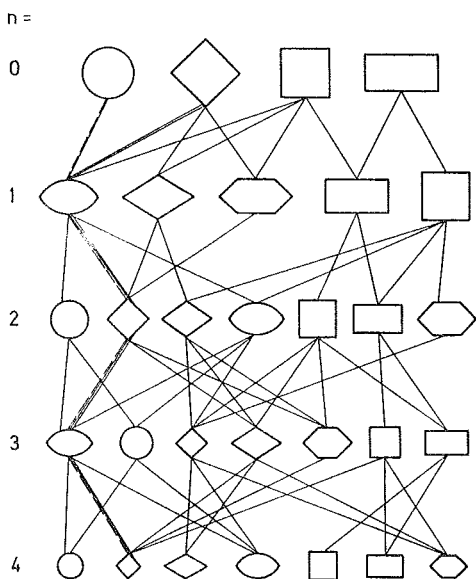
$$\lambda_{\text{tot}} = \frac{A_0}{A_n} = \lambda_1 \lambda_2 \dots \lambda_i \dots \lambda_n \quad (1)$$

Glede na sistem valjanja, kot je podan v sliki 1, vidimo, da valjanje poteka v parih gravur, torej:

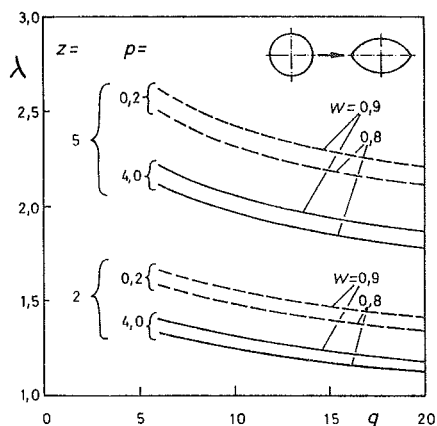
$$\lambda_{\text{tot}} = \lambda_{1,2} \dots \lambda_{i,j} \dots \lambda_{m,n} \quad (2)$$

pri čemer imamo v prvi operaciji dve možnosti, kajti valjamo lahko palice okroglega ($\lambda_{1,R}$) ali kvadratičnega ($\lambda_{1,K}$) prečnega preseka.

Odvisnost koeficientov odvzema λ od parametrov procesa valjanja je bila že pojasnjena na enem od predhodnih posvetovanj /1/, v sliki 2 pa je takšna odvisnost za sistem valjanja krog - oval grafično prikazana. Z ozirom na testiranje različnih funkcijskih odvisnosti smo za naše delo izbrali potenčne funkcije oblike /5/:



Slika 1.: Možni načini kalibracije pri kovaškem valjanju ter izbrana načina (za palice z okroglim in kvadratičnim prečnim presekom)



Slika 2.: Odvisnost koeficienta λ od geometrijskih parametrov procesa valjanja (p -relativna dolžina valjanca, q -relativni premer valjev, z -razmerje osi ovala, w -stopnja zapolnitve gravure)

$$\lambda = a_0 z^{n1} p^{n2} q^{n3} w^{n4} \quad (3)$$

3. Vzdolžni profili valjalnih orodij

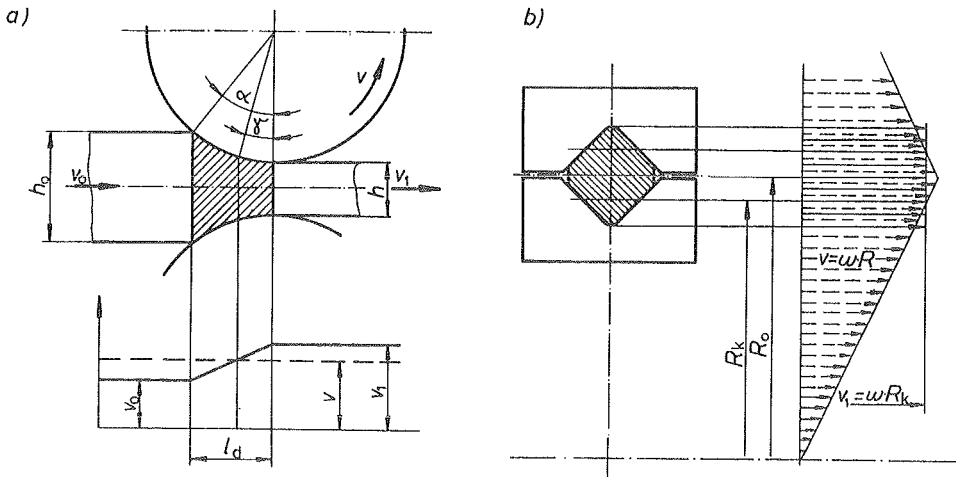
S tem, ko so določeni koeficienti odvzemov λ_i , je ob upoštevanju konstantnosti volumnov mogoče določiti oblike valjanca v vsaki od posameznih operacij. Zaradi dejstva, ker se med valjanjem v deformacijskem področju spreminjajo prečni preseki obdelovanca, se spreminjajo tudi njegove hitrosti. Hitrost valjanca je enaka obodni hitrosti valjev le pri kotu mejne črte γ (slika 3a), če to poteka med gladkimi valji. Pri valjanju v kalibririh (slika 3b) pa je hitrost valjanca enaka obodni hitrosti valjev le na radiju kotalnega kroga R_k . Z ozirom na vse navedeno, je centralni kot gravure β , ki ustreza dolžini valjanca l_1 , podan kot

$$\beta = \frac{l_1}{R_k (1 + s)} \quad (4)$$

kjer je

s - koeficient prehitevanja,

Pri našem delu smo za določitev kotalnega polmera R_k uporabljali metodologijo sovjetskih avtorjev /6/.

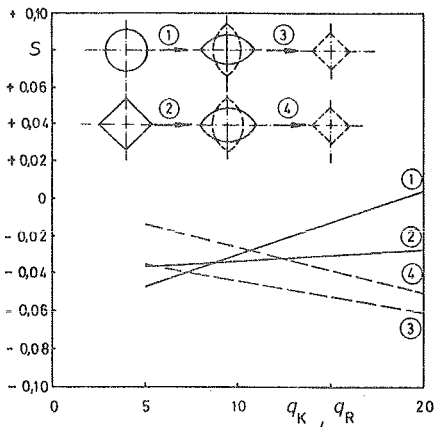


Slika 3.: Hitrosti pri valjanju s konstantnimi prečnimi preseki (a-valjanje med okroglimi valji, b-valjanje v kvadratičnem kalibru)

Isti avtorji so predložili tudi način za določitev koeficienta prehitevanja s . Za osnovo jim je služilo valjanje med gladkimi valji, ki so ga obravnavali z elementarno teorijo plastičnosti. Dobljene odvisnosti pa so nato še korigirali z eksperimentalnimi vrednostmi.

Rezultate naših eksperimentov /1/ smo prav tako analizirali s stališč prej navedenih metodologij. Ker smo za nekatere primere ugotovili dokajšnja odstopanja, smo se pri nadaljnem delu raje poslužili statistično dobljenih odvisnosti koeficienta prehitevanja od relativnega premera valjev q in razmerja osi z :

$$s = a_0 + m_1 q + m_2 z \quad (5)$$



Slika 4.: Koeficient prehitevanja s v odvisnosti od relativnega premera valjev q za konstantno vrednost razmerja osi ovala $z=3,5$

V sliki 4 je podana odvisnost enačbe 5 za primer, če je razmerje osi ovala $z=3,5$. Ako upoštevamo prikazane vrednosti za s ter dejstvo, da je $R_k < R_0$ (slika 3b), tedaj lahko ugotovimo, da znašajo odstopanja dolžin orodij od pripadajočih dolžin valjancev tudi do 10 %.

4. Računalniško podprto določanje tehnologije valjanja

Računalniško podprto določevanje števila valjalnih operacij ter geometrija valjanca med posameznimi operacijami temelji na osnovi podatkov o gotovem valjancu (slika 5-6) ter o medosni razdalji razpoložljivega valjalnega stroja.

Valjanec je lahko sestavljen iz sedmih osnovnih elementov (s konstantnim, naraščajočim ali padajočim prečnim presekom). Takšni primeri so v naši kovaški praksi tudi najbolj pogosti, saj predstavljajo surovce za ojnice motorjev z notranjim izgorevanjem, ročno orodje (vilični ali obročni ključji),

Izhodiščne palice imajo lahko kvadratičen ali okrogel prečni presek. Valjanje nato poteka (v skladu s sliko 1) v štirih ali šestih operacijah. Da se valjanci ne bi preveč ohladili, z njihovim podaljševanjem pa se povečuje tudi nevarnost zvoja, je program tako sestavljen, da je

$$z_1 > z_3 > z_5 \quad (6)$$

kar pa v skladu z enačbo 3, kjer je $n_1 > 0$ in $n_3 < 0$, pomeni, da so tudi

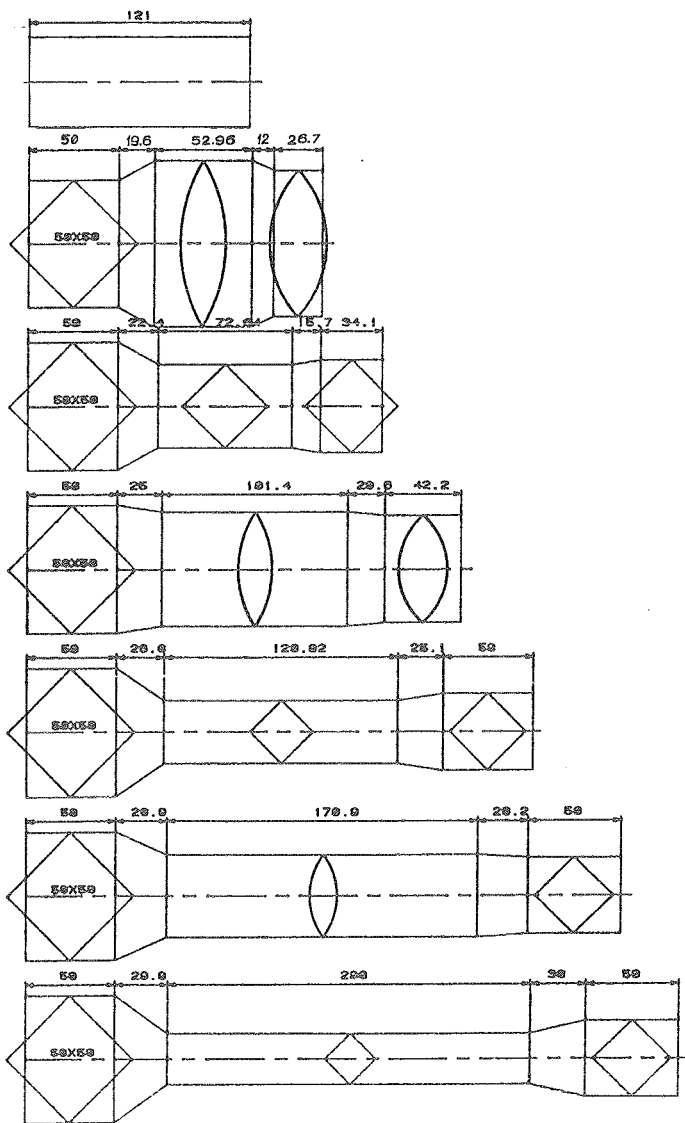
$$\lambda_{1,2} > \lambda_{3,4} > \lambda_{5,6} \quad (7)$$

V primeru, ko sta na valjancu dva elementa s stacionarnim prečnim presekom, je število operacij odvisno od največjega koeficienta odvzema. Valjanje drugega elementa (slika 5 - glava) je podrejeno čim enostavnejši izdelavi orodja, zato ima operater možnost, da v dialogu z računalnikom testira več variant.

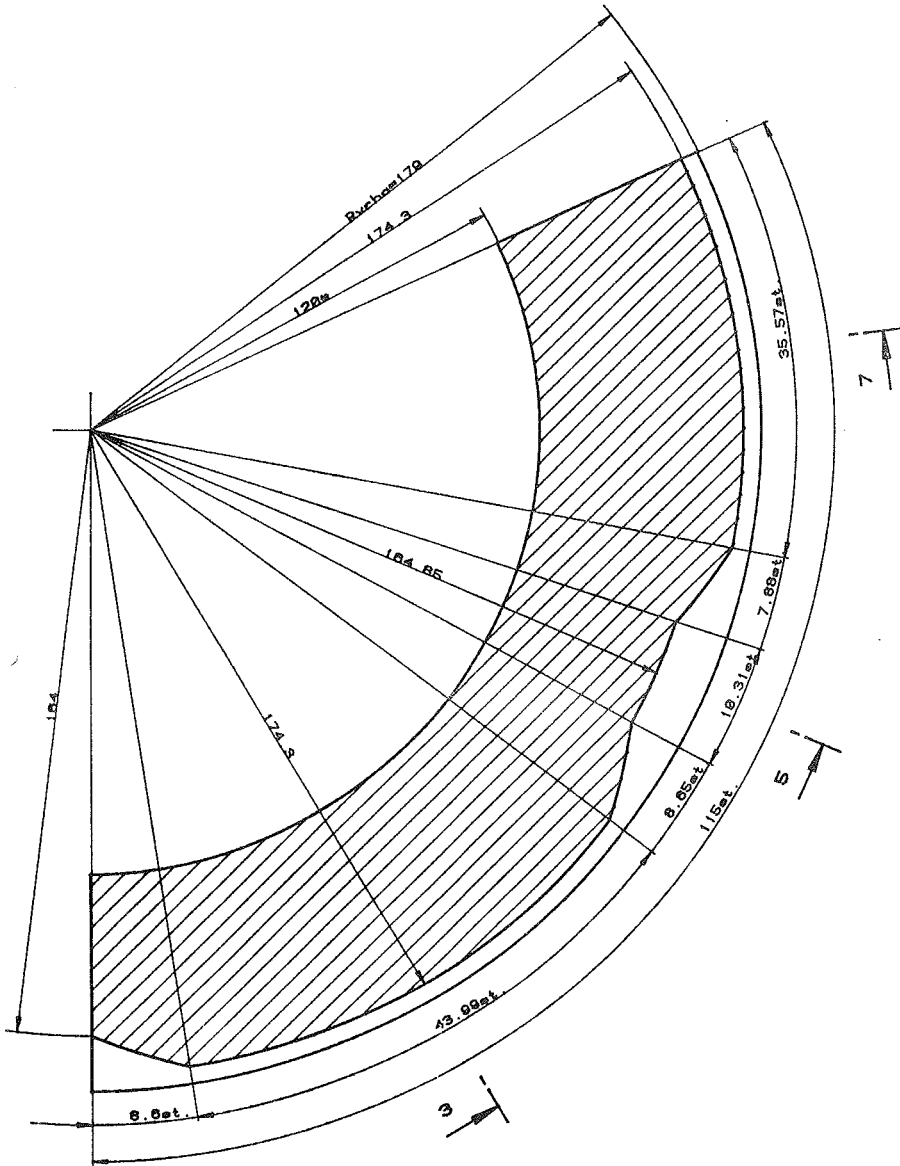
5. Računalniško podprto konstruiranje orodij

Valjalna orodja so segmenti obročev, ki so pritrjeni na trup valjev. Za vsako operacijo potrebujemo par orodij.

Z predhodno določeno geometrijo valjanca (slika 5) ter z znano rego med obema segmentoma, je mogoče določiti in narisati prečne preseke valjalnih orodij. vzdolžni preseki orodij pa se od pripadajočih dolžin valjanca razlikujejo v skladu z enačbo 4. Ob upoštevanju parametrov z , q , geometrije gravure in glede na premer valjev D_0 je mogoče vsakemu elementarnemu delu valjanca določiti pripadajoči centralni kot β .



Slika 5.: Računalniško podprta določitev tehnologije kovaškega valjanja s šestimi operacijami



Slika 6.: Računalniško podprto konstruiranje in risanje orodja za kovaško valjanje.

Ko je vzdolžni profil določen, se konstruirajo še zunanje oblike orodij:

- širina orodja je odvisna od največje širine gravure in enaka prvi večji (interno standardizirani) meri;
- dolžine segmentov so enake za vse opracije ter imajo enega od kotov $\beta_{tot} = 85^\circ$ ali 115° ali 175° ;
- prigradne mere so odvisne od vrste stroja (v našem primeru smo upoštevali podatke o strojih SKV - Ravne).

Potem, ko so vse veličine določene, računalnik izriše risbo orodja (slika 6), po kateri je to mogoče izdelati.

6. Sklep

Uporaba računalnika pri določevanju tehnologije in konstrukciji orodij za kovaško valjanje je pomembna iz več vidikov:

- odstrani se dolgo in zamudno računanje, ki je povezano s poenostavitavmi in možnostmi napak,
- mogoče je obdelati več variant,
- za potrebe komercialnih in organizacijskih služb je mogoče hitro dobiti zanesljive podatke,
- geometrijske informacije je mogoče direktno uporabiti za NC izdelavo kontrolnih pripomočkov, orodij ali EDM elektrod.

Predstavljeni programi niso obsežni, pri našem delu smo uporabljali naslednjo programsko opremo: grafični terminal Tektronix 4054-A in pisalnik Tektronix 4663.

Na ta način smo zasnovali in skonstruirali že nekaj kompletov orodij. Nikjer ni bilo potrebno spremeniti števila operacij, potrebne dodelave in dosežene natančnosti so bile takšne, kot je to običajno v kovaški praksi. V bodoče nameravamo še povečati zanesljivost izračunov, programe pa integrirati v kompleksne obdelave tehnologij utopnega kovanja.

Literatura

- /1/ Kuzman, K.: Kovaško valjanje - ocena teoretičnih in eksperimentalnih izdelkov. Magistrsko delo. Fakulteta za strojništvo, Ljubljana, 1972
- /2/ Kuzman, K.: Problematika dimenzioniranja procesov kovaškega valjanja v ovalnem kalibru. XVIII Savet. Proizv. maš. Jug., Niš 1984, 267-274
- /3/ Kuzman, K.: Contribution to the Analysis of the Forge Rolling Process 3rd Seminar on Metal Forming, Győr 1985, 267-275
- /4/ Kuzman, K.: Problemi pri načrtovanju kovaškega valjanja. Strojniški vestnik, 1985, 9/10, 256-260
- /5/ Kuzman, K.: Metodika vnaprejšnje določitve vplivnih veličin na proces periodičnega valjanja kratkih surovcev v ovalnem kalibru. Disertacija. Univerza E. Kardelja, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana, 1984
- /6/ Tarnovski, I.J., Smirnov, V.K., Kocar, S.L.: Prodolnaja prokatka pro-filej peremennogo sečenija. Metallurgizdat, Sverdlovsk 1962

21. SAVJETOVANJE PROIZVODNOG STROJARSTVA JUGOSLAVIJE, OPATIJA, 1987.

PRILOG OSNOVI UPRAVLJANJA ENERGETSKIM DELOM
PRESA U CILJU ZAŠTITE ALATA

GRUNGVERWALTUNG MIT ENERGETISCHEM TEIL DER
PRESSEN IM ZIEL DES WERKZEUSCHUTZES

Č.Veselinović FAZ OOUR "SPECIJALNI AUTOMOBILI"
25.000 Sombor, Jugoslavija

M.Popović Metaloprerađivačka industrija "BANE SEKULIĆ"
25.000 Sombor, Jugoslavija

Ključne reči: SAŽETAK: U prvom delu rada dat je kratak osvrt na postojeća rešenja i problem koji se javlja pri primeni tih rešenja. Nakon prikazivanja postojećih primenjenih rešenja prišlo se rešavanju problema iz oblasti zaštite alata na osnovu upravljanja energetskim delom na jednopozicionim i višepozicionim presama. Strukturu rada čini sklop elektronike i mašinstva što omogućuje registrovanje karaktera sile potrebne za oblikovanje obratka. Kada sila dostigne do max zadate vrednosti spojnica se isključuje preko elektromagnetnog razvodnika. Primenom ovog rešenja alat se štiti od preopterećenja i loma.

Schlüsselwort: ZUSAMENFASSUNG: Im ersten Teil ist eine kurze Beschreibung auf die bestehenden Losungen und das Problem, das bei der Verwengung von diesen Losungen erscheing, angegeben.

Werkzeug
Pressen
Elektronik
Maschinen
Teiles
Erzeugnisses

Bei Darstellung der bestehenden und gebrauchten Losungen ging es um Losung des Problems aus dem Bereich des Werkzeugschutzes auf der Basis der Verwaltung mit dem energetischen Teil auf Ein und Mehrpositionspressen. Die struktur des Teiles bildet ein Gefüge der Elektronik und das Maschinenteiles, was Registration des Charakters der Kraft, die für Formgebung des Erzeugnisses nötig ist, ermöglicht.

Die wenn Kraft die max. gestellten Werte erreicht, schaltet sich die Kupplung über den elektromagnetischen Verteiler aus. Mit der Anwendung von dieser Losung ist das Werkzeug vor Überladung und Brechung geschützt.

1. Uvod

Analizirajući karakter razvoja izradaka koje je potrebno oblikovati u alatu tada možemo reći da je razvoj izradaka usmeren u tri pravca i to:

- da su sve složenijeg oblika
- da su od materijala čiji je specifični deformacioni otpor sve veći
- da dimenzionalni odnosi teže užem tolerantnom polju.

Kada se alat, koji će zadovoljiti potrebe razvoja izradaka, uz visoku nabavnu vrednost i puno angažovanje sredstava i najkvalifikovanijeg kadra proizvede, počinje eksploatacija alata i to:

- u sistemu bez zaštite alata i
- u sistemu sa delimičnom zaštitom alata.

Kako se rad odnosi na zaštitu alata dalja podela se odnosi na:

- zaštita alata mehaničkim elementima
- zaštita alata pomoću mikroprocesora.

Kod mehaničke zaštite alata primenjuje se jedna epruveta kako kod jednopozicionih tako i kod višepozicionih mašina. Ovaj sistem zaštite nije zadovoljavajući jer rezultujuća sila se menja u funkciji promene sile po fazama oblikovanja. U ovom slučaju preopterećenje alata u jednoj fazi može nastati a da pri tome rezultujuća sila F_i bude manja od sile pri kojoj se epruveta lomi.

Što se tiče zaštite alata pomoću mikroprocesora takodjer nije zadovoljavajuće iz razloga što se mikroprocesorom upravlja projektovanom kinematikom obradnog sistema. U ovom slučaju se jednim delom štiti alat da ne dođe do preopterećenja ali ako dođe to se tada ne registruje i nastaje lom alata. Imajući u vidu da veći broj faktora utiče na kinematiku sistema, a kontrola svakog tog faktora preko senzora sistem bi načinila vrlo složenim i nepraktičnim. Iz tog razloga vrši se samo kontrola reprezentativnih faktora što i tada čini sistem složenim.

Sagledavajući ovako problem došlo se do rešenja da se meri sila u toku procesa, registruje potrebna sila za odvijanje procesa i pojavom svake veće vrednosti sile, od potrebne pri normalnom procesu da se odvoji energetski deo i time alat štiti.

Ovakva zaštita je od značaja jer doprinosi većoj postojanosti alata što dalje daje podršku razvoja izradaka u pravcima koji su u uvodnom delu dati.

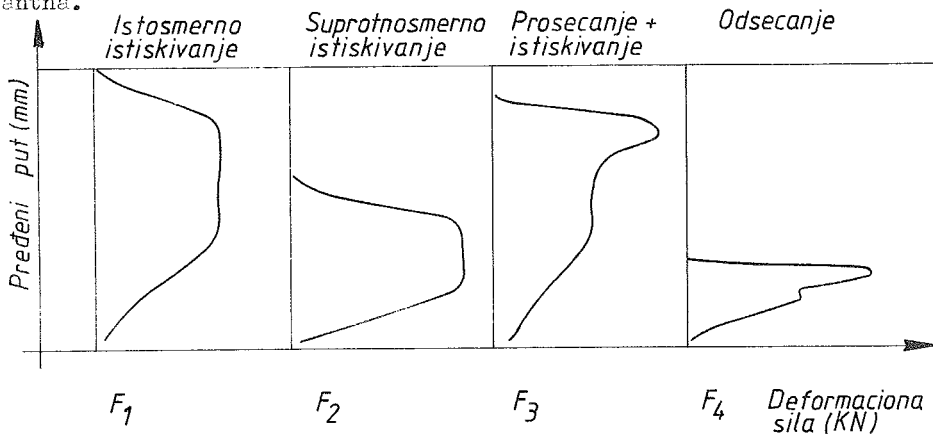
Cilj ovoga rada je da se uz pomoć elemenata mašinstva i elektronike upravlja energetskim delom kako ne bi došlo do preopterećenja i loma alata, a čim opterećenje predje zadatu vrednost da se proces zaustavi. Drugi cilj ovoga rada je da se sistem zaštite može ugraditi na sve tipove mašina ka-

ko na jednopozicionim tako i višepozicionim presama. Imajući u vidu da sistem zaštite treba da je u funkciji procesa izvršio se analiza karaktera deformacione sile z_a neki proces oblikovanja.

2. Analiza promene deformacione sile u funkciji procesa

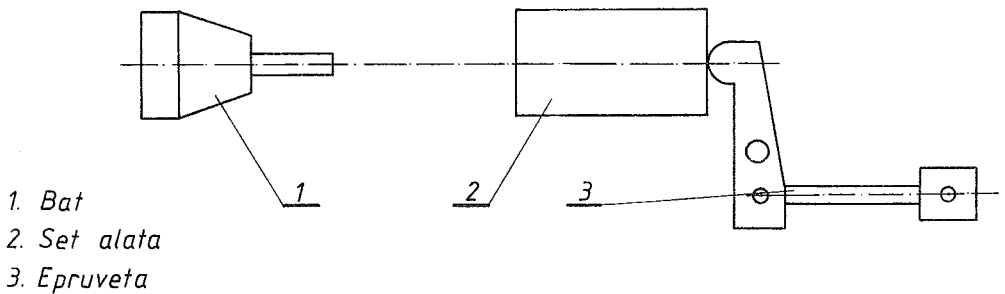
Ako analiziramo promenu sile po fazama na višepozicionim presama sl. 1 tada možemo doći do zaključaka da proces oblikovanja ne počinje i ne završava se istovremeno.

U toku procesa oblikovanja rezultujuća sila se menja i vrlo teško ili nemoguće je projektovati tehnološki postupak da rezultujuća sila bude konstantna.



Sl. 1

Na bazi konstantne rezultujuće sile je i projektovan sistem zaštite pomoću epruvete sl. 2 što govori da ova zaštita nema značaj iz razloga što se epruveta kida pri jednom opterećenju dok znatno manje opterećenje koje vladava u alatu smeštenom u fazi (η) izaziva lom alata u toj fazi.



1. Bat
2. Set alata
3. Epruveta

Sl. 2

Da bi u potpunosti zaštitili alat u svakoj fazi gde se vrši oblikovanje, potrebno je meriti silu a u toku procesa porediti je sa zadatom veličinom i upravljati energijom.

Registrowanje promene sile u jednoj ili u svim fazama u toku procesa se vrši preciznom elektronskom opremom koja radi na principu merenja mehaničkih veličina električnim putem. Ovaj sistem prikazaće se u narednom delu.

3. Registrowanje sile po fazama i upravljanje energetskim delom mašine

Registrowanje sile u jednoj ili u svim fazama se vrši preciznom elektronskom opremom koja radi na principu merenja mehaničkih veličina u električne. Princip se sastoji u tome da se snimač koji je postavljen ispod alata deformiše u okviru elastičnih deformacija pri čemu se izaziva promena električnog otpora.

Promenom električnog otpora menja se i električni napon koji se dalje u instaliranoj mernoj aparaturi transformiše u pokazivanje instrumenata za očitavanje.

Struktura primenjene elektronike sl. 3 sastoji se iz

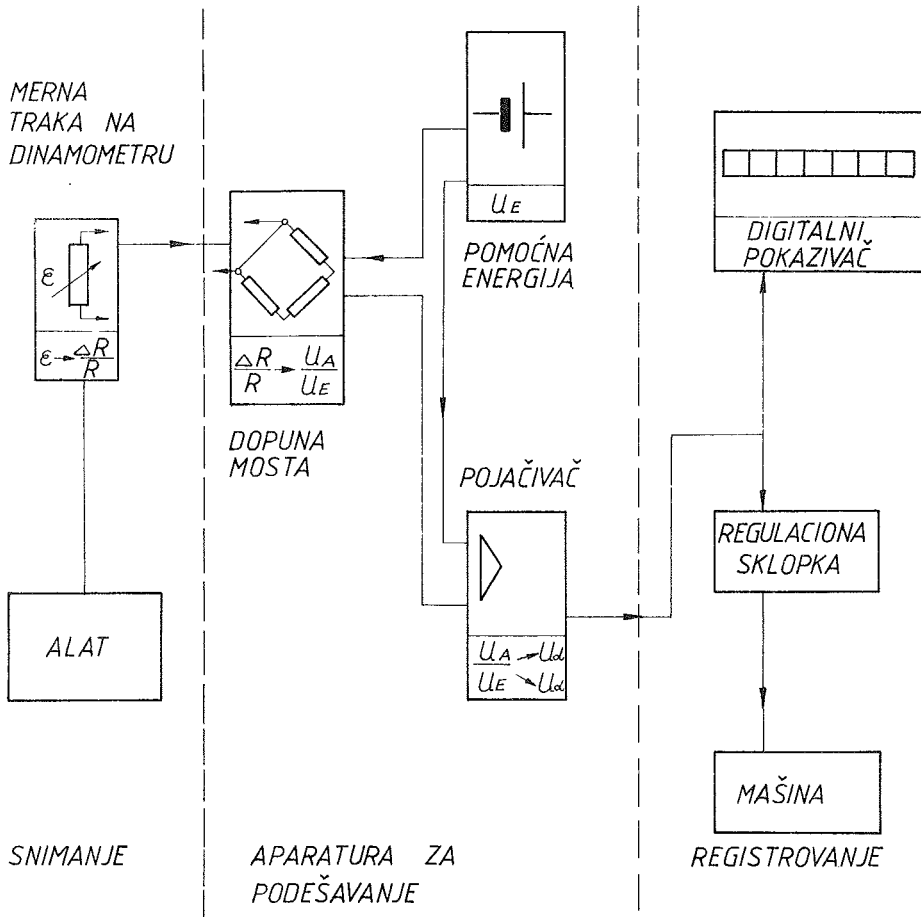
- snimača
- aparature za podešavanje i
- registratora.

Kao snimač koristi se merna traka čija se dilatacija pretvara u relativnu promenu otpora. Merne trake su vezane u Wheatston-ov most odakle se merni signal prenosi u pojačivač a zatim u aparat za registrowanje.

Ovako pojačan signal se prenosi do elemenata elektronike gde se vrši obrada signala a zatim isključivanje prese ukoliko je došlo do preopterećenja alata.

$$\varepsilon \longrightarrow \frac{\Delta R}{R} \quad \text{elastične deformacije dinamometra i mernih traka.}$$

$$\frac{\Delta R}{R} \longrightarrow \frac{U_A}{U_E} \quad \text{pretvaranje elastičnih deformacija u mehaničke}$$



Sl. 3

Postavljanjem dinamometara ispod alata i daljim povezivanjem istih prema sl. 2 registrovaće se potrebna sila za normalno odvijanje procesa oblikovanja. Registrovanjem te sile preko digitalnog pokazivača izvrši se podešavanje regulacione sklopke prema navedenoj sili. Čim sila predje zadatu vrednost sklopka se isključi i mašina staje. Primenom ovog konstrukcionog sistema alat se štiti od preopterećenja i time produžava njihova postojanost.

Ugradnjom ovog sistema energija mašine se prilagođjava potrebnoj energiji procesa što čini značajan korak za razvoj sistema za obradu deformisanjem.

Zaključak

Ovakav sistem zaštite alata je primenljiv na svim mašinama a njen značaj dolazi do izražaja kod alata koji su ugrađeni na mašine koje rade rafalnim režimom. Imajući u vidu da se rafalni režim kreće od 60 do 600 u minuti i kada se desi lom nekog elementa alata (izbacivača) tada vrlo brzo dolazi do preopterećenja a zatim loma.

Kako se alat ne bi izložio preopterećenju potrebno je ugraditi navedeni sistem zaštite alata.

Dalji razvoj ovog sistema treba usmeriti u pravcu njegovog pojednostavljenja i lakše ugradnje. Pojednostavljenje i lakšu ugradnju treba izvesti tako što će se dimenzije dinamometara prilagoditi nominalnoj sili a sklop elektronike ugraditi u postojeći sistem kako bi se dobila kompaktna celina.

U cilju uvodjenja lakše ugradnje potrebno je još u toku konstruisanja mašine predvideti mesto elemenata sistema zaštite alata. Koristeći ovaj sistem, energijom se upravlja tako da za svako prekoračenje opterećenja alata mašina se isključi. Ovako isključenje mašine dalju aktivnost usmerava na pregled alata i elemenata u alatu i tek nakon pregleda, otklanjanja greške proces je moguće ponovo nastaviti.

Literatura

- /1/ Predrag V. Popović, Ukupni stepen tehničko-tehnološkog iskorišćenja mašina za doradu materijala deformisanjem kao pokazatelj stanja i perspektive razvoja sredstava rada za obradu materijala deformisanjem, Mašinstvo 12, 1974.
- /2/ Predrag V. Popović, Stepent energetskog iskorišćenja mehaničkih krivajnih presa pri rafalnom režimu rada, Mašinstvo 11, 1974.
- /3/ Predrag V. Popović, Prilog razmatranju efikasnosti primenljivanih sistema osiguranja mehaničkih krivajnih presa od preopterećenja, Mašinstvo 3, 1970.
- /4/ Lanskoi, N.E. Banketov, N.A. Elementi rasčeta detalej i uzlov krivosipnih presov, Moskva 1966.
- /5/ Vlado Vujović, Obrada deformisanjem u mašinstvu, deo I, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad 1977.
- /6/ R.W.K. Honeycombe The Plastic Deformation of Metals, Edward Arnold, London 1968.
- /7/ Čedomir Veselinović, Prilog osnovi upravljanja energetskim delom u cilju zaštite alata na višefaznim horizontalnim krivajnim presama, Seminarski rad, Novi Sad 1982.
- /8/ Čedomir Veselinović, Prilog istraživanju optimalne geometrije pri višefaznom zapreminskom oblikovanju na automatskim mašinama, Magistarski rad, Novi Sad, 1983.

21. SAVJETOVANJE PROIZVODNOG STROJARSTVA JUGOSLAVIJE, OPATIJA, 1987.

TEHNOLOŠKE MOGUĆNOSTI POVEĆANJA POUZDANOSTI

ALATA PRI OBRADI DEFORMACIJOM

TECHNOLOGICAL POSSIBILITIES OF THE TOOLS

RELIABILITY INCREASE BY DEFORMATION TREATMENT

V. Stevanović Tehnički fakultet Čačak, Univerzitet "S. Marković"
Lj. Papić Kragujevac, 32000 Čačak, Jugoslavija

R. Gavrilović RO FNP "Sloboda" Čačak, 32000 Čačak, Jugoslavija

Ključne reči: REZIME: U radu se razmatraju neke tehnološke mogućnosti koje doprinose povećanju pouzdanosti alata, kao relevantnog faktora u strukturi obradnog sistema, pri obradi deformacijom. Eksploataciona ispitivanja sprovedena su na primeru obrade hladnim istiskivanjem, a utvrđeni kriterijumi ukazuju na značajno povećanje pouzdanosti, odnosno smanjenje intenziteta i gustine otkaza, što je postignuto izmenama u tehnološkom rešenju alata.

Key words: ABSTRACT: This paper analyses some technological possibilities which help the tools reliability increase as important factor in working system by deformation treatment. Exploitation researches are carried out on the sample of cold press treatment. The defined criteria shows significant reliability increase, or the decrease of intensity and frequency of olamage. That is achieved by changes in technological solution of tools.

1. Uvod

Alat predstavlja ravnopravnu komponentu u strukturi tehnološkog obradnog sistema, pa se može smatrati relevantnim faktorom za njegovu funkciju. Od pouzdanosti alata neposredno zavisi pouzdanost obradnog sistema i ekonomičnost čitavog procesa mašinske obrade. Kada se radi o obradi metala plastičnom deformacijom, alati se nalaze u složenim eksploatacionim uslovima sa, najčešće, vrlo nepovoljnim režimima obrade. Ovo ima za posledicu izraženu pojavu otkaza alata, odnosno zastoje u radu čitavog obradnog sistema, što izaziva povećane troškove eksploatacije. U cilju ekonomičnijeg vođenja procesa eksploatacije pristupa se analizi pouzdanosti alata i izmeni postojećeg tehnološkog rešenja, na primeru obrade hladnim istiskivanjem.

2. Napomene o procesu hladnog istiskivanja

Hladno istiskivanje (presovanje) čelika podrazumeva mašinsku obradu plastičnom deformacijom pri kojoj materijal pod dejstvom sile istiskivanja popunjava gravuru alata. Polazni materijal - čelik je u hladnom stanju (sobna temperatura), pa otuda i naziv postupka. Radni predmeti su najčešće rotacionog oblika, mada, u opštem slučaju, to mogu biti i tela nesimetričnih oblika.

Proces plastičnog tečenja čelika u hladnom stanju potpuno je analogan proticanju viskozne tečnosti i pokorava se zakonima mehanike fluida. Čelik, kao i tečnost, na mestima promene poprečnog preseka nailazi na veći ili manji otpor. Hladnim istiskivanjem se u jednom radnom hodu pritiskivača prese (u jednoj operaciji), ako su alati pravilno konstruisani, izrađuju delovi složene konfiguracije. S druge strane, za delove iste složenosti bilo bi potrebno nekoliko operacija po tehnologiji dubokog izvlačenja.

Pri istiskivanju čelika u hladnom stanju dolazi do veoma visokih pritisaka na kontaktnim površinama obrtka i alata što se, u uslovima visokih stepeni deformacije preseka do 0,8, kreće od 100-250 daN/mm². Da bi se neželjene pojave visokog pritiska, koje negativno utiču na pouzdanost i vek upotrebe alata, eliminisale pribegava se prethodnom žarenju i fosvatiranju čelika. Pored toga, u toku obrade se vrši podmazivanje obratka.

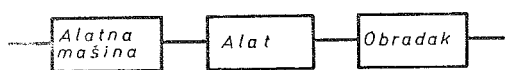
Najveći uticaj na proces obrade hladnim istiskivanjem ima sadržaj ugljenika u čeliku. Povećanje količine ugljenika za 0,1% uslovljava povećanje specifičnog deformacionog otpora za 10-20 daN/mm². To je razlog što se za ovu vrstu obrade deformacijom ne koriste čelici sa preko 0,45% ugljenika. Pored ugljenika, na hladno istiskivanje negativno utiču i ostali legirajući elementi čelika, ali u znatno manjoj meri. Kao gornja granica dozvoljenog sadržaja najčešćih legirajućih elemenata uzima se: 0,03-0,035% fosfora i 0,03-0,035% sumpora.

U novije vreme, razvoj postupka hladnog istiskivanja doveo je do primene savremenih alatnih mašina (presa) za ovu vrstu obrade deformacijom. U upotrebi su višestepene prese sa najsavremenijim rešenjima u pogledu automatizacije funkcije.

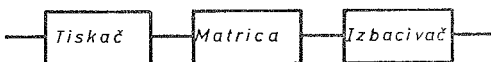
3. Objekat istraživanja i tehnološke varijante obrade

Na pouzdanost alata pri obrade deformacijom može se uticati u sve tri karakteristične faze: konstrukcija (tehnologija), proizvodnja i eksploatacija alata. Kako proces proizvodnje i eksploatacije alata mora biti vođen tako da bude obezbeđen nominalni kvalitet, prostor za analizu pružaju tehnološka rešenja alata koja treba da obezbede viši nivo pouzdanosti.

Do adekvatnih podloga za analizu pouzdanosti došlo se praćenjem obradnog sistema: alatna mašina-alat-obradak (slika 1.) u fazi realne eksploatacije. Kako komponente alatna mašina i obradak, u toku uhodane eksploatacije, imaju zanemarljiv uticaj na nepouzdanost tehnološkog obradnog sistema to evidenciju otkaza ovih celina nije bilo potrebno sprovoditi. Identifikujući



S1.1. Komponente obradnog sistema



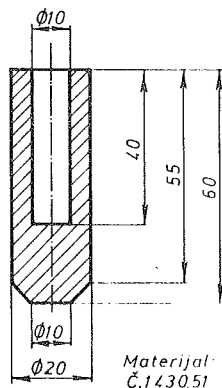
S1.2. Komponente alata

alat kao kritičnu celinu obradnog sistema u procesu obrade hladnim istiskivanjem, sprovedena su eksploataciona ispitivanja komponenti alata (slika 2.) u dve tehnološki različite varijante.

Otpresak prikazan na slici 3. u prvoj varijanti je radjen na mehaničkoj presi "Fritz Werner", sa redosledom operacija kao na slici 4. i redosledom alata kao na slici 6. U drugoj varijanti isti otpresak je radjen na višestepenoj presi "Boltmaster" GB 24-4, dok su redosled operacija i alata prikazani na slikama 5. i 7., respektivno.

Tehnološka varijanta 1. odlikovala se starijim konstrukcijama alata, klasičnim materijalima od kojih su radjeni alati, kao i starijoj tehnološkoj opremi (slika 6.).

Tehnološka varijanta 2. podrazumeva primenu savremenih dostignuća teorije obrade hladnim istiskivanjem. Na toj osnovi konstruisani su najsavremeniji alati, što je uslovljilo izmene u tehnologiji. Izvršene promene u konstrukciji alata se odnose na tiskač i matricu. Kod tiskača je, u svim operacijama, izvršena promena oblika vrha, tako da je kontaktna površina alata i obratka smanjena. Matrice se rade dvokomponentno. U početnim operacijama unutrašnji, radni, deo matrice je od legiranog čelika, a u završnim - od TM. Spoljšnji deo je od legiranog čelika (slika 7.).



S1.3. Radni predmet (otpresak)

Nova tehnološka oprema omogućila je primenu najsavremenijih rashladnih sredstava, što sam alat čini pozdanijim u fazi eksploatacije.

4. Kvantitativne karakteristike pouzdanosti alata

Kvantitativne karakteristike pouzdanosti alata (pouzdanost, nepouzdanost, intenzitet otkaza i gustina otkaza) utvrdjene su polazeći od karti otkaza (tabele 1. i 2.) za obe tehnološke varijante. Periodi praćenja alata u fazi realne eksploatacije obradnog sistema su bili identični - po 3,5 kalendarski istih meseci u dve različite godine. U oba slučaju, identifikacija

otkaza je vršena nakon generalnog remonta u toku koga su funkcionalne celinosti i karakteristike obradnog sistema tako podešene da se sistem sa aspekta analize pouzdanosti mogao posmatrati kao nov.

Već letimičan pregled karti otkaza ukazuje da tehnološku varijantu 2. karakteriše znatno manja učestanost pojave otkaza, u konkretnom vremenskom intervalu, i znatno duži vremenski periodi U RADU alata. Do dinamičkih kriterijuma pouzdanosti alata došlo se primenom metodologije za tzv. veliki broj podataka (68 -

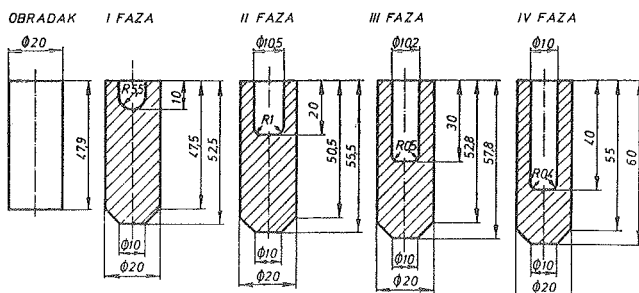
varijanta 1.), odnosno za tzv. mali broj podataka (16 - varijanta 2.), u odnosu na slučajnu promenljivu: vreme U RADU alata. Utvrđene funkcije kriterijuma pouzdanosti alata pokoravaju se teorijskom dvoparametarskom Weibullovom modelu (tabela 3.), što je za tehnološku varijantu 1. prikazano na slici 8., a za varijantu 2. - na slici 9.

Visoku saglasnost (sa verovatnoćom od 99%) teorijskih i empirijskih modela potvrdila je primena Kolmogorov-Smirnovljevog kriterijuma za testiranje neparametarskih statističkih hipoteza.

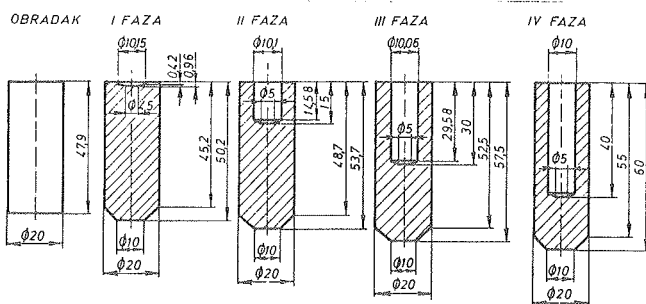
5. Uticaj izmene tehnološkog rešenja na pouzdanost alata

Promenom tehnološkog rešenja alata postignut je pouzdaniji rad čitavog obradnog sistema. To se zaključuje iz uporednih grafika dinamičkih funkcija kriterijuma pouzdanosti alata (slike 10. do 13.) obeju tehnoloških varijanti.

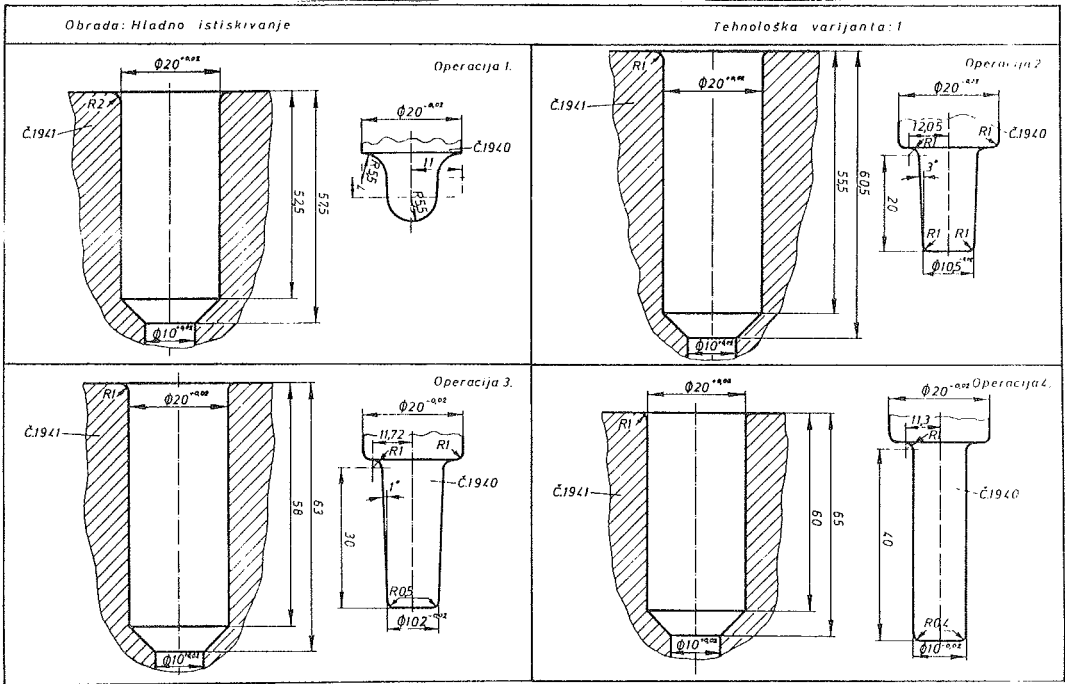
Alat u varijanti 2. u toku perioda od 30 h rada ima neuporedivo viši nivo pouzdanosti u odnosu na varijantu 1. (slika 10.). U varijanti 2., čak 15h u početku eksploatacije alata pouzdanost se održava na nivou bliskom vero-



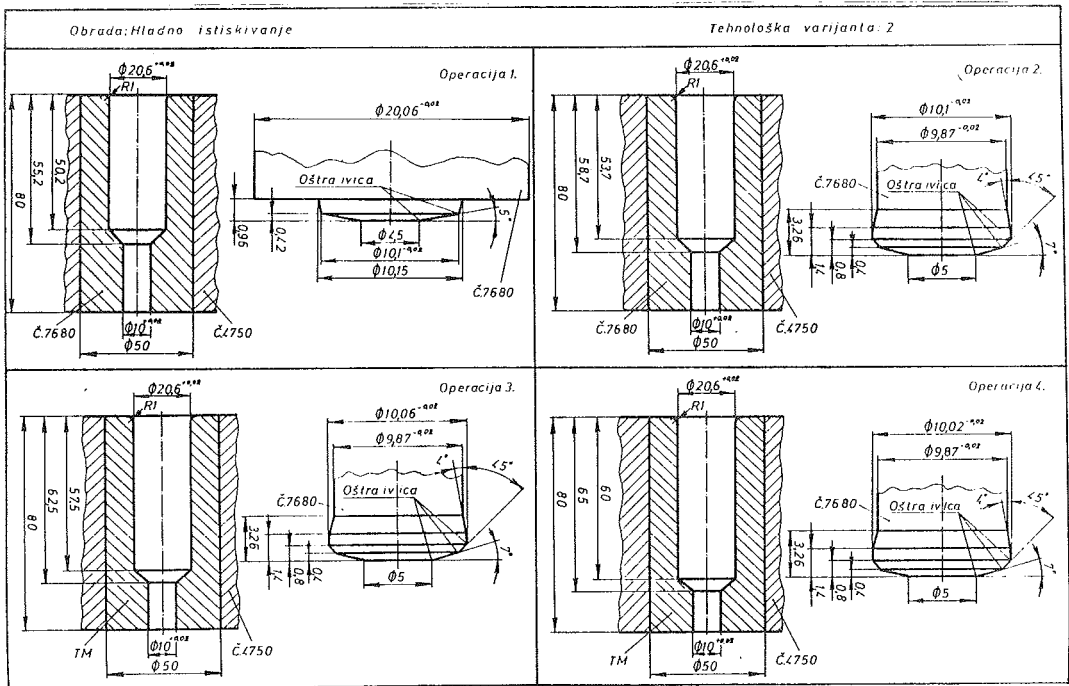
Sl.4. Redosled operacija u tehnološkoj varijanti 1.



Sl.5. Redosled operacija u tehnološkoj varijanti 2.



S1.6. Redosled alata u tehnološkoj varijanti 1.



S1.7. Redosled alata u tehnološkoj varijanti 2.

vatnoći od 100%! Nakon toga, u toku eksploatacije sledi blag pad pouzdanosti, tako da se verovatnoća od 50% ispravnog rada alata postiže posle približno 30 h. U varijanti 1., pouzdanost već posle 14 h iznosi 50%, dok nakon 30 h eksploatacije

alata - teži nuli! U vremenskom intervalu od 20-25 h, u tehnološkoj varijanti 2. postignuto je povećanje pouzdanosti od čak 75%!

Obzirom na fizičku komplementarnost kriterijuma R(t) i F(t), za nepouzdanost (slika 11.) važi analogan komentar.

Izmene tehnološkog rešenja alata dovele su, u varijanti 2., do smanjenja intenziteta i gustina pojave otkaza u toku čitavog perioda eksploatacije alata. U obe tehnološke varijante intenzitet otkaza raste u roku eksploatacije alata (slika 12.).

Medjutim, u poboljšanoj varijanti 2. taj rast je neznatan, tako da nakon 30 h rada alata intenzitet otkaza ima približno 22 puta nižu vrednost u odnosu na istu karakteristiku u varijanti 1. Obzirom na karakter funkcije gustine raspodele (u obe varijante, to je normalni teorijski model kao specijalni slučaj Weibullovog dvoparametarskog

Tab.1. Karta otkaza alata u tehnološkoj varijanti 1.

Red. broj	Vreme u radu (h)	Vreme u otkazu (h)	Uzrok otkaza
1	14,3	0,33	Lom tiskača
2	18,7	0,3	Lom tiskača
3	10,6	0,48	Lom tiskača
4	24,2	0,25	Istrošena matrica
5	8,9	0,5	Lom tiskača
6	13,8	0,13	Istrošena matrica
7	16,2	0,13	Istrošena matrica
8	15,7	0,13	Istrošena matrica
9	13,4	0,3	Lom izbacivača
10	17,8	0,13	Istrošena matrica
11	21,3	0,13	Istrošena matrica
12	18,2	0,14	Istrošena matrica
13	10,9	0,33	Lom tiskača
14	7,3	0,4	Lom tiskača
15	12,9	0,3	Lom tiskača
16	19,2	0,25	Lom izbacivača
17	14,5	0,55	Lom tiskača
18	17	0,13	Proširen tiskač
19	9,4	0,5	Proširena matrica
20	16,2	0,3	Proširena matrica
21	10,1	0,35	Proširena matrica
22	22,8	0,13	Istrošena matrica
23	11,8	0,3	Lom tiskača
24	15,1	0,25	Lom tiskača
25	23,5	0,13	Istrošena matrica
26	7,8	0,72	Lom tiskača
27	14,9	0,26	Lom izbacivača
28	24,8	0,13	Istrošena matrica
29	21,9	0,15	Istrošena matrica
30	19,8	0,18	Proširena matrica
31	12,2	0,25	Lom tiskača
32	13,1	0,26	Lom tiskača
33	9,8	0,33	Lom tiskača
34	17,2	0,2	Lom izbacivača
35	16,9	0,21	Lom izbacivača
36	12,5	0,28	Lom tiskača
37	25,1	0,13	Istrošena matrica
38	10,3	0,38	Lom tiskača
39	19,5	0,15	Istrošena matrica
40	15,5	0,22	Lom izbacivača
41	24,9	0,13	Istrošena matrica
42	19,3	0,15	Istrošena matrica

43	17,9	0,15	Istrošena matrica
44	6,5	0,58	Lom tiskača i izbacivača
45	11,2	0,2	Lom tiskača
46	15,6	0,24	Lom tiskača
47	13,3	0,35	Lom tiskača
48	18,5	0,18	Proširena matrica
49	15,9	0,22	Lom izbacivača
50	22,1	0,13	Istrošena matrica
51	6,9	0,75	Lom tiskača i izbacivača
52	12,5	0,20	Lom izbacivača
53	12,4	0,35	Lom izbacivača
54	8,2	0,65	Lom tiskača i izbacivača
55	18,1	0,18	Proširen tiskač
56	14,2	0,25	Lom tiskača
57	10,5	0,5	Lom tiskača
58	22,2	0,13	Istrošena matrica
59	23,4	0,13	Istrošena matrica
60	16,5	0,2	Lom izbacivača
61	22,8	0,15	Proširena matrica
62	23,6	0,15	Proširena matrica
63	21,5	0,18	Proširen tiskač
64	19,4	0,15	Proširena matrica
65	23,6	0,2	Lom izbacivača
66	22,4	0,13	Istrošena matrica
67	24,2	0,13	Istrošena matrica
68	12		

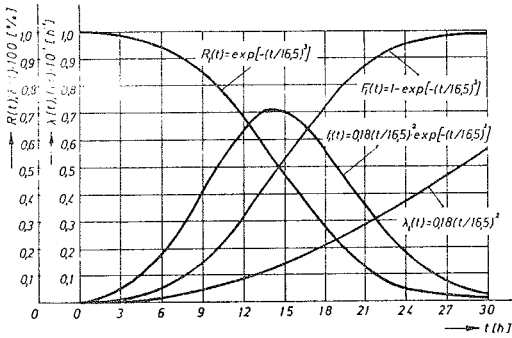
Tab.2. Karta otkaza alata u tehnološkoj varijanti 2.

Red. broj	Vreme u radu (h)	Vreme u otkazu (h)	Uzrok otkaza
1	4,5	0,15	Istrošenje tiskača
2	7,9	0,20	Istrošenje tiskača
3	7,1	0,50	Istrošenje tiskača i matrice
4	8,4	0,20	Istrošenje tiskača
5	5,5	0,15	Istrošenje tiskača
6	7,5	0,15	Istrošenje tiskača
7	7,0	0,50	Istrošenje tiskača i matrice
8	7,2	0,15	Istrošenje tiskača
9	6,0	0,20	Istrošenje tiskača
10	8,5	0,15	Istrošenje tiskača
11	6,8	0,20	Istrošenje tiskača
12	7,8	0,50	Istrošenje tiskača i matrice
13	7,6	0,15	Istrošenje tiskača
14	6,2	0,20	Istrošenje tiskača
15	8,3	0,15	Istrošenje tiskača
16	8,8	0,50	Istrošenje tiskača i matrice

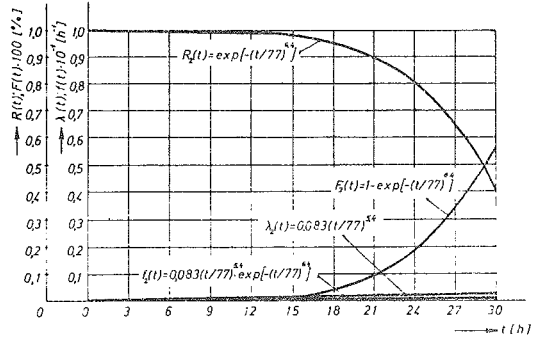
Tab.3. Pregled relacija za dinamičke funkcije kriterijuma pouzdanosti alata, po varijantama

Tehnološka varijanta	Funkcije kriterijuma pouzdanosti alata			
	Pouzdanost (%)	Nepouzdanost (%)	Intenzitet otkaza [h ⁻¹]	Gustina otkaza [h ⁻¹]
1	$R(t) = \exp[-(t/16,5)^4]$	$F(t) = 1 - \exp[-(t/16,5)^4]$	$\lambda_1(t) = 0,18(t/16,5)^3$	$f(t) = 0,18(t/16,5)^3 \exp[-(t/16,5)^4]$
2	$R(t) = \exp[-(t/7,7)^4]$	$F(t) = 1 - \exp[-(t/7,7)^4]$	$\lambda_2(t) = 0,083(t/7,7)^3$	$f(t) = 0,083(t/7,7)^3 \exp[-(t/7,7)^4]$

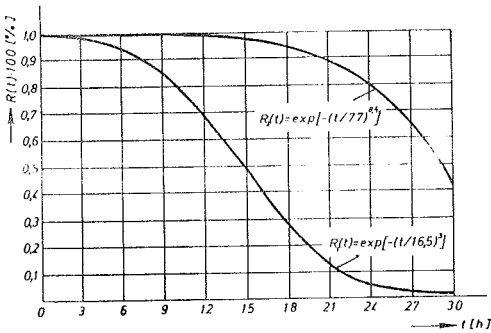
modela), zaključuje se da nakon 14 h eksploatacije alata, varijanta 2. obezbeđuje čak 100 puta nižu frekvenciju pojave otkaza (slika 13.). U daljem toku eksploatacije, obzirom na karakter teorijske raspodele, ovaj odnos se postepeno smanjuje.



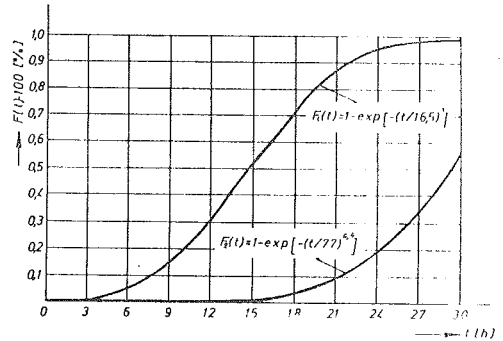
S1.8. Dinamičke funkcije kriterijuma pouzdanosti alata u tehnološkoj varijanti 1.



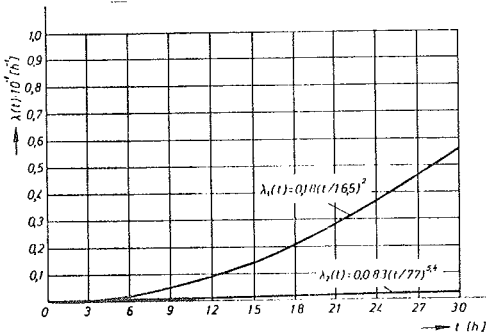
S1.9. Dinamičke funkcije kriterijuma pouzdanosti alata u tehnološkoj varijanti 2.



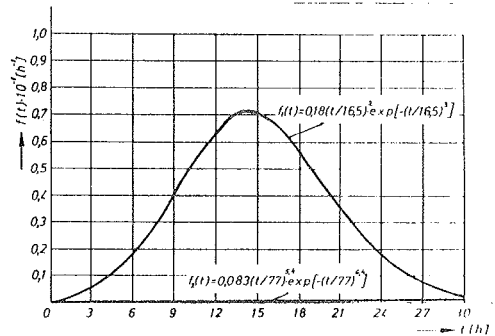
S1.10. Uporedni grafici funkcija pouzdanosti alata u tehnološkim varijantama 1. i 2.



S1.11. Uporedni grafici funkcija nepouzdanosti alata u tehnološkim varijantama 1. i 2.



S1.12. Uporedni grafici funkcija intenziteta otkaza alata u tehnološkim varijantama 1. i 2.



S1.13. Uporedni grafici funkcija gustine otkaza alata u tehnološkim varijantama 1. i 2.

6. Zaključak

Uvodjenjem konstrukcije tiskača sa fazetom ostvarena je znatno manja kontaktna površina alata i obratka u svim operacijama obrade. Ovo je doprinelo boljem rešavanju hladjenja u toku obrade. Zahvaljujući manjoj dodirnoj površini alata i obratka smanjen je broj oštećenja alata i povećana tačnost dimenzija radnog predmeta. Na bazi rezultata eksploatacionih ispitivanja utvrđeno je da tehnološku varijantu 1. karakteriše 68 otkaza alata. U identičnom periodu, u drugoj tehnološkoj varijanti obrade dogodilo se svega 16 otkaza alata slične prirode. To znači da je fizički broj otkaza alata smanjen 4,25 puta.

Analizom pouzdanosti, odnosno poredjenjem dinamičkih funkcija kriterijuma pouzdanosti alata, u obe tehnološke varijante obrade uočavaju se neke karakteristične vrednosti razmatranih kriterijuma:

1. U toku čitavog perioda eksploatacije alata, u tehnološkoj varijanti 2. je postignut viši nivo pouzdanosti. U periodu od 20-25 h pouzdanost je u drugoj varijanti viša čak za približno 75%;

2. Zahvaljujući blagom trendu rasta, dobijeno je da nakon 30 h eksploatacije alata intenzitet otkaza u tehnološkoj varijanti 2. ima približno 22 puta nižu vrednost u odnosu na varijantu 1;

3. Teorijski modeli funkcija gustine otkaza su u obe tehnološke varijante istog karaktera. To je u oba slučaja normalni zakon sa različitim vrednostima parametra: centar rasturanja slučajne promenljive vreme U RADU između otkaza alata. Parametri eksplicitno govore o prednosti varijante 2.: $\bar{T}_{ur1} = 14 \text{ h}$ i $\bar{T}_{ur2} = 75 \text{ h}$. I odnos maksimalnih frekvencija otkaza je u drugoj tehnološkoj varijanti povoljniji: $f_{1max} = 0,71/10^{-1} \text{ h}^{-1}$ i $f_{2max} = 0,39/10^{-1} \text{ h}^{-1}$.

Literatura

- /1/ Todorović J., Zelenović D., Efektivnost sistema u mašinstvu, Naučna knjiga, Beograd, 1981.
- /2/ Musafija B., Obrada metala plastičnom deformacijom, Svjetlost, Sarajevo, 1972.

21. SAVJETOVANJE PROIZVODNOG STROJARSTVA JUGOSLAVIJE, OPATIJA 1987.

POSTOJANOST KORAČNIH ALATA PRI PROSECANJU DINAMO LIMA BESTÄNDIGKEIT DER SCHRITTWERKZEUGE BEI DYNAMOBLECHSTANZEN

T. CVIJETIĆ R.O. "Sever" Fabrika rotacionih električnih mašina
prenosnika, pumpi, projektovanje i inženjering
24000 Subotica, Jugoslavija

Ključne riječi: SAŽETAK: Veliki troškovi koračnih alata za prosecanje lamela statora i rotora rotacionih električnih mašina, kao i ograničena vrednost veličine srha, su osnovna problematika koja je tretirana u ovom radu. Veliki troškovi koračnih alata za prosecanje, koji se u R.O. "SEVER" kreću i do 300 milijona dinara godišnje, su posledica njihove male postojanosti, koja je kod nas manja i do 2 puta u odnosu na svetske proizvođače rotacionih električnih mašina sa druge strane veličina srha, koja direktno utiče na električne osobine rotacionih električnih mašina, je u velikoj zavisnosti od broja otpresaka urađenih sa jednim oštrenjem alata, odnosno dozvoljena veličina srha određuje postojanost alata.

Schlüsselworte: ZUSAMMENFASSUNG: Die in diesem Werk behandelte Grundproblematik stellen die hohen Kosten der Schrittwerkzeuge zum Stanzen von Stator- und Rotorlamellen für elektrische Rotationsmaschinen, und der begrenzte Gratgrößenwert, dar. Die hohen Kosten der Stanz-Schrittwerkzeuge, die bei der A.O. "SEVER" auch bis 300 Millionen Dinar jährlich ausmachen, sind eine Folge deren geringfügigen Beständigkeit, die bei uns, im Vergleich zu den weltbekannten Hersteller von elektrischen Rotationsmaschinen, auch bis zum Zweifachen kleiner ist, die Gratgrösse, die direkt auf die elektrische Eigenschaften der elektrischen Rotationsmaschinen einwirkt, hängt wiederum in grosser Masse von der mit einem einmalig geschliffenen Stanzwerkzeug gefertigten Stanzteilstückzahl ab, bzw. die zulässige Gratgrösse bestimmt die Werkzeugbeständigkeit.

1. Uvod

Prosecanje lima statora i rotora koje se obavlja sa koračnim alatima na automatskim presama se radi iz bunta odgovarajuće širine.

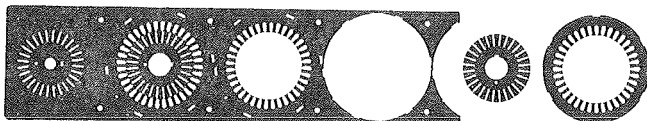
Na sl.1 dato je jedno od rešenja prosecanja lamela statora i rotora koračnim alatom.

Koračni alat se sastoji iz 4 kompleta probojca i matrica. Prvi komplet preseca utore rotora, drugi komplet utora statora, treći komplet odvaja rotorski lim, a četvrti komplet odvaja statorski lim. Pošto se prosecaju različiti profili i preseći to je postojanost koračnog alata ograničena sa pojavom kritične vrednosti srha (grada) koja ne sme biti veća od 0,05 mm na jednoj od površina.

Cilj istraživanja je nastojati izjednačiti postojanost sva 4 kompleta alata probojca i matrica koji čine jedan koračni alat za prosecanje li-

movu rotora i statora. Uspešnom realizacijom postavljenog cilja će se povećati postojanost alata i smanjiti troškovi, a ujedno i poboljšati kvalitet rotacionih električnih mašina.

Problem se rešavao na taj način, što se pratila veličina srha na limu rotora i statora na svim karakterističnim površinama od trenutka rada sa tek naoštrenim alatom pa do pojave kritične vrednosti srha.



PROSECANJE STATORSKOG I ROTORSKOG LIMA KORAČNIM ALATOM
Sl. 1

Pošto na veličinu srha pored alata utiče materijal obratka, sredstvo za podmazivanje, mašina, broj udaraca u minuti, to bi trebalo eksperiment tako i postaviti da se postupno utvrdi uticaj svakog faktora na veličinu srha na taj način što bi se pri ispitivanju uticaja jednog faktora eliminisali ostali faktori. Pošto bi ovakav pristup zahtevao mnogo vremena, a i niz drugih uslova koje je u praksi teško obezbediti (apsolutna tačnost mašine i alata odgovarajući sastav i geometriju materijala itd.) to je ceo rad baziran za proizvodne uslove.

2. Opis postupka i primenjene metode

Rad bazira na obradi velikog broja merenja koja su uradjena na lamelama statorskog i rotorskog lima i obradi dobijenih rezultata merenja. Operacija prosecanja je radjena na automatskoj presi "SHULLER" od 2000KN, a praćena je izrada lamela statora i rotora motora 1 ZK 132/4 od trenutka rada sa tek naoštrenim alatom pa do njegovog istupljenja. Kriterijum za istupljenje alata je pojava kritične vrednosti grada na jednoj od reznih površina. Rezni deo alata (proboja i matrice) je uradjen od alatnog čelika Č.4650, a radjeno je sa 180 (udar/min.).

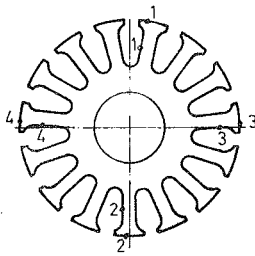
U posmatranom periodu alat je izdržao 54280 udaraca uradivši 12 sarži od čega je 1, 2, 3 bila od dinamo lima "CRELLISOT" tvrdoće 145 HB, a ostale od dinamo lima "FORGES" tvrdoće 129 HB. Uzorci za merenje su zadnjih 10 lamela statora i rotora od svake šarže.

Veličina srha na lameli rotora i statora je merena na utoru lamele rotora i statora spoljašnjem prečniku lamele rotora, statora i na unutrašnjem prečniku lamele statora u 4 položaja. Da bi se iz razmatranja veličine srha eliminisao uticaj klinavosti dinamo lima koja je redovna pojava na lamelama za svaku lamelu rotora i statora je merena i klinavost.

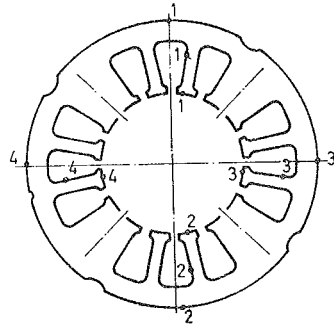
Prema uslovima prijema dozvoljena klinavost dinamo lima na 1 m širine kako se dinamom uglavnom i isporučuje je $\pm 0,02$ mm.

Na sl. 2 i 3 su data mesta merenja veličine srha (grada) i klinavosti na lamelama rotora i statora.

Klinavost lamela rotora i statora je merena na istim mestima kao i veličina srha na spoljašnjem prečniku, stin što je pri merenju vodjeno računa o tome da pipci mikrometra naležu na ravnu površinu lima.



MESTA MERENJA VELIČINE SRHA
I KLINAVOSTI NA LAMELI ROTORA
Sl. 2



MESTA MERENJA VELIČINE SRHA
I KLINAVOSTI NA LAMELI STATORA
Sl. 3

Da bi se dobila tačna vrednost veličine srha u tabelama 1 i 2 je od srednjih vrednosti debljine lamele koja je merena preko srha oduzeta srednja vrednost debljine lamele za odgovarajuća mesta merenja.

Srednja vrednost debljine lamele merena preko srha i na mestima gde nema srha je prosečna vrednost za zadnjih 10 lamela iz jedne šarže za odgovarajuća mesta merenja. Pošto je na svakoj lameli statora uradjeno 16 merenja, a na lameli rotora 12 merenja to je za 12 šarži i 10 lamela po šarži uradjeno:

$$N_1 = 12 \times 10 \times 16 = 1920 \text{ merenja na lamelama statora i}$$
$$N_2 = 12 \times 10 \times 12 = 1440 \text{ merenja na lamelama rotora}$$

Srednja vrednost veličine grada za svaku reznu ivicu statorske i rotorske lamele dato je u tabelama T3 i T4 i odredjena je kao razlika srednjih vrednosti na mestima merenja za odgovarajuću reznu ivicu i vrednosti klinavosti lamela.

U tabeli T5 dat je zbirni pregled svih rezultata merenja veličine srha za svaku šaržu i svaku reznu ivicu kao i srednja vrednost veličine srha za sve šarže koje su uradjene sa jednim oštrenjem alata.

Svi rezultati merenja koji su srednji i predstavljani u tabeli T5 predstavljani su i dijagramski na sl.4.

TABELARNI PREGLED VELIČINE GRADA NA LIPU ROTORA
U tabeli je dato ostupanje od nazivne mere u (µm)

A. BROJ KARTE	B. PRE- SEK	MESTO MERENJA										KLINAVOST										RAZLIKA				T.1	
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4		
1	501	SP	16,6	17,6	18,3	20,5	16,3	18,8	19,4	22,4	0,3	19,4	22,4	0,3	16,3	18,8	19,4	22,4	0,3	16,3	18,8	19,4	22,4	0,3	-1,2	-1,1	-1,3
		UR	23,1	22,3	20,8	22,1																					
2	502	SP	-2,3	-3,3	-0,7	1,3	-1,7	-4,7	-2																		
		UR	0	-4,7	-1,7	5																					
3	502	SP	14	14,8	14,0	14,2	7,2	7,8	5,2	8																	
		UR	10,4	12,2	11	11,6																					
4	137	SP	-2,5	-5,8	-8	-7	-3,3	-8,2	-11,2	-9,2	0,8	2,4	3,2	2,2													
		UR	3	-5	-10,2	-4,5																					
5	175	SP	-6,7	-4	-4,5	-6,5	-6	-4,3	-2,3	-5,2	-0,7	0,3	-2,2	-1,3													
		UR	15,5	9,8	8	5,7																					
6	162	SP	17,6	19,7	22,7	18																					
		UR	18,9	20,3	29,9	28,2																					
7	132	SP	17,6	17,6	17,4	16,6	12,6	10,8	12	11,4	5	6,8	5,4	5,2													
		UR	22	26,8	25,8	22,8																					
8	139	SP	19,5	15,3	13,3	12,8	8,8	4,5	6,5	8	10,7	5,8	6,8	4,6													
		UR	14,3	14	16,5	13,8																					
9	161	SP	7,4	9,4	5,6	10,6	6,4	3	2,2	5,2	1	6,4	3,4	5,4													
		UR	9,2	9,8	8,4	11,2																					
10	157	SP	11,2	11,2	12	12,4	8,2	8,2	8,4	9,6	3	3,6	2,8														
		UR	15,4	16	16,8	18,6																					
11	150	SP	15,5	16,3	17,8	18,5	12,8	2,5	13,8	14,3	2,7	3,8	4	4,2													
		UR	21	23,3	26,5	23,8																					
12	184	SP	9,6	11,4	11,6	7,2	8,8	9,4	12	6,6	0,8	2	-0,4	0,6													
		UR	18,8	24	24,2	33,4																					

SP - Spoljni prečnik lamele rotora
UR - Utor rotora

TABELARNI PREGLED VELIČINE GRADA NA LIPU STATORA
U tabelici je dato ostupanje od nazivne mere u (µm)

A. BROJ KARTE	B. PRE- SEK	MESTO MERENJA										KLINAVOST										RAZLIKA				T.2
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4									
1	501	SP	37,7	28,2	23,5	35,1	21,1	17,3	12,9	19,8	16,6	10,9	10,6	13,3												
		UR	30,9	28,1	23,4	32,5																				
2	502	US	32,4	30	32,7																					
		SP	-5,2	1,6	-4,8	-1	-7	-3,6	-1,6	-5,4	1,8	5,2	-3,2	4,4												
3	502	US	-5,8	-2,6	-1,2	-6																				
		SP	-2,8	-1,2	-2,2	-5,4																				
4	137	US	15,7	13,2	9,3	11,6	14,7	13	9,6	11,1	1	0,2	-0,3	0,5												
		SP	13,7	13,1	12,3	11,7																				
5	175	US	12,3	-6	-4,3	-1,3	-7	-10,5	-8,3	-13	5,3	4,5	4	0												
		SP	-7,8	-3,3	-2,5	-3,8																				
6	162	US	-4,8	-4,3	-0,5	3,5																				
		SP	-1,7	-1	3	3,3	-4,1	-1,1	2,7	2	2,4	0,1	0,3	1,3												
7	132	US	-0,8	-1,1	2,6	-1																				
		SP	-1,3	-0,3	2,6	2	6	4,4	2,4	5,6	-2	0	0,2	-0,6												
8	139	US	3,8	4	2,2	4,6																				
		SP	11,6	8	6,2	11,6																				
9	161	US	13,2	11,8	11,6	12	11,6	11,4	10,8	10,8	1,4	0,4	0,8	1,2												
		SP	20,4	23,4	19,4	13,4																				
10	157	US	15,8	12,2	15,4	15,8																				
		SP	14,2	11	11	13,4	8	5,2	4,8	8,2	6,2	5,8	6,2	5,2												
11	150	US	13,4	11,6	9,4	12,6																				
		SP	7	5,3	-3,8	9,8	3,3	0	-5	1,8	3,7	5,3	1,2	8												
12	184	US	6	3	1,8	4,3																				
		SP	11,6	11	9	9,8	9,4	8,4	8,8	8,6	2,2	2,6	0,2	1,2												
13	157	US	12,4	12	11,6	12,8																				
		SP	12,2	12	10,8	12,2																				
14	150	US	3,8	13,4	15,8	15,8	3,6	13,2	16,2	13,6	0,2	0,2	-0,4	2,2												
		SP	17,6	17,2	18,6	17																				
15	184	US	21,4	23,4	22,8	21,2																				
		SP	-8	-6,4	-9,4	-10	-1,8	-12,2	-13,2	-13,2	1,8	3,8	1,8	3,2												
16	184	US	-11,2	-6,2	-6,16	-12,6																				
		SP	-6	-7	-5,2	-2,6																				

US - spoljni prečnik lamele statora
UP - Unutarnji prečnik lamele statora
US - utor statora

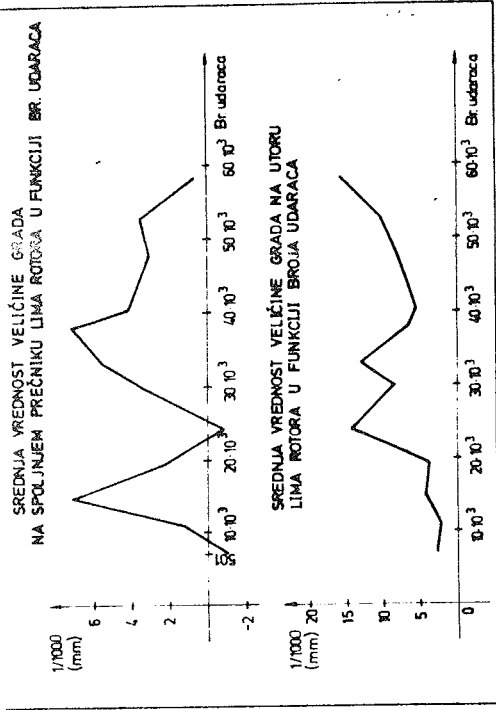
TABELARNI PREGLED OREĐIVANJA SREDNJE VREDNOSTI VELIČINE SREJA NA
LINU STATORA

R. B.	BROJ ŠARJE	PRESEK	T. 4	
			SREDNJE DEBLJINE LITVA SA GRADOK (MP)	SREDNJA VELIČINA GRADA (MP)
1	501	Sp.prečnik Un.prečnik Utor stat.	31,1 29,2 31	17,8 11,4 13,2
2	502	Sp.prečnik Utor stat.	-2,4 -2,9	2 0,2
3	502	Sp.prečnik Un.prečnik Utor stat.	12,5 13,5 12,7	0,4 1,4 0,6
4	137	Sp.prečnik Un.prečnik Utor stat.	-6 -4,4 -3,3	3,7 5,2 6,4
5	175	Sp.prečnik Un.prečnik Utor stat.	0,9 -0,1 0,8	1,0 0 0,9
6	162	Sp.prečnik Un.prečnik Utor stat.	3,7 9,4 12,2	-0,6 -0,9 4,8
7	132	Sp.prečnik Un.prečnik Utor stat.	17,1 19,2 17,1	1 8 5,9
8	139	Sp.prečnik Un.prečnik Utor stat.	12,4 10,2 11,8	5,8 3,6 5,2
9	161	Sp.prečnik Un.prečnik Utor stat.	4,6 2,6 3,8	4,6 2,6 3,8
10	157	Sp.prečnik Un.prečnik Utor stat.	10,4 12,2 11,8	1,6 3,4 3
11	150	Sp.prečnik Utor stat.	12,2 22,2	0,5 10,5
12	184	Sp.prečnik Utor stat.	-11,5 -9,2	2,6 4,9
PROSEČNA VREDNOST		Sp.prečnik Un.prečnik Utor stat.	6,7 7,5 0,1	3,7 3,8 5,4

TABELARNI PREGLED OREĐIVANJA SREDNJE VREDNOSTI VELIČINE SREJA NA
LINU ROTORA

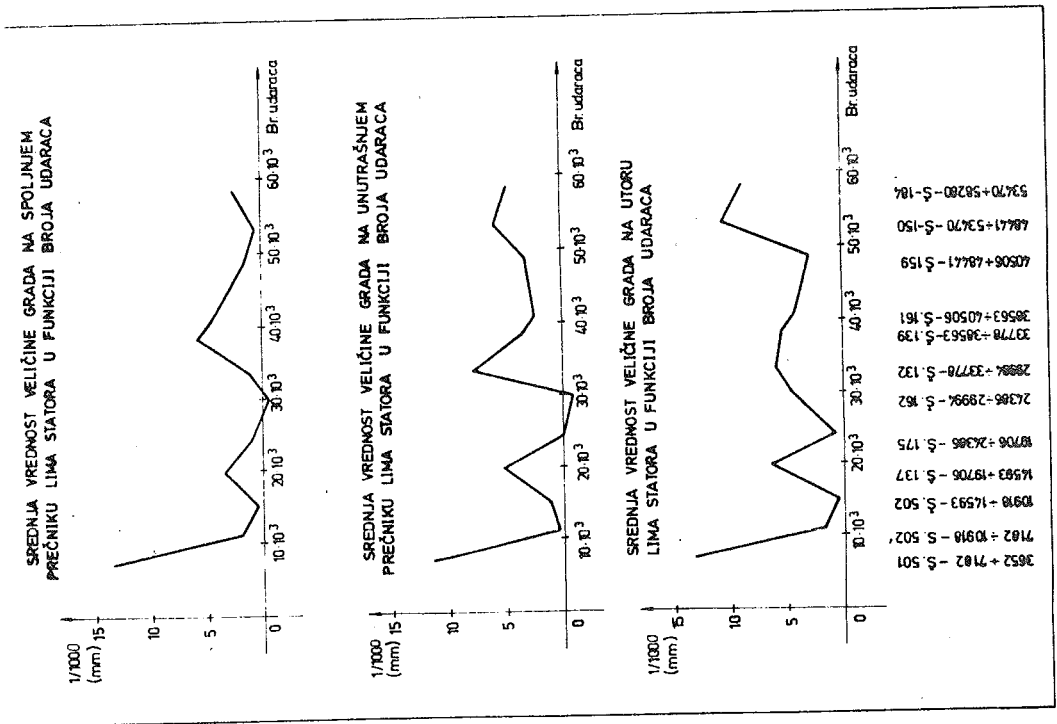
R. B.	BROJ ŠARJE	PRESEK	T. 3	
			SREDNJE DEBLJINE LITVA SA GRADOK (MP)	SREDNJA VELIČINA GRADA (MP)
1	501	SP UR	18,3 22	19,3 2,7
2	502	SP UR	-1,3 -0,4	2,6 2,2
3	502	SP UR	14,3 11,3	7,1 4,2
4	137	SP UR	-5,8 -4,2	-8 3,8
5	175	SP UR	-5,4 9,8	-4,5 14,3
6	162	SP UR	19,5 24,3	16 8,3
7	132	SP UR	17,3 24,4	11,7 12,7
8	139	SP UR	15,3 14,7	8,2 6,5
9	161	SP UR	8,3 9,7	4,2 5,5
10	157	SP UR	11,7 16,7	8,6 8,1
11	150	SP UR	17 23,7	13,4 10,3
12	184	SP UR	10 25,1	9,2 15,9
PROSEČNA VREDNOST		SP UR	9,9 14,8	6,9 7,9

R.	ŠARŽA	ZBIRNI PREGLED SVIH REZULTATA MERENJA												T,5
		BROJ UDARACA		SREDNJA VELIČINA(SRHA)GRADA (1/1000) (MM)			ROTOR		DOBAVLJAČ LIMA	RE-ŽII: (UD min)				
		POČETAK	KRAJ	RAZLIKA	SREDNJA RUPA	UTOR	SPOLJAŠ. PREČNIK	UTOR			SPOLJAŠ. PREČNIK			
1	501	145	4000	7182	3182	11,4	13,2	13,3	2,7	-1				
2	502	145	7182	10918	3736	0,2	1,5	2	2,2	1,3				
3	502	145	10918	14593	3675	0,6	1,4	0,4	4,2	7,2				
4	137	129	14593	19706	5113	5,2	6,4	3,7	3,8	-2,2				
5	175	129	19706	24386	4680	0	0,9	1	14,3	-0,9				
6	162	129	24386	29994	5608	-0,9	4,8	-0,6	8,3	3,5				
7	132	129	29994	33778	3784	8	5,9	1	12,7	5,6				
8	139	129	33778	38563	4785	3,6	5,2	5,8	6,5	7,1				
9	161	129	38563	40506	1943	2,6	3,8	4,6	5,5	4,1				
10	157	129	40506	48441	7935	3,4	3,0	1,6	8,1	3,1				
11	150	129	48441	53470	5029	5,9	10,5	0,5	10,3	3,6				
12	184	129	53470	58280	4810	4,9	8,9	2,6	15,9	0,8				
				54280		3,74	5,46	3,00	7,9	2,68				



GRAFIČKI PRIKAZ VELIČINE SRHA NA LAMELAMA STATORA I ROTORA

Sl. 4



ZAKLJUČAK

Analizom dobijenih rezultata koji su sistematizovani u tabeli T5 i predstavljani dijagramski na sl. 4 nameće se zaključak da se veličina srha povećava sa smanjenjem preseka probojaca. Iz tabele T5 i dijagrama se vidi da je srh najveći na utoru rotora, a najmanji na spoljašnjem prečniku lamele statora.

Analizom dijagrama nameće se i zaključak da je veličina srha na spoljašnjem prečniku lamele statora, unutrašnjem prečniku lamele statora i utora statora u početku rada sa tek naoštrenim alatom veća nego u trenutku skidanja alata sa mašine, dok je kod utora rotora i spoljnjem prečniku lamele rotora srh najmanji.

Iz ovog sledi zaključak da postojanost koračnih alata za prosecanje lamela rotora i statora možemo povećati izradom alata od različitih materijala, na taj način što bi se rezne površine alata sa najmanjom postojanosti (utori rotora i statora) radili od kvalitetnih materijala (npr. tvrdi metal) ili rezne površine manje postojanih delova koračnih alata presvući sa tvrdim metalom ili TUKADUROM. Na ovaj način bi se postojanost alata povećala 2+3 puta dok bi troškovi alata bili veći za 50%.

Na ovom zadatku će se i dalje raditi pri čemu će se posmatrati veći broj tipova lamela rotora i statora, a istraživanje će obuhvatiti uticaj oblika utora statora i rotora kao i uticaj režima rada na postojanost koračnih alata.

L I T E R A T U R A :

1. Fargić S. i Rebac B.: Tence I deo, Sveučilište Zagreb 1968 god.
2. E.N. Kolinin: Gipke i pravka na rotacionih mašinah. Mašinstrojenje, Moskva 1967 god.
3. V. Vučković : Obrada metala deformacijom I deo, Mašinski fakultet Novi Sad 1972 god.

21. SAVJETOVANJE PROIZVODNOG STROJARSTVA JUGOSLAVIJE, OPATIJA, 1987.

UTICAJ JONSKOG NITRIRANJA NA HABANJE ŽIGOVA SA RAZLIČITIM GEOMETRISKIM OBLIKOM GLAVE

PLASMA NITRIDING INFLUENCE ON WEAR OF THE STEMP WITH DIFFERENT GEOMETRY OF HEAD

D. Lupuljev SOUR LŽT "KIKINDA", RO "Numerika", 23300 Kikinda, Jugoslavija

D. Kakaš Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, 21000 Novi Sad, Jugoslavija

Ključne reči:
nitriranje
habanje
žig

SAŽETAK: U radu su prikazani rezultati istraživanja uticaja jonskog nitriranja na habanje žigova sa različitim geometrijskim oblikom glave. Tanki, čisto difuzioni, nitrirani slojevi dobijeni postupkom jonskog nitriranja obezbeđuju višestruko usporenje habanja cilindričnog dela glave žiga. Razlike u intenzitetu habanja postoje kod žigova sa različitim osobinama nanešenih slojeva (sastav, debljina i struktura), ali su one daleko veće kod žigova sa različitim geometrijskim oblikom glave.

Key words:
nitriding
wear
stemp

ABSTRACT: The wear behavior of stemp, with different geometry of head, under influence of plasma nitriding parameters was shown in this paper. Thin diffusion layers, produced by plasma nitriding technology provide very successful reducing the wear of cylindrical part of the stemp head. The differences in wear intensivity was found in dependance of surface layer composition and thickness, but more influence has the stemp head geometry.

1. UVOD

Radni elementi alata za hladno zapreminsko deformisanje izloženi su visokim kontaktnim pritiscima, a u pojedinim zonama i dosta intenzivnom opterećenju na habanje. Kod alata koji rade na automatima prisutno je udarno opterećenje manjeg ili većeg dejstva. Posebno visoka i kompleksna opterećenja, kako u radnom tako i u povratnom hodu trpe žigovi. Izradom žigova od brzoreznih čelika postiže se dobra čvrstoća i žilavost, ali ostaje problem intenzivnog habanja cilindričnog dela glave žiga.

Stoga se pojavila ideja da se trajnost alata može povećati primenom neke metode površinskog ojačavanja, koja će povisiti otpornost na habanje, a da se pri tome ne smanji otpornost na udarno opterećenje.

Jonskim nitriranjem je moguće dobiti tanak zaštitni sloj na površini alata koji i pored ne velikog porast tvrdoće bitno utiče na fenomene athezijnog habanja u zoni tečenja metala /1,2,3/.

Rezultati istraživanja u /1,2/ su pokazali da nitriranjem treba postići samo tanak difuzioni sloj na površini kako bi se izbegla pojava krtosti.

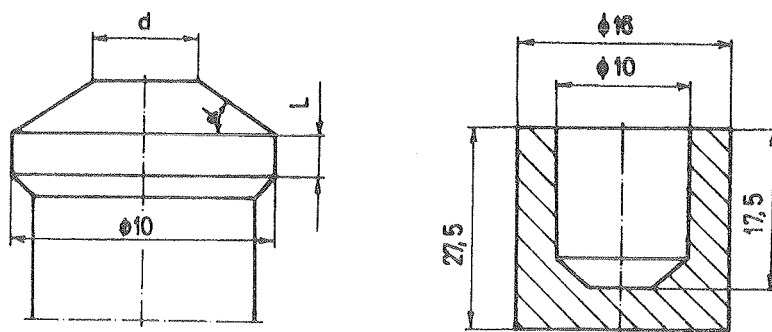
Variiranjem osnovnih parametara procesa jonskog nitriranja moguće je dobiti slojeve različitih osobina koji različito utiču na smanjenje habanja cilindričnog dela glave žiga,

što je eksperimentalno pokazano u radovima /1,3/.

Veliki uticaj na intenzitet habanja cilindričnog dela glave žiga ima geometrijski oblik glave /6/, što se objašnjava izmenom naponskog stanja u obratku, kao i kontakt-nim naponima na žigu i matrici. Cilj ovoga rada je da pokaže da li i koliki uticaj ima geometrijski oblik glave kada su žigovi nitrirani.

2. USLOVI EKSPERIMENTA

Za eksperimentisanje su korišćeni žigovi čiji je izgled glave prikazan na slici 1. Osnovni parametri koji reprezentuju geometrijski oblik glave su: ugao konusa α ;



Sl.1. Izgled glave žiga i obratka

prečnik zatupljenja - d i širina venca - L . Smanjenje ugla α i povećanje prečnika zatupljenja d , nepovoljno utiču na opterećenje alata i habanje žiga /6/. Povećanjem širine venca povećava se habanje, ali i male širine venca nepovoljno utiču na postojanost, jer dolazi do brzog krzanja.

Za izvodjenje eksperimenta odabrani su žigovi čiji su geometrijski parametri glave dati u tabeli 1.

oznaka geometrije	T-1. karakteristične dimenzije		
	α (°)	d (mm)	L (mm)
A	26	2	0,4
B	26	6	0,4
C	12,5	1,375	0,872

Žigovi su izradjeni od brzoreznog čelika Č.7680. Termička obrada je izvršena u vakuumu i postignuta je prosečna tvrdoća 62-63 HRc. Pre izvodjenja jonskog nitiranja žigovi su polirani tako da se hrapavost (R_a) kretala u granicama 0,2-0,3 μ m.

Ekspiriment je izvršen u proizvodnim uslovima na horizontalnoj petopozicionoj kolenastoj presi sa 55 hodova u minuti. Materijal obratka je Č.0148 P1, u obliku žice Ø15,75 mm u koturu mase 70-80 kg. Kvalitet žice je kontrolisan merenjem tvrdoće i čvrstoće. Pokazatelj obradivosti korišćene žice, $a = \zeta_v / \zeta_m$, iznosio je približno 0,6.

Za jonsko nitriranje napravljen je plan u obliku I polureplike potpunog trofaktor-nog eksperimenta /3/. Faktori eksperimenta su bili: temperatura jonskog nitriranja (T), trajanje procesa (t) i sastav atmosfere u komori peći (S). U tabeli 2 su dati odabrani nivoi ovih faktora.

Nivo faktora	Temperat. T (°)	Trajanje t (min)	Sastav S %	T-2.		
				kod faktora		
				X ₁	X ₂	X ₃
max	540	60	15	+	+	+
srednji	509	30	9,5	0	0	0
min	480	15	6	-	-	-

Jonsko nitriranje je izvršeno na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu u uređja-ju MONO5 koji je opremljen potrebnim instrumentima za automatsko praćenje i uprav-ljanje procesom.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

Habanje cilindričnog dela glave žiga ocenjeno je indirektnim putem merenjem pro-mene unutrašnjeg prečnika obratka (sl.1.) kao kvantitativna mera habanja usvojen je sledeći odnos:

$$\Delta_r = \frac{D_o - D_n}{2} ; \text{ za } n=0; 500; 1000; \dots$$

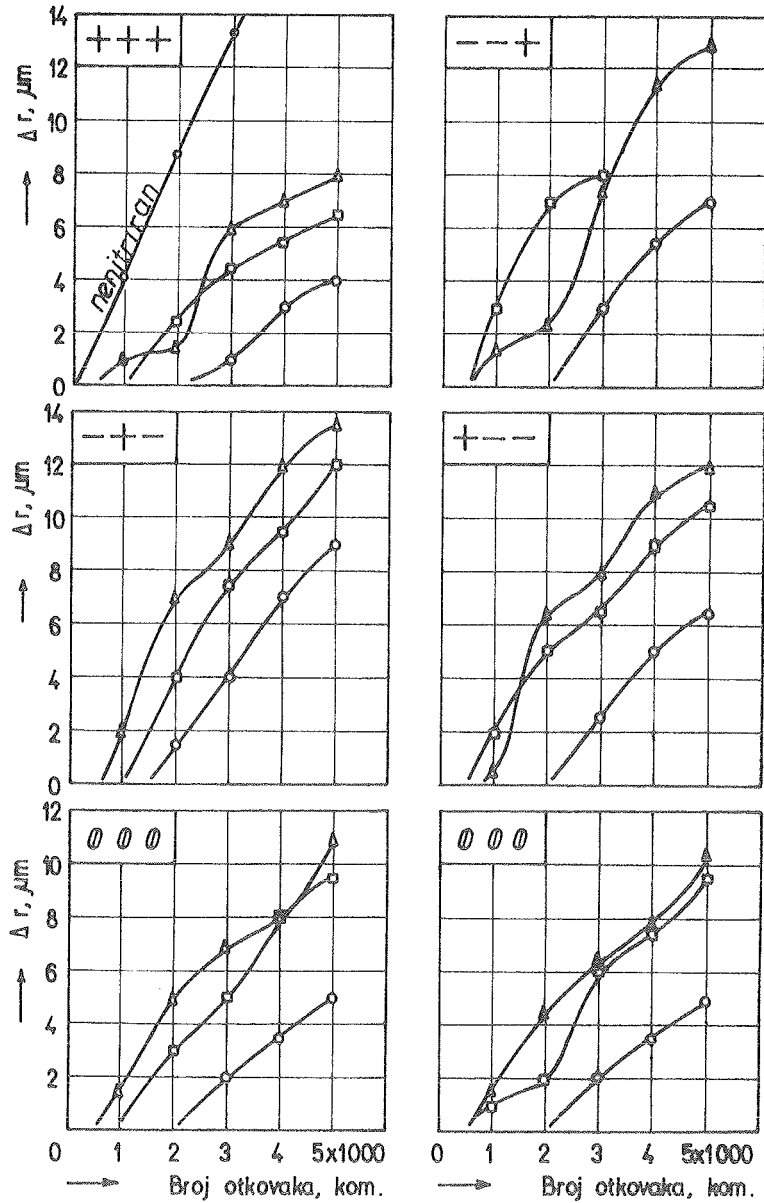
gde je:

D_o - prečnik glave pre rada alata

D_n - prečnik glave nakon n=500, 1000, 1500 ... uradjenih obradaka

Merenje prečnika (D_n) vršeno je "Subitorom" koji obezbeđuje tačnost 0,001 mm i to uvek na istom mestu - dnu obratka. Sva merenja su kontrolisana na "Coordina-te Measuring Machine" - A22 MITUTOYO. Na svakih 500 obradaka uziman je uzorak od 3 obratka. Rezultati merenja su usrednjeni, sredjeni tabelarno i na osnovu tabe-le nacrtani dijagrami prikazani na slici 2. Svaka od šest slika predstavlja promenu habanja u funkciji od broja uradjenih obradaka i to za žigove sa različitim paramet-rima procesa nitriranja. Oznake u gornjem levom uglu predstavljaju kodirane vred-nosti faktora. Tri krive na svakom dijagramu predstavljaju žigove sa različitom geo-metrijom glave i to: 0-grupa A; □ - grupa B i Δ - grupa C.

Anallzom dobijenih rezultata prikazanih na sl.2. može se videti da je intenzitet ha-banja različit kod žigova sa različitim parametrima procesa jonskog nitriranja, odnosno da različite osobine nitriranih slojeva imaju uticaj na intenzitet habanja. Poredjenjem



Sl.2. Poredjenje toka habanja žigova različitih geometrija glave, a istih parametara jonskog nitriranja.

rezultata habanja žigova sa različitom geometrijom glave nitriranih sa istim parametrima procesa pojavljuju se izuzetno velike razlike u intenzitetu habanja i to, alat sa nepovoljnijom geometrijom sa stanovišta naponskog stanja brže se haba od onog sa povoljnijom geometrijom i kada su oba nitrirana (grupa C u odnosu na B i A, odnosno grupa B u odnosu na A).

4. ZAKLJUČAK

Jonskim nitriranjem može da se dobije zaštitni sloj na površini žigova za suprotno-smerno hladno istiskivanje koji višestruko usporava habanje cilindričnog dela glave žiga, čime se povećava postojanost alata. Pozitivne efekte na smanjenje abrazionog habanja imaju nitrirani slojevi bez zone jedinjenja na površini, tj. slojevi samo sa difuzionom zonom debljine 20-60 μ m.

U poredjenju sa nenitriranim, nitrirani alati su u svim ispitivanim slučajevima imali sporije habanje. Isto tako, dobijeni slojevi pokazali su povećanu otpornost na habanje pri različitom opterećenju kom su bili izloženi variranjem geometrijskih parametara glave žiga.

Primaran uticaj na habanje, odnosno postojanost alata nemaju zaštitni slojevi već opterećenje, odnosno naponsko-deformaciono stanje u sistemu žig-obradak-matrica. Žigovi sa povoljnijom geometrijom glave, sa stanovišta naponskog stanja i uslova tečenja materijala obratka, imali su manje habanje od žigova sa nepovoljnijom geometrijom nezavisno od osobina nitriranog sloja na površini.

5. LITERATURA

- 1/ Kakaš D., Lupuljev D. i dr.: Influence of the ion nitriding parameters on cold forming tools quality, 5th International Congress on Heat Treatment of Materials, Budimpešta, 1986.
- 2/ Lupuljev D., Kakaš D. i dr.: Istraživanje uticaja jonskog nitriranja na trajnost alata za rad na hladno, JUSTOM'86, Plitvice, 1986.
- 3/ Lupuljev D.: Prilog istraživanju uticaja jonskog nitriranja na postojanost alata za hladno zapreminsko oblikovanje, Magistarski rad, Novi Sad, 1986.
- 4/ Kakaš D. i dr.: Istraživanje tehnologija površinske termičke obrade, Naučnoistraživačka tema radjena za SIZNR Vojvodine, Novi Sad, 1986.
- 5/ Zlatanović M. i dr: Osobine površinskog sloja dobijenog postupkom jonskog nitriranja na brzoreznom čeliku Č.6980, JUSTOM'83, Novi Sad, 1983.
- 6/ Veselinović Č.: Prilog istraživanju optimalne geometrije alata pri višefaznom zapreminskom oblikovanju na automatskim mašinama, Magistarski rad, FTN, Novi Sad, 1984.
- 7/ Meyer G.: Jonitriranje-postupak sa velikom paletom primene, Simpozijum, Zagreb, 1979.
- 8/ Vujović V.: Obrada deformisanjem u mašinstvu, FTN, Novi Sad, 1977.
- 9/ Kakaš D., Lupuljev D.: Istraživanje uticaja parametara procesa jonskog nitriranja na brzoreznom čeliku, Zbornik radova FTN, Novi Sad, 1986.

21. SAVJETOVANJE PROIZVODNOG STROJARSTVA JUGOSLAVIJE, OPATIJA, 1987.

UREDJAJ ZA AUTOMATSKO MERENJE I ODSECANJE PRIPREMAKA ZA KOVANJE

EINRICHTUNG ZUR AUTOMATISCHEN MESSUNG UND ABTRENNUNG VON
SCHMIDE WRKSTUCKEN

- V. Stoiljković Mašinski fakultet Niš, Univerzitet u Nišu
18000 N i Š, Beogradska 14, Jugoslavija
- T. Petrović Mašinski fakultet Niš, Univerzitet u Nišu
18000 N i Š, Beogradska 14, Jugoslavija
- Ključne reči: REZIME: Dimenzije početnog priprema za ko-
vanje imaju veliki uticaj na kvalitet otkov-
ka i postojanost alata za kovanje. U ovom ra-
du se daje prikaz uredjaja koji omogućava au-
tomatsko pozicioniranje graničnika na lomili-
cama i testerama, a time i odredjivanje tač-
ne dimenzije priprema. Rad celog uredjaja up-
ravlja ugrađeni mikroprocesor.
- Kenwörter ZUSAMMENFASSUNG: Die Abmessungen des Anfang-
swerkstüekes zum Schmieden haben den grossen
Einfluss auf die Qualität des Gesenkschmied-
stückes und auf die Zuverlässigkeit des Schmi-
edwerzeuges. In dieser Arbeit wird die Einrich-
tung, die automatische Positionierung des Ansch-
lages auf den Kaltkreissägen und Knüppelbrec-
hern ermöglicht, dargestellt, und somit auch
die Bestimmung der genauen Abmessungen des Wer-
kstüekes. Der eingebaute Mikroprozessor steuert
die ganze Einrichtung.

1. Uvod

Pri kovanju u otvorenim kalupima, a naročito pri kovanju u zatvorenim kalupima /1/, javlja se problem dobijanja priprema sa tačnom uložnom težinom. Priprema se najčešće dobijaju iz šipkastog materijala kružnog ili kvadratnog poprečnog preseka. Za odredjene dimenzije preseka i zadatu uložnu težinu priprema, odredjuje se dužina uložnog materijala. Prema toj dužini se podešava graničnik na lomilici ili testeru, već u zavisnosti od izabrane mašine. Graničnik je fiksiran za celu seriju koja treba da se pripremi.

Tolerancije šipkastog materijala po preseku, koji isporučuju železare, veoma su različite. To, pri konstantnoj dužini odsecanja priprema iz šipke dovodi do odstupanja zapremine početnog priprema, odnosno uložne težine od zahtevane. Ako je to odstupanje u minusu, pri kovanju može doći do nepotpunog ispunjavanja kalupne šupljine i do pojave škarta. Suprotno, ako je odstupanje uložne težine u plusu opterećenje alata u procesu kovanja iznad normalnog. To dovodi do smanjenja postojanosti alata i do bržeg kvara mašine za kovanje (čekić, presa itd.).

Razvijajući programski sistem KOVAČ za automatsko projektovanje tehnologije i alata za kovanje /2/, došlo se na ideju da se razvije specijalni uređaj za automatsko pozicioniranje graničnika na lomilicama i testerama, na kojima se izradjuju ulošci za kovanje. U ovom radu se izlaže koncepcija tog uređaja. Osnovna karakteristika uređaja je da, na osnovu izmerenih poprečnih dimenzija šipke i zadate zapremine uloška, preko mikroprocesora preračunava potrebnu dužinu uloška i vrši pozicioniranje graničnika. Pored toga, uređaj ima ugrađen brojač koji omogućuje da se rad lomilice ili testere zaustavi po uradjenoj čitavoj seriji priprema.

Korišćenjem uređaja koji je opisan u radu moguće je upotrebiti šipkasti materijal sa širom tolerancijom dimenzija poprečnog preseka. Pri tome, tolerancija zapremine, odnosno ulazne težine mora da se dobije za unapred zadatim vrednostima. Na taj način se koristi jeftiniji šipkasti materijal. Istovremeno, zbog tačne uložne težine, eliminiše se škart pri kovanju usled tog faktora, povećava se postojanost alata, a mašina za kovanje radi u normalnom radnom režimu.

2. Priprema materijala za kovanje

Na osnovu dimenzija gotovog dela, koji se dobija naknadnom obradom, rezanjem otkovka, najpre se definiše crtež otkovka. Otkovak uključuje potrebne dodatke za obradu, obgorevanje, kao i odgovarajuće nagibe i minimalne radijuse. Izrada crteža otkovka može da bude klasična, odnosno da projektant, koristeći odgovarajuće preporuke i izraze, uradi crtež otkovka. Druga mogućnost je da se crtež otkovka uradi automatski primenom računara po nekom razvijenom programu za to/3/. U oba slučaja određuje se težina otkovka. Q_o . Ovo još uvek nije težina uložnog materijala za jedan otkovak Q_u . Da bi se dobila težina Q_u , za slučaj kovanja u otvorenim kalupima koristi se izraz:

$$Q_u = (Q_o + Q_v + Q_{pp}) K_i \quad (1)$$

gde su:

- Q_v - težina venca,
- Q_{pp} - težina pločice za probijanje centralnog otpora i
- K_i - koeficijent koji uzima u obzir izgaranje materijala usled grejanja pre kovanja. Ovaj koeficijent zavisi od načina grejanja (naftom, gasom, indukcijom) i kreće se u granicama od 1,30-1,005.

Za određivanje težine venca Q_v postoje različiti pristupi. U novije vreme najbolje rezultate daju izrazi dobijeni regresionom analizom/4/ Po toj metodologiji težina venca određena je izrazom:

$$Q_v = (-0,54 + 15,44Q_o^{-0,2} + 0,117TQ_o^{-2} - 0,1383bT/h - 0,703b/h) / 100 \quad (2)$$

Gde su:

- visina mosta $h = -0,092 + 2,0\sqrt[3]{Q_o} - 0,01Q_o \quad (3)$

- pretpostavljeni prečnik pretkovka: $(Dp)_i = 0,862D_o \quad (4)$

- širina mosta: $b = 0,02 + 0,0038S(Dp)_i / h + (4,93h/Q_o^{0,2})h \quad (5)$

- kriterijum forme otkovka: $T = S(Dp)_i^2 \delta / D_o \quad (6)$

- kriterijum za uzimanje u obzir početnog položaja pretkovka unutar zatvorenog alata: $\delta = H_o / (h_o + h_{ra}) \quad (7)$

- Prečnik pretkovaka koji se određuje u iteracionom postupku $(Dp)_i / 4 / (Slika 1.)$

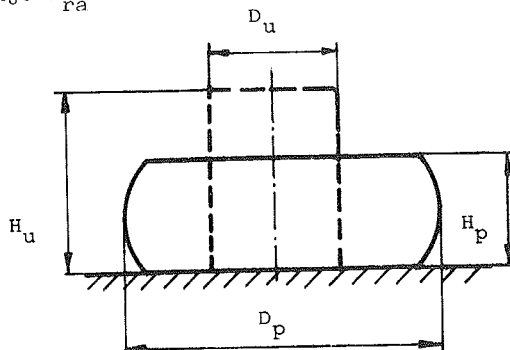
- Koeficijent složenosti otkovaka/4/ S

- Prečnik otkovka D_o

- Visina otkovka H_o

- Minimalno rastojanje između onih površina zatvorenog alata na koje se oslanja pretkovak u početnom položaju h_o

- Rastojanje između spoljašnje i unutrašnje podele alata za kovanje H_{ra}



Slika 1.

Težina pločice Q_{pp} određuje se na osnovu dimenzija otvora koji se probija i usvojene debljine pločice.

Dimenzije uloška određuju se iz uslova o konstantnosti zapremine /1/.

$$D_u = 100 \sqrt[3]{\frac{4Q_u}{7,85 m}} \quad (8)$$

gde je:

$$m = H_u / D_u \text{ -odnos visine i prečnika uloška}$$

Ovaj odnos kreće se u granicama $1 \leq m \leq 2,5$. Pri računanju se pretpostavi $m=1,75$, pa se u iteracionom postupku odredi tačna vrednost/4/.

$$m_{i+1} = (H_u)_i / (D_u)_i$$

Odredjena vrednost za D_u se standardizuje prema opštem važećem standardu za prečnike, ili pak prema raspoloživom šipkastom materijalu u magacinu. Sa odredjenom vrednošću za D_u i m dobija se visina uloška

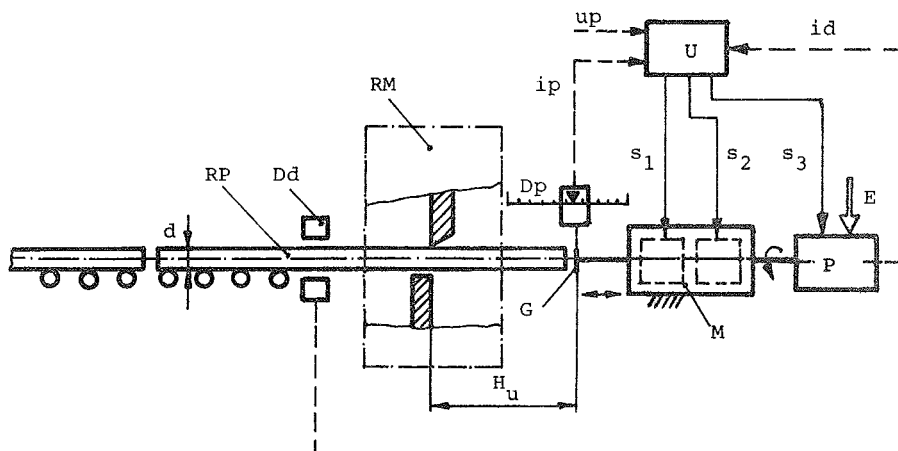
$$H_u = D_u m \quad (9)$$

Veličina H_u je nominalna vrednost na kojoj se podesi graničnik uređjaja za pozicioniranje na lomilici ili testeru. Zavisno od tolerancija poprečnih dimenzija šipki, uređjaj automatski pomera graničnik oko zadate vrednosti H_u za odredjenu vrednost koja se proračunava u mikroprocesoru.

3. Konceptcija novog uređjaja za merenje i odsecanje priprema za kovanje

Šematski prikaz novog uređjaja za merenje i odsecanje priprema za kovanje dat je na slici 2. Uređjaj je tako koncipiran da se može montirati na postojećim radnim mašinama RM za odsecanje materijala. Radni predmet RP u obliku šipkastog materijala uvodi se u mašinu za odsecanje do pomerljivog graničnika G. Pozicioniranje graničnika (rastojanje H_u) vrši se mehanizmom M upravljačkim signalima s_1 i s_2 dok se startovanje uređjaja vrši signalom s_3 . Upravljačka jedinica U, ugradjenim mikroprocesorskim sistemom, na osnovu ulaznih podataka u_p o potrebnoj težini priprema, informacije o dimenzijama šipkastog materijala i_d i informacije o trenutnom položaju graničnika i_p vrši proračunavanje potrebne dužine priprema H_u , i generiše upravljačke signale s_1 i s_2 za pozicioniranje graničnika. Informaciju o dimenzijama početnog materijala daje beskontaktni davač D_d dok informaciju o trenutnom položaju graničnika daje davač položaja D_o . Jednosmerno pogonsko obrt-

anje ostvaruje se pogonskom jedinicom P koju sačinjava elektromotor sa ređuktorom dok se dovodjenje potrebne električne energije E vrši iz mreže.



Slika 2.

Novi uređaj za merenje i odsecanje pripremake za kovanje bazira na veoma preciznom elektromehaničkom servo sistemu čiju osnovu čini novo razvijeni zavojni mehanizam za transformaciju jednosmernog kružnog u dvosmerno pravolinijsko kretanje sa impulsnim upravljanjem/5,6,7/. Permanentno jednosmerno pogonsko obrtanje zavojnog vretena, impulsnim upravljačkim dejstvima, se transformiše u dvosmerno pravolinijsko kretanje. Mogućnost veoma tačnog i brzog pozicioniranja i mogućnost da izvršni element u periodu kretanja savladava velike otpore a u periodu mirovanja na sebe primi velike sile bile su odlučujuće pri izboru mehanizma za primenjeni servosistem.

4. Karakteristike uređaja

Uređaj za merenje i odsecanje pripremake za kovanje je potpuno autonoman i može se ugraditi na svim postojećim mašinama za odsecanje. Za rad uređaja nisu potrebni posebni agregati (hidroagregat) jer se on napaja električnom energijom što ga čini prikladnim za upotrebu. Uređaj sačinjavaju standardne komponente domaćih proizvođača ili komponente koje se nalaze u standardnom programu renomiranih svetskih proizvođača. Merenje dimenzija je beskontaktno što je veoma povoljno s obzirom na radne uslove a vrši se metodom električnih merenja mehaničkih veličina. Merenje trenutne pozicije graničnika vrši se istom metodom induktivnim davačem položaja. Pri radu uređaj ostvaruje:

- veoma visoku tačnost pozicioniranja graničnika što u konačnosti obezbeđuje postizanje uske tolerancije u težini odsečenih pripremaka;
- u periodu kretanja graničnik može savladavati a u periodu mirovanja preneti na postolje znatne aksijalne sile što čini uređaj pouzdanim u radu i neosetljivim na mehanički udar;
- velika brzina promene položaja graničnika omogućava ostvarivanje visokog radnog učinka mašine za odsecanje jer je vreme potrebno za pozicioniranje malo;
- veliki hod graničnika(80 mm) omogućava odsecanje priprema tolerisane zapremine i pri veoma velikim odstupanja dimenzija početnog materijala;
- konstrukcija uređaja je kompaktna sa integrisanim mernim sistemom za detekciju položaja graničnika i dislociranim davačem dimenzija šipkastog materijala i upravljačke jedinice;
- primena standardnih elemenata (elektromotor, reduktor, kočnice, mikroracunar itd) i jednostavno konstrukciono rešenje omogućavaju relativno nisku cenu uređaja;
- rad uređaja je potpuno automatizovan i izvršena je sinhronizacija sa upravljačkim sistemom mašine za odsecanje;
- pored upravljanja procesom pozicioniranja graničnika i odsecanje materijala , primenjeni mikroracunarski upravljački sistem daje podatke o ostvarenom broju pripremaka, količini upotrebljenog materijala, itd.

5. Zaključak

U radu je analizirana priprema materijala za kovanje, ukazano na potrebu primene priprema tolerisane težine i prikazan matematički aparat za odsecanje potrebnih dimenzija priprema. Detaljno je opisan rad mašine i uređaja za merenje i odsecanje priprema za kovanje čije karakteristike omogućavaju dobijanje priprema tolerisane težine i od početnog materijala netolerisanih dimenzija. Ostvarena sigurnost i povećana postojanost alata za kovanje u potpunosti opravdavaju primenu uređaja za mašinama za odsecanje materijala u velikoserijskoj i masovnoj proizvodnji.

Literatura

- /1/ Stoiljković V., Teorija obrade deformisanjem , Univerzitet u Nišu, Niš, 1984.
- /2/ Stoiljković V., Krstić M., Automatic engineering technology and tools in forging of axisymmetric forgings through the use of

- computers, IX International symposium "Computer at the university", Cavtat, 18.-22.5.1987.
- /3/ Stoiljković V., Krstić M., KOVAČ 2-the Program system for computer-aided design of forging technology and tools, International conference on advanced manufacturing system and technology - AMST'87, Opatija, Yugoslavia, 1987.
- /4/ Teterin G., Poluhin P., Osnovi optimizaciji i avtomatizaciji Projektiranja tehnoloških procesov goričei objemnoi štampovki, Mašinstroenie, Moskva, 1979.
- /5/ Petrović T., Mogućnost primene novog pogonskog mehanizma u alatnim mašinama, XVIII Savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Niš, 1984.
- /6/ Petrović T., Zavojni mehanizam za transformaciju jednosmernog kružnog u dvosmerno pravolinijsko kretanje sa impulsnim upravljanjem, Doktorska disertacija, Niš, 1981.
- /7/ Petrović T., Živković Ž., Bögelsack G., Impulsgesteuerte Positioniereinrichtung mit Kombiniertem Schrauben-Umlaufräder-Getriebe, 28. Internationales Wissenschaftliches Koll. TH Ilmenau, Ilmenau, 1983.

21. SAVJETOVANJE PROIZVODNOG STROJARSTVA JUGOSLAVIJE, OPATIJA, 1987.

PRILOG ISTRAŽIVANJU TOKA DIJAGRAMA GRANIČNE DEFORMABILNOSTI

ONE CONTRIBUTION TO THE INVESTIGATION OF THE FORMING LIMIT CURVE

M. Plančak Fakultet tehničkih nauka, Institut za proizvodno mašinstvo, 21000 Novi Sad, Vladimir Perića-Valtera b2.2, Jugoslavija

Ključne reči:
-Deformabilnost
-naponsko-deformaciono stanje
-Inkrementalni postupak
-Dijagram granične deformabilnosti

SAŽETAK. U ovom radu analiziran je problem deformabilnosti materijala. Analiziran je nestacionarni proces slobodnog sabijanja u realnim uslovima deformisanja (sa trenjem) sa ciljem da se odrede dodatne tačke u dijagramu granične deformabilnosti. Korišćen je inkrementalni postupak. Kao rezultat je dobijeno: a) naponsko stanje ($\sigma_e, \sigma_\theta, \sigma_z$) i efektivna deformacija (ϕ_e) u tački nastanka prve pukotine b) "istorija" procesa c) tačka na dijagramu granične deformabilnosti. Ovakav pristup omogućava kreiranje procesa sa različitim naponskim stanjem, što bi omogućilo određivanje više tačaka dijagrama granične deformabilnosti.

Key words:

-Formability
-Stress-strain state
-Incremental technique
-Forming limit curve

ABSTRACT: The paper deals with problem of material formability. One non-uniform proces (upsetting under real conditions, with friction) was examined in order to obtain the point(s) on the forming limit curve (FL-curve). The incremental approach was applied and following dates were obtained: a) stress state ($\sigma_e, \sigma_z, \sigma_\theta$) and effective deformation (ϕ_e) in the point where initial crack occurs, b) "history" of deformation and c) point on the FL-curve. The position of the point obtained in this work is in very good agreement with the FL-curve obtained by other authors [4]. Presented approach enables the creation of a processes with a "controled" non-uniformity, e.g. with a wide range of different stress-strain combinations. That would enable the estimation of more points on the FL-curve.

1. U V O D

Dosadašnji način određivanja dijagrama granične obradivosti za koje postoje podaci u literaturi bazirali su se uglavnom na izučavanju modela kod kojih je proces deformisanja proporcionalan. Tako su autori [4] odredili

graničnu krivu analizirajući tri procesa: slobodno sabijanje pod pretpostavkom ne postojanja trenja (čisto jednoosno sabijanje), čisto uvijanje i jednoosno istezanje. Procesi deformisanja u kojima za sve vreme deformisanja vladaju proporcionalni uslovi deformisanja su vrlo retki pa je mogućnost dobijanja više tačaka krive granične obradivosti pomoću takvih procesa ograničena. Stoga se nameće ideja o korišćenju i neproporcionalnih procesa u analizi problematike granične obradivosti materijala.

U ovom radu je prikazan način određivanja tačke u dijagramu granične obradivosti korišćenjem sabijanja u realnim uslovima, dakle sa trenjem. Sugerisan je postupak tzv. "upravljane neravnomernosti" ispitivanih procesa a u cilju dobijanja više tačaka u β - ϕ_e dijagramu ($\beta = \frac{3\sigma_m}{\sigma_e} = \frac{J_1}{\sqrt{3}I_2}$).

2. TEORETSKA RAZMATRANJA

U slučaju proporcionalnog deformisanja (tj. onog kod kojeg se poklapaju pravci glavnih osa napona i deformacija) na slobodnoj površini može se odrediti naponsko-deformaciono stanje. Radi ilustracije, daje se slučaj ravnomernog slobodnog sabijanja cilindra.

Slobodno sabijanje cilindra karakterisano je jednom negativnom (ϕ_z) i dve pozitivne (ϕ_r i ϕ_θ) deformacije. Uzimajući u obzir relaciju:

$$d\phi_r + d\phi_\theta + d\phi_z = 0$$

kao i:

$$d\phi_r = d\phi_\theta$$

dobija se jednakost:

$$d\phi_z = -2d\phi_r = -2d\phi_\theta$$

Odnos:

$$\alpha = \frac{d\phi_\theta}{d\phi_z} \quad (1)$$

je za slučaj proporcionalne deformacije cilindra konstantan u toku procesa i iznosi -0,5.

Uzimajući u obzir levi Misesov kriterijum, mogu se dobiti sledeći izrazi za efektivni napon i naponske komponente u zavisnosti od odnosa " α " [2] [6]:

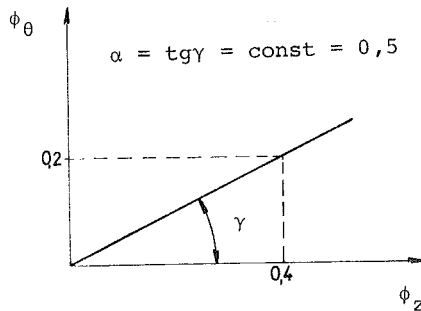
$$\sigma_e = \left| \sigma_\theta^2 + \sigma_z^2 - \sigma_\theta \cdot \sigma_z \right|^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{1}{\sigma_z} \quad (2)$$

$$\sigma_z = \sigma_e \left| 1 - \frac{1+2\alpha}{1+\alpha} + \left(\frac{1+2\alpha}{2+\alpha} \right)^2 \right|^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

$$\sigma_\theta = \left(\frac{1+2\alpha}{2+\alpha} \right) \sigma_z = \frac{1+2\alpha}{2+\alpha} \cdot \sigma_e \left| 1 - \frac{1+2\alpha}{2+\alpha} + \left(\frac{1+2\alpha}{2+\alpha} \right)^2 \right|^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

Poznavanje komponenti napona kao i efektivnog napona (σ_e) i efektivne deformacije (ϕ_e) koja se može dobiti iz relacije:

$$\phi_e = \frac{2}{\sqrt{3}} (1 + \alpha + \alpha^2)^{1/2} \cdot \phi_z \quad (5)$$



sl.1. Odnos $\frac{\phi_\theta}{\phi_z}$ kod ravnomernog slobodnog sabijanja

moguće je proces ravnomernog slobodnog sabijanja cilindra posmatrati i sa aspekta obradivosti materijala, tj. preko dijagrama granične obradivosti. Naime, ako se gore navedene vrednosti napona i deformacije odrede u trenutku nastanka pukotine, dobija se jedna tačka u pomenutom dijagramu $\phi_e - \beta$. To je uradjeno u radu [2] za različita stanja jednog domaćeg čelika. Pri tome je vršeno intenzivno podmazivanje čime su obezbeđeni quazi-proporcionalni uslovi deformisanja, tj.

$$\alpha = \frac{d\phi_\theta}{d\phi_z} \approx \text{const.} \quad (\text{sl. 1})$$

Modeli deformisanja kod kojih se ose glavnih napona i deformacija poklapaju u toku celog procesa su veoma retki pa je opisani način analize ograničen na vrlo mali broj slučajeva (npr. ravnomerno istežanje, ravnomerno sabijanje...).

U ovom radu analizira se mogućnost određivanja naponsko-deformacionog stanja na slobodnoj površini obradka u slučaju neravnomernog deformisanja. Analizira se proces slobodnog sabijanja u realnim uslovima tj. uz prisustvo trenja.

3. OPIS EKSPERIMENTA

Kao što je napomenuto, za slučaj slobodnog sabijanja bez kontaktnog trenja $\alpha = \frac{d\phi_\theta}{d\phi_z}$ (gde su $\phi_\theta = \ln \frac{D_1}{D_0}$ i $\phi_z = \ln \frac{z_0}{z}$) konstantan je u toku čitavog procesa i iznosi $\alpha \approx -0,5$ (sl.1).

U realnim uslovima sabijanja dolazi do neravnomernosti deformacije koja se ispoljava naburičavanjem cilindra u toku sabijanja. U takvim uslovima odnos " α " nije konstantan u toku procesa nego se menja. Stoga se proces posmatra inkrementalno (u priraštajima), s tim što se za svaki priraštaj deformisanje smatra proporcionalnim (sl. 3). Ako su priraštaji dovoljno mali, ova aproksimacija je sasvim opravdana. Na taj način za svaki od priraštaja (od 1-n) posebno se određuje " α " koje se u tom priraštaju smatra

konstantnim. Na kraju svakog priraštaja (tačke A,B...F) određuju se vrednosti naponskih komponenti σ_z, σ_θ kao i efektivni napon na meridijalnoj ravni spoljne površine cilindra. Vrednosti " α_i " određuju se preko:

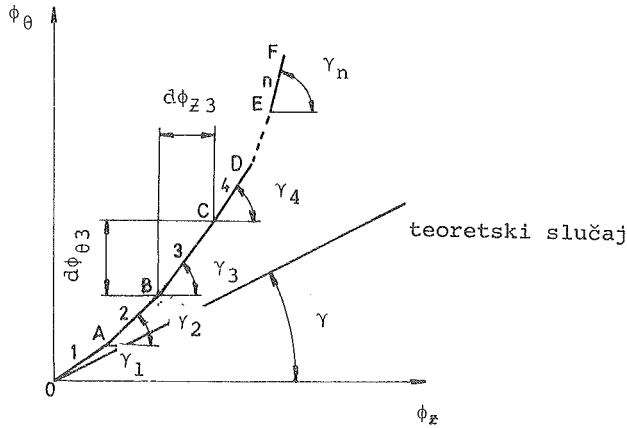
$$\alpha_i = \frac{d\phi_{\theta i}}{d\phi_{z i}}$$

$$d\phi_{z i} = -\ln \frac{z_{i-1}}{z_i}$$

$$d\phi_{\theta i} = \ln \frac{d_i}{d_{i-1}}$$

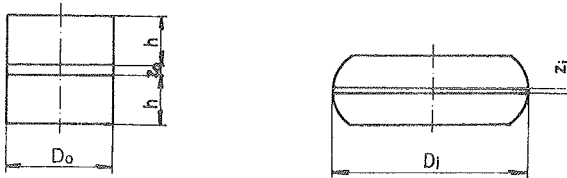
d_i - prečnik ekvatorijalnog preseka na kraju posmatranog intervala

d_{i-1} - prečnik ekvatorijalnog preseka na početku posmatranog intervala



Sl. 3. Inkrementalni način posmatranja slobodnog sabijanja

Na početku procesa na omotač priprema se nanese dve paralelne linije na rastojanju z_0 . Rastojanje tih linija od čeonih površina cilindra je isto (sl. 4).



Sl. 4. Priprema i obradak

Za svaki priraštaj sabijanja meri se veličina tog rastojanja (te vrednosti označene su sa z_i i z_{i-1}).

Na sl. 3. prikazan je dijagram $\phi_z - \phi_\theta$ i to za teoretski slučaj (slučaj bez trenja) gde je $\alpha = \text{const} = -0,5$ i to tokom čitavog procesa, i za stvarni slučaj tj. realni proces, posmatran u "n" priraštaja. Na kraju n-tog priraštaja dolazi do pojave pukotine. U svakom priraštaju se smatra da je vrednost " α " konstantna.

Za eksperimentalna ispitivanja korišćen je materijal č1530, dimenzija $H_0=22,10$, $D_0=17,94$. Na omotač cilindra mehaničkim putem nanete su dve linije na rastojanju od $Z_0 = 2,25$ mm. Sabijanje je vršeno u priraštajima po 3 mm hoda alata. Na kraju svakog priraštaja merene su veličine D_i, H_i i Z_i . Ostale veličine su izračunavane. Faktor "β" se izračunava: $\beta = \frac{\sigma_z + \sigma_\theta}{\sigma_e}$. Rezultati dobijeni tom prilikom dati su u tabeli T.1.

$$H_0 = 22,10$$

$$D_0 = 17,94$$

$$Z_0 = 2,25$$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	H_i	D_i	Z_i	ϕ_θ	$-\phi_z$	ϕ_e	$-\alpha$	$-\sigma_z$	σ_θ	σ_e	β
1	19,70	19,18	1,97	0,067	0,1329	0,133	0,504	65,80	0,33	66	-0,992
2	16,67	20,99	1,73	0,0928	0,130	0,267	0,713	64,14	21,25	77	-0,557
3	13,79	23,24	1,50	0,102	0,1426	0,414	0,715	69,80	23,35	84	-0,553
4	10,90	26,22	1,29	0,1254	0,1508	0,576	0,836	65,07	37,62	90	-0,306
5	8,13	30,25	1,17	0,143	0,0976	0,722	1,465	22,85	82,46	96	+0,621
6	6,22	34,80	1,08	0,140	0,08	0,862	1,75	9,4	93,95	99	+0,854

4. ANALIZA DOBIJENIH REZULTATA

Na sl. 5 dat je prikaz odvijanja opisanog procesa u $\phi_e - \phi_\theta$ dijagramu. Uočava se da je na kraju 6-tog inkrementa došlo do pojave prve pukotine.

Tok pokazatelja granične deformabilnosti u zavisnosti od veličine efektivne deformacije dat je na sl. 6. Ovaj tok je dobijen regresionom analizom na bazi podataka iz tačke T 1. Pretpostavljena je kriva trećeg reda u obliku:

$$\beta = a + b\phi_e + c \cdot \phi_e^2 + d \cdot \phi_e^3$$

tj. sa dobijenim koeficijentima:

$$\beta = - 1,00552 + 0,54483\phi_e + 1,43698 \phi_e^2 + 0,62875 \phi_e^3$$

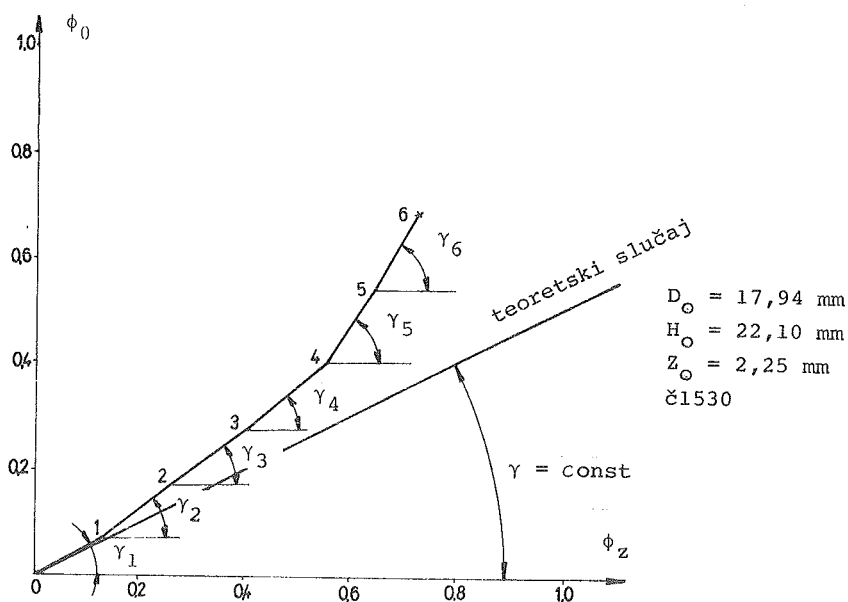
Da bi se dobile koordinate tačke u dijagramu obradivosti, mora se uzeti u obzir i prethodna istorija procesa, reprezentovana promenom faktora "β". To se postiže određivanjem srednje vrednosti tog faktora, prema |8|:

$$\beta_s = \frac{1}{\phi_{ek}} \int_0^{\phi} \beta(\phi) d\phi$$

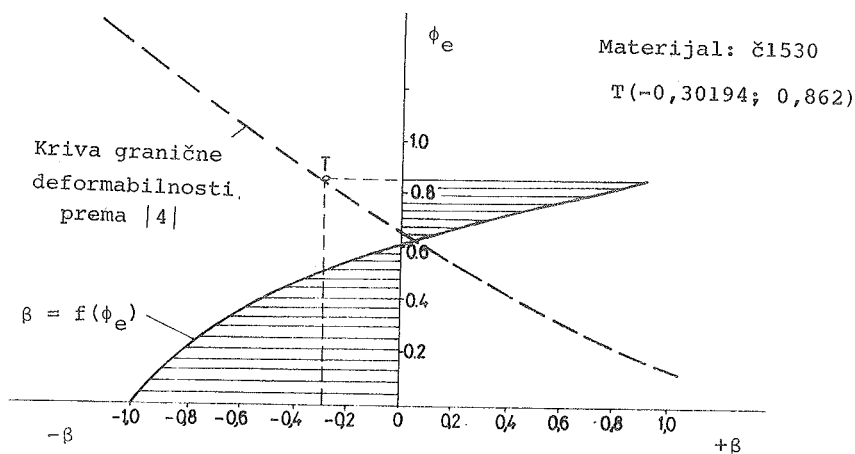
$$\beta_s = \frac{1}{0,862} (- 0,26027) = - 0,30194$$

β_s - srednja vrednost faktora

ϕ_{ek} - veličina deformacije u trenutku nastanka prve pukotine.



Sl. 5. Prikaz inkrementalnog sabijanja



Sl. 6. Tok pokazatelja granične deformabilnosti ("istorija deformisanja") i njcgova srednja vrednost.

Poznavanjem efektivne deformacije u trenutku loma i " β_s ", određena je tačka dijagrama granične obradivosti. Ova tačka (T) ucrtana je u β - ϕ_e koordinatnom sistemu na sl. 6. Pored toga, na istoj slici je prikazana i kompletna kriva granične obradivosti za isti materijal određena preko tri

tačke |4|.

Uočava se da tačka čije je dobijanje prezentirano u ovom radu praktično leži na ranije određenoj krivoj što indicira ispravnost prikazanog postupka.

Z A K L J U Č A K

Za što tačnije definisanje dijagrama granične obradivosti neophodno je odrediti što veći broj tačaka koje ga definišu.

Procesi - modeli koji baziraju na proporcionalnoj deformaciji malobrojni su da bi se pomoću njih moglo dobiti dovoljan broj tačaka. Stoga je potrebno istraživanja ove problematike proširiti i na realne, neproporcionalne procese. Šta više, kontrolisanim uticajem na veličinu neravnomernosti, dakle nekom vrstom "upravljanja" veličinom neravnomernosti u pojedinim procesima, može se kreirati dovoljan broj različitih naponsko-deformacionih stanja koja omogućuju dobijanje većeg broja tačaka u dijagramu obradivosti.

U radu je prezentiran inkrementalni postupak na kome bazira analiza naponsko-deformacionih odnosa i deformabilnosti materijala u neravnomernim procesima.

U eksperimentalnom delu rada prikazan je eksperiment slobodnog sabijanja bez podmazivanja (dakle u uslovima neravnomernog deformisanja) i za taj proces određeno je:

- naponske komponente σ_z , σ_θ na ekvatorijalnoj ravni u toku celog procesa
- efektivna deformacija ϕ_e i efektivni napon σ_e
- istorija procesa, tj. promena pokazatelja naponskog stanja β u toku procesa
- srednja vrednost pokazatelja naponskog stanja β .
- tačka u dijagramu obradivosti: $\phi_e = 0,862$, $\beta = - 0,30194$

Upoređenjem toka krive granične obradivosti određene u radu |4| i položaja tačke određenog u ovom radu uočava se da tačka praktično leži na krivoj.

Ovaj rad predstavlja samo početak širih istraživanja naponsko-deformacionih odnosa i deformabilnosti materijala u uslovima neravnomernog deformisanja.

Za dalja istraživanja na tom planu neophodno je izvršiti dalja usavršavanja i optimiranja same eksperimentalne procedure.

LITERATURA

- [1] Stenger, H., "Über die Abhängigkeit des Formänderungsvermögens Metallischer Werkstoffe vom Spannungs Zustand" doctoral dissertation, 1965, Aachen Tech.Hoch.Schulle.
- [2] Vujović Vlado: "Istraživanje uticaja stanja jednog domaćeg čelika na obradivost materijala kod hladnog zapreminskog deformisanja Dr rad, Novi Sad, 1976.
- [3] Vujović Vlado: "Deformabilnost materijala pri zapreminskom oblikovanju" - Interni materijal, Mašinski fakultet Skoplje, 1981.
- [4] Vujović V., Shabaik, A.H.: "A new workability Criterion for Ductile Metals" - Journal of Engineering Materials and Technology, Vol.108, July 1986
- [5] Vilović, D.: Prilog istraživanju ponašanja čeličnih materijala u različitim obradnim sistemima hladnog zapreminskog deformisanja" - Dr rad, Novi Sad, 1986.
- [6] Sowerby, R., Dung, N.L., Marenholtz, O.: "An analysis of some upsetting tests for assesing the cold forgability of steels", Sixth international Conference on fracture, New Delhi, India, 1984.
- [7] Kolmogorov, V.L. i dr.: "Plastičnost i razrušenje", Metalurgija, Moskva, 1977.
- [8] Tomljenov, A.D.: "Teorija plastičeskog deformirovanija metalov", Mašinstroenie, Moskva, 1972.
- [9] Vujović V.: "Utrošak materijala i energija u proizvodnji metalnih delova kao funkcija projektne koncepcije obradnog sistema" - XIX Savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije.

21. SAVJETOVANJE PROIZVODNOG STROJARSTVA JUGOSLAVIJE, OPATIJA, 1987.

OBLIKOVANJE LIMOVA TITANOVIIH LEGURA*
TITANIUM ALLOYS SHEETS FORMING

H.Djukić Mašinski fakultet Mostar, Univerzitet "Dž.Bijedić"
88000 Mostar, Jugoslavija

R.Ćiber SOUR "VI" SOKO, RO "Institut vazduhoplovnih tehnologija"
R.Markovina 88000 Mostar, Jugoslavija

Ključne riječi: SAŽETAK: U radu je prikazana koncepcija univerzalnog
Titan uređjaja za oblikovanje titanovih limova u toplom stanju
Oblikovanje

Key words: ABSTRACT: In this paper an universal tool conception
Titanium, for forming (plastic forming) titanium sheets in hot
Forming (plastic condition is presented.
forming)

1. Uvod

Primjena titana i njegovih legura doživljava nagli razvoj poslije pedese - tih godina ovoga vijeka. Zbog svoje relativno visoke cijene dobijanja, prerade i ispitivanja primjena titanovih legura je uglavnom ograničena na vazduhoplovnu, raketnu i vojnu industriju.

Osnovne prednosti titana i njegovih legura nad ostalim materijalima su: veliki odnos zatezne čvrstoće i specifične težine, otpornost na koroziju, nemagnetičnosti i postojanost na povišenim temperaturama. Ekonomičnost primjene titanovih legura u vazduhoplovstvu postiže se uštedom u težini vazduhoplova.

Pored navedenih prednosti titanove legure imaju i mana od kojih je najveća obradivost. Zbog svojih karakteristika oblikovanje limova titanovih legura se skoro isključivo obavlja u polutoplom i toplom stanju.

*Ovaj rad predstavlja dio projekta koji sufinansiraju SIZ Nauke SR BiH i
SOUR "VI" SOKO Mostar

U ovom radu je prikazana koncepcija univerzalnog uređjaja za oblikovanje titanovih legura deformisanjem u toplom stanju. Prikazani uređjaj omogućava iznalaženje tehnoloških parametara obrade titanovih legura deformisanjem za različite postupke obrade.

2. Osobnosti oblikovanja titanovih limova deformisanjem.

Oblikovanje limova titanovih legura deformisanjem u mnogome se razlikuje od obrade obojenih metala i čelika deformisanjem. Te razlike prije svega proističu iz razlika fizičko-mehaničkih svojstava titana i pomenutih metala.

Parametri koji otežavaju obradu titanovih legura su prije svega:

- a) Veliki odnos granice razvlačenja i jačine materijala na kidanje ($\frac{\sigma_V}{\sigma_m}$). Za veliku većinu legura ovaj odnos se kreće u granicama od 0,8 do 0,94, što ukazuje na znatno smanjeno područje obradivosti deformisanjem.
- b) Znatna efekat očvršćavanja pri obradi u hladnom stanju, što uslovljava uvodjenje medjuoperacijskog žarenja znatno češće nego kod drugih materijala.
- c) Povećana sklonost titana i njegovih legura ka lijepljenju čestica na radne površine alata, što znatno otežava uslove obrade.
- d) Osjetljivost na povećane brzine deformacije.
- e) Povećana osjetljivost titana i njegovih legura na zarezne i ogrebotine, zahtjeva brižniju pripremu radnih površina u odnosu na druge metale.

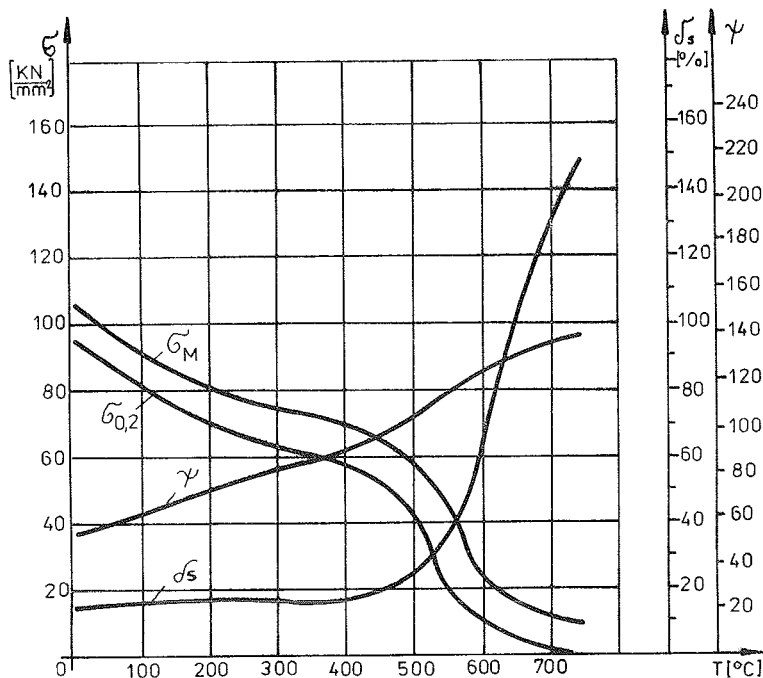
Zbog naprijed navedenih osobnosti titana i njegovih legura, oblikovanje ovih materijala se rijetko vrši u hladnom stanju izuzev izrade prostijih elemenata od čistog titana.

Izrada složenih elemenata se isključivo vrši u toplom stanju, na temperaturama koje zavise od vrste legure.

Na slici 1. su prikazane mehaničke karakteristike legure Ti6Al4V na različitim temperaturama.

Ova legura ima široku primjenu u vazduhoplovstvu, a uzeta je kao tipičan primjer promjene mehaničkih karakteristika titanovih legura na povišenim temperaturama. Sa dijagrama na slici 1. se uočava da sa povećanjem temperature na 400 °C dolazi do neznatnog smanjenja jačine materijala na kidanje i granice razvlačenja, a da relativno izduženje ostaje skoro nepromijenjeno, čak kod većine legura između 300 i 400 °C dolazi do pada vrijednosti relativnog izduženja. Znatna rast relativnog izduženja odvija se zagrijavanjem na temperaturu veću od 550 °C, pri čemu dolazi i do znatnog smanjenja jačine materijala na kidanje i granice razvlačenja.

Analizom karaktera promjene mehaničkih osobina titanove legure prikazane na slici 1. može se zaključiti da se oblikovanje titanovih legura u toplom stanju može vršiti sa različitim temperaturnim režimima:



Sl. 1. Dijagram uticaja temperature na mehaničke osobine Ti6Al4V.

- Sa niskim zagrijavanjem, izbjegavajući temperaturni interval koji do-
vodi do smanjenja plastičnih svojstava.
- Sa visokim zagrijavanjem, interval u kome dolazi do znatnog povećanja
plastičnih svojstava i
- Sa temperaturama većim od temperatura rekristalizacija.

Režim oblikovanja a) se primjenjuje za manje složene elemente. Režim b) zatjeva temperature od 600 do 700 $^{\circ}\text{C}$ i koristi se za izradu složenih elemenata. Režim c) se koristi kod superplastičnog oblikovanja i difuzionog spajanja sa temperaturnim intervalom od 925 do 930 $^{\circ}\text{C}$.

Da bi se obezbjedili uslovi za oblikovanje složenih elemenata od limova titanovih legura klasičnim putem neophodno je riješiti čitav niz problema vezanih za:

- zagrijavanje priprema i obratka,
- zagrijavanje alata,
- održavanje temperature u toku procesa oblikovanja u relativno uskim granicama,

- sprečavanje zagrijavanja prese i radne okoline,
- riješenje pitanja podmazivanja na povišenim temperaturama,
- riješenje čišćenja obratka poslije oblikovanja.

Sredstva za podmazivanje titanovih legura moraju zadovoljiti slijedeće uslove:

- da obrazuju tanki zaštitni sloj na materijalu u toku cijelog procesa deformisanja, te da na taj način trenje smanjuju na minimalnu mjeru,
- da štiti obradak od oksidacije pri zagrijavanju,
- da nestupa u hemijsku reakciju sa površinskim slojem obratka i alata i
- da se lako nanosi i skida sa površine obratka i alata.

Pri oblikovanju titanovih limova uglavnom se koriste maziva koja se mogu svrstati u tri osnovne grupe:

- a) maziva na bazi smjesa molibden disulfida i grafita.
- b) maziva na bazi stakla i
- c) maziva na bazi oksida.

Maziva na bazi smjesa molibden disulfida i grafita uglavnom se primjenjuju za temperaturski interval od 600 do 760 °C. Za veće temperature obrade od 850 do 1080 °C uglavnom se primjenjuju maziva na bazi stakla.

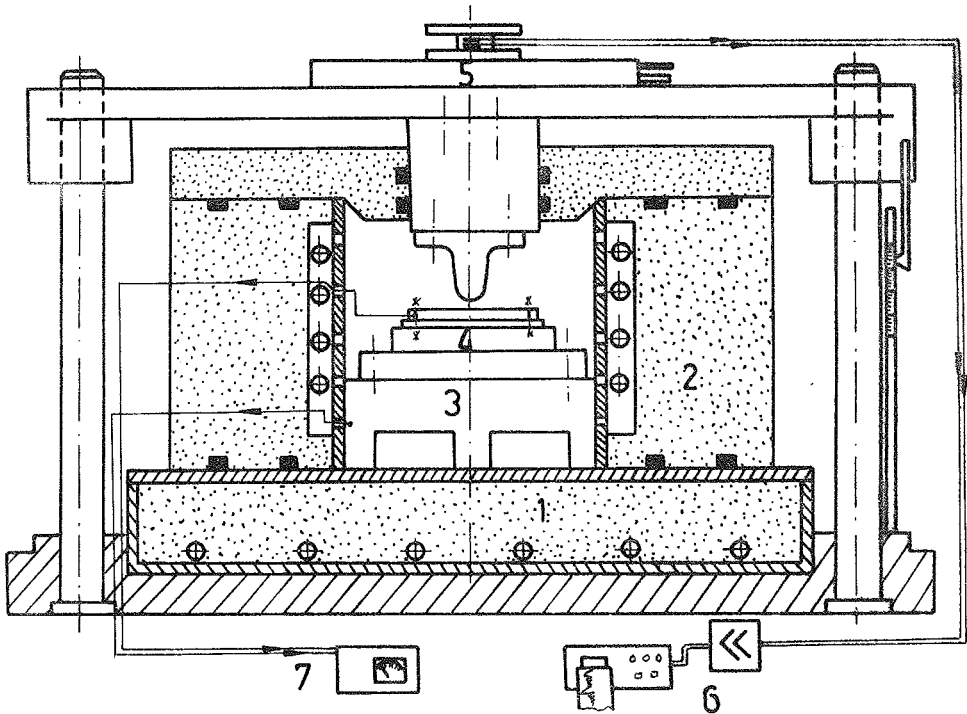
Jedan od efikasnijih procesa čišćenja koji se primjenjuje za legure Ti6Al4V, Ti8Al1Mo1V i Ti6Al6V2Sn, sastoji se od /3/:

- uranjanja u rastvor natrijum hidroksida 59 gr/l, držanjem 30 minuta na temperaturi od 82 °C.
- pranje u hladnoj vodi
- luženje 10 minuta na sobnoj temperaturi u rastvoru 50% azotne kiseline
- pranje u hladnoj vodi i
- sušenje na zraku.

3. Konceptcija univerzalnog uređjaja.

Da bi se ostvarili potrebni režimi obrade, za oblikovanje limova od titanovih legura, konstruisan je univerzalni uređjaj, koji je shematski prikazan na slici 2.

Univerzalni uređjaj se sastoji od pet podsklopova i to: Postolja sa stubnim vodjicama, peći za zagrijavanje, izolacionih blokova sa hladnjacima, pribiskivača i nosača izmjenjivih alata i mjerno regulacione opreme. Peć za zagrijavanje (poz 2) ima ulogu da obezbjedi potrebnu radnu temperaturu. Elementi se unose u radnu zonu kroz vrata koja se nalaze sa prednje strane peći.



Sl. 2. Konceptija univerzalnog uređjaja.

Grijači peći su zbog sigurnosnih razloga zaštićeni perforiranim vatrostalnim limom od eventualnih mehaničkih oštećenja.

Donji izolacioni blok (poz 1.) sprečava zagrijavanje postolja alata i radnog stola prese. Kako se sila oblikovanja prenosi preko izolacionog bloka, to je potrebno izolacioni materijal birati ne samo po potrebnim izolacionim već i prema potrebnim mehaničkim svojstvima. Visina izolacionog sloja se proračunava na osnovu zahtjeva da temperatura postolja poslije pet sati rada uređjaja ne predje 40°C . U slučaju da potrebna visina izolacionog bloka bude velika korisno je u cilju smanjenja te visine ugraditi dodatni hladnjak u dno izolacionog bloka.

Sprečavanje zagrijavanja stubnih vodjica i pritiskivača prese vrši se vodenim hladnjakom (poz.5). Nosač gornjeg dijela izmjenljivih alata (poz.3) obezbjeđuje centriranje alata pomjeranjem donjeg dijela po x i y osi.

U cilju sprečavanja izlaska zagrijanog zraka sve dodirne površine između podsklopova su zaptivene grafitiziranim pletenicama od azbesta.

Mjerenje temperature alata i limova vrši se pomoću termoparova (poz.7.). Sila oblikovanja se registruje preko mjernog lanca kojeg sačinjava: dinamometar sa mjernim trakama, pojačivač i svjetlosni pisač (poz.6.). Kontrola radnog hoda uređaja vrši se pomoću pomične mjerne letve, koja se u svakom položaju može dovesti na nulu.

Opisani uređaj omogućava iznalaženje tehnoloških parametara za različite postupke obrade deformisanjem kao što su: savijanje, duboko izvlačenje, razvlačenje i specijalna oblikovanja.

Za sve postupke obrade deformisanjem moguće je odrediti:

- a) Optimalnu temperaturu oblikovanja za sve vrste legura.
- b) Uticaj brzine deformacije na proces oblikovanja.
- c) Potrebnu silu oblikovanja kao i karakter promjene te sile.
- d) Potreban deformacioni rad.
- e) Uticaj različitih sredstava za podmazivanje na proces oblikovanja.
- f) Optimalnu geometriju alata.

4. Zaključak

Na osnovu navedenih osobnosti oblikovanja titanovih limova deformisanjem može se zaključiti da se oblikovanje složenijih elemenata može izvesti samo ako se obezbijede uslovi oblikovanja sa relativno velikim temperaturama. Konstruisani uređaj prezentiran u ovom radu omogućava iznalaženje tehnoloških parametara obrade za različite postupke oblikovanja. Modeliranjem procesa oblikovanja znatno se smanjuju troškovi eksperimentalnih istraživanja.

5. Literatura:

- /1/ Semiatin S.L, Jonas J.J., Formability Workability of metals, American Society for Metals, Columbus - Ohio, USA, 1984.
- /2/ Donachie M.J.jr., Titanium and Titanium Alloys (Source book) American Society for Metals, Columbus - Ohio, USA, 1982.
- /3/ "Final Technical Report of IMI - titanium" - Birmingham, Engleska, 1985.

/4/ Mažarova G.E.etall., Obrabotka titanovih splavov davleniem,
Metalurgia, Moskva, 1977.

/5/ Djukić H., Popović P., Elaborat 4a/80, Mostar, 1980.

vanja poznat kao programsko ojačavanje, koji svoje teorijske i eksperimentalne metode zasniva na analizama dobijanja visoke čvrstoće nekih defektnih (realnih) kristala. Ovaj metod se principijelno razlikuje od drugih u tome, što u njegovoj osnovi leže različiti procesi difuzne i mikropomerajne relaksacije unutrašnjih naprezanja, ostvarenih bez bitne količinske izmene spektra defekata, uglavnom, na račun kvalitetne izmene u celoj defektnoj strukturi u uslovima maksimalnog približavanja sistema stvarnoj termodinamičkoj i mehaničkoj ravnoteži.

Jedno od glavnih preimućstava ovog načina ojačavanja je u tome, što je za njegovo ostvarenje potrebna mala zaostala deformacija u vidu mikroplastičnosti, pri čemu se ovaj postupak može primenjivati kako za povećanje deformabilnosti materijala, tako i u završnoj obradi gotovih proizvoda za poboljšanje njihovih eksploatacionih svojstava.

U ovom radu se rasmatraju promene u strukturi materijala, a koje se dešavaju primenom programskog ojačavanja, sa ciljem izmene svojstava tog materijala.

2. Fizički osnovi programskog ojačavanja

Mnogobrojna ispitivanja mehanizma plastičnog deformisanja mono i polikristala metala i legura dovode do zaključka da se plastično deformisanje ne odvija istovremeno po celoj zapremini, već nastaje lokalno u kristalu, a zatim se širi i rasprostire po određenim kristalografskim ravnima i pravcima. Odavde sledi da se čvrstoća na smicanje određena karakterom i veličinom sile medjuatomske veze, svojstvima i gradnjom oblasti u kojima započinje plastično deformisanje, tj. karakterom submikroskopske nejednorodnosti gradje kristala. Sa povećanjem broja nejednorodnosti gradje kristalne rešetke, plastično deformisanje nastaje pri znatno višim spoljašnjim opterećenjima.

Na ponašanje metala i legura pri opterećenju dejstvuju različiti difuzioni procesi, koji su posledica deformisanja materijala, jer oni dovode do: anizotropnog rasporeda atoma, izmene stepena poredka kod sredjenih legura, raspada čvrstih rastvora, difuzije vakanaca i dr., tj. postoji veliki uticaj difuzionih procesa na mehanička svojstva /1,2,3/. Naročito je zapažen taj uticaj na granicu tečenja. Difuzioni procesi dovode do nemonotone zavisnosti granice tečenja od temperature i njene anomalne zavisnosti od brzine deformacije /4/.

Kod realnih kristala postoji čitav niz potencijalnih barijera koje sprečavaju kretanje dislokacija (barijere Pajersa, tačkasti defekti, fazne izlučevine, druge dislokacije, kao i skupine dislokacija i dr.), tako da napon pri kome nastaje elementarno plastično deformisanje bitno zavisi od karaktera rasporeda unutrašnjih naprezanja u kristalu, tj. od rasporeda potencijalnih barijera, kako po visini, tako i po razmeštaju u prostoru.

Heterogenost koja se ispoljava pri elementarnom premeštanju dislokacija na jedno medjatomsko rastojanje završava se makronejednorodnošću ne samo u kretanju pojedinačnih dislokacija, no i njihovih grupa, i to je jedan od glavnih uzroka razvitka procesa plastičnog deformisanja /4/. Nejednorodnost kretanja dislokacija igra fundamentalnu ulogu kod realnog procesa deformisanja. Otuda se veza između granice tečenja i naprezanja za početak kretanja dislokacija određuje odnosom visine potencijalnih barijera prema rastojanju između njih, tako da se visina - izražajnost - granice tečenja može odrediti disprznošću potencijalnih barijera i njihovih rastojanja, što je i eksperimentalno potvrđeno /5/. Izučavanje procesa mikroskopske deformacije je značajno sa praktičnog i naučnog stanovišta, jer omogućuje otkrivanje novih prirodnih izvora dislokacija, zakonitosti obrzovanja nakupina dislokacija, relaksacije lokalnih naprezanja na račun uzajamnog dejstva defekata, kao i njihove preraspodele u energetski pogodniji položaj. U mnogim slučajevima mikrodeformacije uslovljavaju veličinu makroskopske granice tečenja, sklonost ka krtom lomu, ponašanje materijala pri pužanju i relaksaciji.

Programsko ojačavanje se može ostvariti pri termo-mehaničkom, termičkom, redijacionom ili cikličnom naprezanju, ali u svim tim slučajevima termičko-mehanička aktivacija mora da otkrije sva slaba mesta po celoj zapremini i na površini uzorka i njih ojačavanjem "zaleči" bez ikakvih znakova mikrorazaranja. Osnovni uslov realizacije programskog karaktera naprezanja je obezbedjenje konstantnosti odnosa između rastuće spoljašnje sile i unutrašnjeg otpora materijala deformisanju, što je izraženo kroz održavanje konstantnosti brzine deformacije u svim produženim vremenima deformisanja.

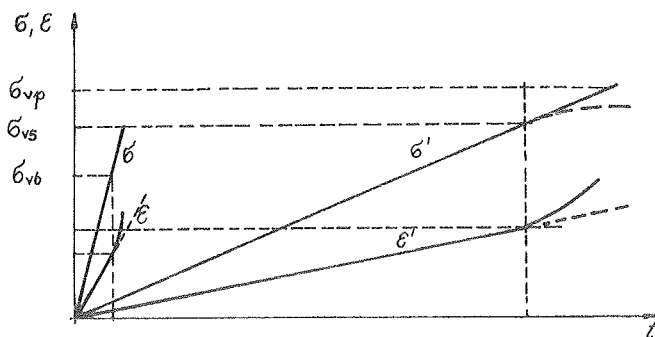
Metod programskog ojačavanja shematski je dat na slikama 1. i 2. Prave linije $\sigma = a \cdot t$ i $\epsilon = b \cdot t$ (gde su parametri a i b konstante koje određuju nagib pravih linija) daju zakon promene napona i deformacije pri uobičajenim brzinama promene opterećivanja, i njima odgovara granica tečenja σ_{vb} . Brzina programske promene opterećivanja bira se iz uslova "obratnog" brzinskog efekta i konstantnosti brzine deformacije iznad normalne granice tečenja σ_{vb} . Promena veličine primenjenog opterećenja sa vremenom (t) u tom slučaju je data uzrazom:

$$\sigma(t) = v_{\sigma} \cdot t \quad (1)$$

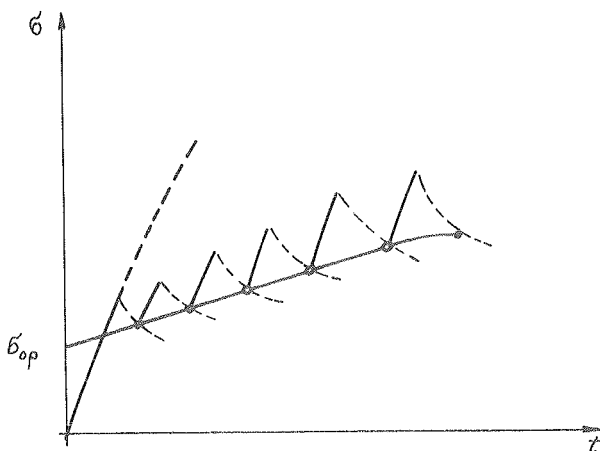
gde je: v_{σ} - brzina promene programskog opterećenja.

Tom prilikom dostignuti nivo ojačavanja dat je granicom tečenja $\sigma_{v\beta}$, koja je prikazana na slici 1. Promeni napona i deformacije pri programskoj promeni opterećenja odgovaraju prave $\sigma' = a' \cdot t$ i $\epsilon' = b' \cdot t$. Pri tome se zapaža da se u nekom momentu vremena, pri $\sigma_{v\beta}$ javlja tendencija ubrzava-

nja deformisanja, što ukazuje na neophodnost prekidanja opterećenja, ili



Slika 1. Grafički prikaz programskog opterećenja. σ, ε - normalni režim promene napona i deformacije i σ, ε' - programski režim, gde su: σ_{vb} - napon tečenja pri brzom promeni opterećenja, σ_{vs} - napon tečenja pri sporoj promeni opterećenja i σ_{vp} - pri programskoj promeni.



Slika 2. Grafički prikaz programskog opterećenja dobijen sa skokovitim relaksacijama. σ_{op} - početno naprezanje, iznad koga je porast naprezanja neophodno voditi po određenom programu.

njegovog produžavanja sa usporenjem po određenom zakonu (promena koja odgovara isprekidanoj liniji na slici 1.). Krajnje ojačavanje se ostvaruje na specijalnom uređaju sa programskom promenom opterećenja /6/, koji omogućuje dopunsko povećanje efekata ojačavanja do granice σ_{vp} .

Drugi način određivanja optimalnog režima programskog opterećivanja sastoji se u sprovođenju, u makroelastičnoj oblasti, deformisanja sa stepnjevitom relaksacijom, tj. sa izlazom svakog "stepenika" opterećenja na početni ustanovljeni stadijum, vidi sliku 2. Linija dobijena povlačenjem kroz dobijene tačke daje stadijum stepnjevite relaksacije i odgovara neophodnom zakonu promene opterećenja sa vremenom pri programskom režimu op-

terećenja. Važno je zapaziti da ovaj, drugi način, registruje neki nivo napona σ_{op} od kog opterećenje treba dalje voditi programirano, dok u prvog načina opterećivanja po programu počinje od napona jednakog nuli.

Izbor optimalnog režima programiranja se određuje: temperaturom, brzinom promene opterećenja i graničnom vrednošću opterećenja sa jedne strane, i sa druge strukturnim stanjem, tj. defektnošću strukture materijala.

Programsko ojačavanje dovodi do poboljšanja celog kompleksa mehaničkih svojstava metala i legura, i to: povišenja granice elastičnosti, povišenja granice tečenja, statičke i dinamičke čvrstoće, dalje otpora puzanju, dijapazona plastičnosti, povećanja viskoznosti i sniženja temperaturnog praga lomkosti u hladnom stanju.

3. Zaključak

Problem ojačavanja konstruktivnih materijala je veoma aktuelan i zahteva kompleksna istraživanja fizičko-plastičnih svojstava kristalnih tela, i to kako sa stanovišta poboljšanja svojstava već poznatih materijala, tako i u stvaranju novih mogućnosti za dobijanje novih materijala - materijala sa unapred određenim svojstvima - materijala neophodnih za dalji savremeni razvoj tehnike.

Upoznavanje sa savremenim predstavama o defektima u gradnji kristala i prisustvo čitavog spektra kritičnih naprezanja različitih elemenata plastičnog deformisanja materijala teorijski je postavljen i eksperimentalno, od strane mnogih autora, dokazan principijelno novi pravac u rešavanju problema dostizanja mehanički ravnomernog stanja materijala, koji je nazvan programsko ojačavanje materijala, a koji u svakom trenutku vremena uračunava uticaj brzine i stepena proticanja fizičkih procesa, koji formiraju svojstva materijala koji se ojačava.

Prema tome, programsko ojačavanje, dovodeći do izmene i stabilizacije strukture i svojstava materijala, predstavlja perspektivnu i efikasnu metodu za realizaciju većih mogućnosti u težnji povećanja mehaničkih svojstava materijala uz poboljšanje karakteristika obradivosti.

Literatura:

- /1/ Pavlov V.A.: Fizičeskie osnovi plastičeskoj deformaciji metalov. Moskva, Nauka, 1962.
- /2/ Smirnov S.N.: Elementarniji procesi plastičeskoj deformaciji kristalov Kiev, Naukova дума, 1978.
- /3/ Jamofudži K.BauerN.:Aktuelnie vaprosi teoriji dislokacij.Mir, 1969.
- /4/ GindinI.A.,Nekljudov I.M.:Fizika programnogo upročnenija. Kiev, Naukova дума, 1979.
- /5/ Naybour R.D.: Hardening during deformation of an 18Cr-12Ni-nb austenitic steel at 650C-Acta met, 1965.
- /6/ GindinI.A. i dr.:Ustanovka za statičeskih ispitanih i termomehaničeskoj obrabotki materijalov v temperaturnoj oblasti ot 4,2-1200 K,1973.

21. SAVJETOVANJE PROIZVODNOG STROJARSTVA JUGOSLAVIJE, OPATIJA, 1987.

ELEKTROZAVOJNA PRESA SA NOVIM POGONSKIM MEHANIZMOM
ELEKTROSPIENDELPRESSE MIT DEM NEUEN ANTRIEBSGETRIEBEN

T.Petrović Mašinski fakultet Niš, Univerzitet u Nišu
18000 Niš, Beogradska 14, Jugoslavija

M.Potić Istraživačko razvojni institut, Ei Niš,
18000 Niš, Bulevar V.Vlahovića 80-82, Jugoslavija

Ključne reči: REZIME: U ovom radu je prikazano konstrukciono rešenje elektrozavojne prese sa novim pogonskim mehanizmom. Primenjeni novorazvijeni mehanizam omogućava transformaciju jednosmernog kružnog u dvosmerno pravolinijsko kretanje čime su ostvarene široke mogućnosti upravljanja pritiskivačem i visok stepen korisnog dejstva pri transformaciji energije. Posebna prednost nove konstrukcije prese ogleda se u mogućnosti ostvarivanja karakteristika koje odgovaraju tehnološkom procesu.

Kennwörter: ZUSAMMENFASSUNG: In dieser Arbeit wird eine Konstruktionslösung der Presse mit dem neuem Antriebsgetriebe dargestellt. Der neuentwickelte Getriebe ermöglicht die Umwandlung einsiniger Dreh- in die wechsellinige Geradlinigebewegung mit dem man breite Steuerungsmöglichkeiten und hohen Wirkungsgrad, bei der Energietransformation erreichen kann. Die besonderen Vorteile der neuentwickelte Presse biten die Möglichkeit solche Charakteristiken zu ereihen, die dem technologischen Prozess entsprechen.

1. Uvod

Osnovna obeležja alatnih mašina su tehnološke i eksploatacione karakteristike. Naročito su značajne ove karakteristike kod zavojnih presa jer im je i sama namena da uloženu energiju sa što većim stepenom korisnog dejstva transformišu u mehanički rad pri obavljanju određenih tehnoloških operacija i da pri tom ta transformacija bude prilagodjena

tehnološkim zahtevima (potrebna veličina sile, konstantna brzina dejstva i td.). U cilju ostvarivanja odredjenih karakteristika presa vrše se naponi na iznalaženju onih konstrukcionih rešenja koja će omogućiti približavanje realnih karakteristika mašinskih sistema zahtevanim. U ovom radu su prezentirani rezultati naučno-istraživačkog rada na realizaciji novog pogonskog mehanizma elektrozavojnih presa. Projekat je radjen u okviru saradnje Mašinskog fakulteta u Nišu i Metalne industrije "Lemind", OOUR "Mašinoteks" a finansirala ga je Osnovna zajednica nauke regiona Leskovac.

2. Nedostaci postojećih konstrukcionih rešenja zavojnih presa

Osnovni nedostaci postojećih konstrukcionih rešenja zavojnih presa ogledaju se u niskom energetskom stepenu iskorišćenja i neprilagodljivosti radnih karakteristika tehnološkim zahtevima. U težnji da se ovi nedostaci otklone razvijene su mnogobrojne konstrukcije pogonskih mehanizama /1,5/.

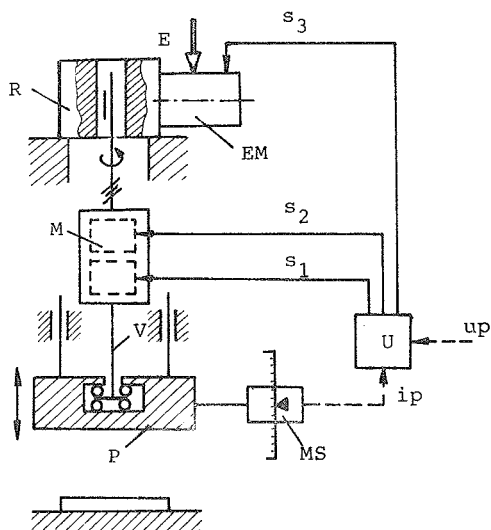
Niski stepen iskorišćenja pogonske energije uzorkovan je karakteristikama primenjenih mehanizama za transformaciju pogonskog obrtnog u pravolinijsko kretanje izvršnog elementa. Gubici energije se javljaju uglavnom u trenucima promene smer kretanja izvršnog elementa i naročito je značajno onda ako je za ostvarivanje te promene potrebno promeniti i smer pogonskog kretanja (zavojna presa sa diskovima i elektrozavojna presa sa upravljanim elektromotorom). Znatno povećanje stepena korisnog dejstva ostvaruje se konstrukcijama sa jednosmernim pogonskim obrtanjem i sa što manjim masama elemenata koji u prelaznim režimima menjaju smer obrtanja (elektrozavojna presa sa spojnicom) pri čemu se energija akumulirana u zamajcu koristi samo za obavljanje rada deformisanja radnog predmeta. Najvažniji nedostatak ovog konstrukcijskog rešenja leži u prelaznim pojavama koje nastaju pri prekidanju kinematskog lanca. Ukopčavanjem i iskopčavanjem spojnice koja prenosi celokupni obrtni moment mašine nastaje disipacija energije u vidu toplote i smanjivanje ukupnog stepena korisnog dejstva.

U pogledu prilagodjavanja karakteristika presa tehnološkim zahtevima, postojeća konstrukciona rešenja poseduju male mogućnosti. Ako je konstantna brzina deformisanja jedna od zahtevanih karakteristika tehnološkog procesa onda je od postojećih konstrukcionih rešenja zavojnih presa jedino donekle može ispuniti elektrozavojna presa sa spojnicom. Stroži tehnološki zahtevi u pogledu ostvarivanja unapred propisanog zakona kretanja pritiskivača postojeća konstrukciona rešenja presa ne mogu uspešno ostvariti.

Imajući u vidu napred rečeno koncipirano je konstrukcijsko rešenje za-vojne prese sa novim pogonskim mehanizmom /2/ kojim se jednosmerno obr-tanje zavojnog vretena transformiše u dvosmerno pravolinijsko kretanje pritiskivača uz jednostavno i lako upravljanje.

3. Konstrukciono rešenje elektrozavojne prese sa novim pogonskim mehanizmom

Strukturna šema konstrukcijskog rešenja elektrozavojne prese sa novim pogonskim mehanizmom prikazana je na slici 1.



Slika 1.

Od pogonskog elektromotora EM jednosmerno obrtno kretanje se preko re-dukтора R prenosi na zavojno vreteno V. U mehanizmu za transformaciju kretanja M permanentno jednosmerno pogonsko obrtno kretanje zavojnog vretena transformiše se u dvosmerno pravolinijsko kretanje pritiskivača P. Upravljačka jedinica U pored upravljačkih signala up koje korisnik može eksterno zadavati koristi i informacijski signal o položaju pritiskivača ip koji generiše merni sistem MS. Kao rezultat obrade ulaznih signala upravljačka jedinica generiše upravljačke signale za upravljanje mehanizmom s_1 i s_2 i signal za upravljanje motorom s_3 . Energija E u sistemu se dovodi iz električne mreže.

Osnovna konstrukciona karakteristika nove elektrozavojne prese ogleda se u primeni novog pogonskog mehanizma i standardnih komponenti domaćih proizvođača.

Pogonski elektromotor je standardni trofazni sa kratkospojenim rotorom i zbog stalnog jednosmernog obrtanja radi u optimalnom režimu sa maksimalnim stepenom korisnog dejstva.

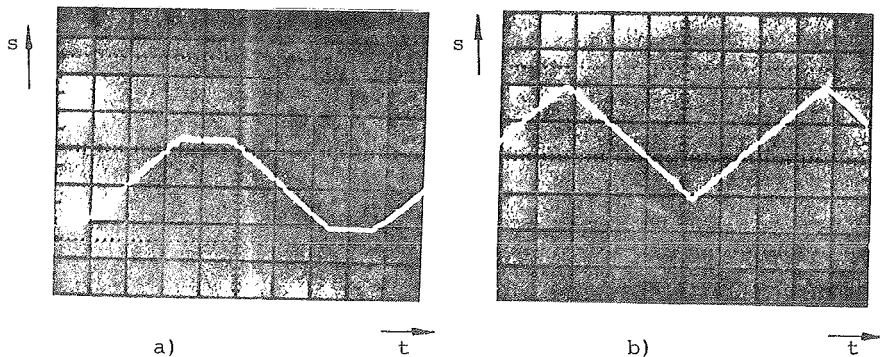
Princip rada osnovnog konstrukcionog izvodjenja mehanizma za transformaciju jednosmernog kružnog u dvosmerno pravolinijsko kretanje sa impulsnim upravljanjem dat je u radovima /1,2,3/. Daljim razvojem ostvarene su nove konstrukcione varijante koje, koristeći isti princip rada, obezbeđuju sigurniji rad, lakšu izradu, jednostavniju montažu uz istovremeno zadržavanje osnovnih karakteristika novog mehanizma.

Upravljanje kretanjem izvršnog elementa mehanizma ostvaruje se dejstvom na upravljački deo mehanizma (elektromagnetne kočnice) pri čemu se ne isključuje pogonsko kretanje što omogućava primenu dinamičkih akumulatora energije bez prekidanja kinematskog lanca. Ovo obezbeđuje mogućnost transformacije velike količine energije u radnom procesu, a da se istovremeno pogonska ugaona brzina održava konstantnom.

Upravljačku jedinicu čini projektovana elektronska logika koja impulsnim upravljačkim signalima vrši upravljanje mehanizmom i regulaciju broja obrtaja pogonskog elektromotora.

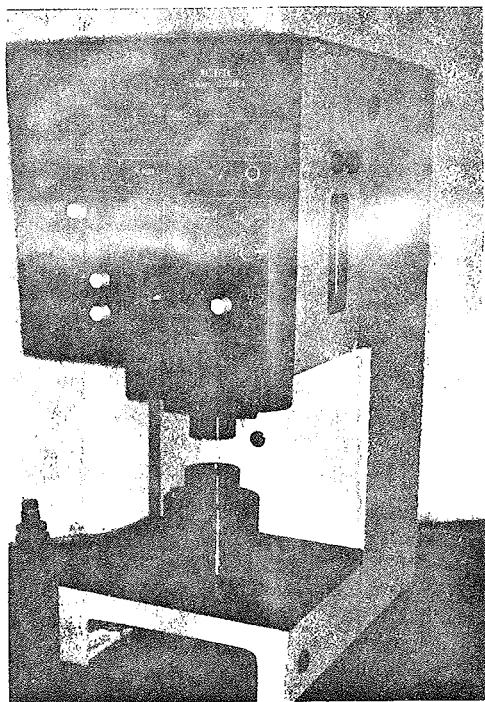
4. Karakteristike elektrozavojne prese sa novim pogonskim mehanizmom

Osnovne karakteristike nove elektrozavojne prese su visok stepen korisnog dejstva pri transformaciji energije i široke mogućnosti upravljanja koje omogućavaju ostvarivanje takvih radnih karakteristika koje odgovaraju tehnološkim procesima.



Slika 2.

Visok stepen korisnog dejstva je omogućen, pre svega, jednosmernim pogonskim obrtanjem, što znači da pogonski elektromotor radi u optimalnom režimu bez zaustavljanja i promene smera obrtanja. Sam princip rada mehanizma za transformaciju energije omogućava da se u prelaznim režimima ne gubi velika energija pri zaustavljanju obrtanja pojedinih elemenata jer se upravljanje bazira na preusmeravanju toka energije unutar samog mehanizma bez prekidanja kinematskog lanca. Upravljanje kretanjem izvršnog elementa je veoma jednostavno i za razliku od standardnih elektrozavojnih presa novim rešenjem se mogu ostvariti svi željeni zakoni kretanja. Značajno je napomenuti da se u bilo kom položaju može ostvariti period mirovanja pritiskivača sa proizvoljnim vremenom trajanja (slika 2a). Na slici 2b prikazan je rafalni radni režim bez zadržavanja pritiskivača u graničnim položajima.



Slika 3.

Presa se karakteriše konstantnom brzinom deformisanja sa jednakim ili različitim brzinama pritiskivača u radnom i povratnom hodu. Promena brzine kretanja ostvaruje se regulacijom brzine obrtanja pogonskog elektromotora.

Podešavanjem upravljačkog napona može se regulisati maksimalna sila na pritiskivaču tako da se pri njenom ostvarivanju zaustavlja dalje kretanje ili obavlja povratni hod.

Sila držanja pri zaustavljenom pritiskivaču može biti proizvoljno velika sve do granice izdržljivosti elemenata konstrukcije a ostvaruje se bez posebnih pogonskih elemenata.

Promena hoda prese ostvaruje se veoma jednostavno promenom položaja graničnih prekidača ili zadržavanjem oblasti kretanja pritiskivača pomoću upravljačke jedinice uz korišćenje informacija iz mernog sistema.

Za razliku od svih mehaničkih presa, granična sila prese sa novim pogonskim mehanizmom je u okviru celog hoda konstantna. Mogućnost precizne regulacije hoda i visoka tačnost ostvarenog položaja pritiskivača omogućavaju, pored ostalog, primenu prese za izradu i montažu fino mehaničkih elemenata.

Komandna tabla realizovana po ergonomskim principima poseduje komandni regulacioni i signalizacioni deo. Komandni deo, pored preklopnika za izbor radnog režima, poseduje tastere za definisanje smera kretanja pritiskivača pri ručnom komandovanju stalnog ili kratkotrajnog dejstva. Regulacioni deo komandne table poseduje potencioetre za regulaciju brzine i granične sile, kao i potencioetre za regulaciju vremena zadržavanja u donjem i gornjem graničnom položaju. Automatskim brojačem radnih ciklusa može se vršiti kontrola ostvarenih hodova i isključivanje mašine pri dostizanju željenog broja radnih komada. Signalizacioni deo komandne table daje informaciju o smeru kretanja pritiskivača, dostignutim graničnim položajima, i preopterećenosti motora. Pored ovoga ugrađena je signalizacija prisutnosti napona, signalizacija početka radnog hoda i stop-prekidač. Radi obezbedjenja radnog osoblja ugrađena je i dvoručna komanda. Elektronski upravljački deo je izradjen modularno i smešten u noseću konstrukciju prese.

5. Zaključak

U radu je prikazana elektrozavojna presa sa novim pogonskim mehanizmom koji omogućava ostvarivanje veoma povoljnih radnih karakteristika. Visok stepen korisnog dejstva pri transformaciji energije i široke mogućnosti upravljanja i regulacije parametara prese čine je pogodnom za obavljanje tehnoloških i montažnih operacija. Teorijskim i eksperimentalnim putem identifikovane komparativne prednosti u odnosu na postojeća rešenja potvrđuju opravdanost učinjenih napora na realizaciji prototipnog modela. Evidentna je potreba za daljim usavršavanjem ovog mašinskog sistema u cilju ostvarivanja visoko produktivne i ekonomične mašine sa širokom primenom.

Literatura

- /1/ Petrović T.: Mogućnost primene novog pogonskog mehanizma u alatnim mašinama, XVIII Savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Niš, 1984.god.
- /2/ Petrović T.: Zavojni mehanizam za transformaciju jednosmerno kružnog u dvosmerno pravolinijsko kretanje sa impulsnim upravljanjem, Doktorska disertacija, Niš, 1981.god.

- /3/ Petrović T., Živković Ž., Bögelsack G.: Impulsgesteuerte Positioniereinrichtung mit Kombiniertem Schrauben-Umlaufräder-Betriebe, 28. Internationales Wissenschaftliches Koll. TH Ilmenau, Ilmenau, 1983.
- /4/ Čurafić G., Pantelić T.: Kompjuterska analiza i sinteza mehanizama prese za duboko izvlačenje, III jugoslovenski simpozijum "Mašine i mehanizmi", Univerzitetska istraživanja i primena u industriji, Mostar, 1980.
- /5/ Popović P., Domazet D., Temeljkovski D.: Prilog uporednoj analizi energetskog dela pogonskog mehanizma zavojnih presa, III jugoslovenski simpozijum "Mašine i mehanizmi", Univerzitetska istraživanja i primena u industriji, Mostar, 1980.
- /6/ Stoiljković V., Popović P., Pantelić T.: Prilog razmatranju uticaja zakona promene brzine deformisanja i konfiguracija alata na proces izvlačenja sa stanjenjem omotača, III jugoslovenski simpozijum "Mašine i mehanizmi", Univerzitetska istraživanja i primena u industriji, Mostar, 1980.
- /7/ Rudolf B.: Probleme der Konstruktiven Optimierung von Werkzeugmaschinen zum Umformen, Maschinenbau technik, Heft 4/1980., s.174-177.

21. SAVJETOVANJE PROIZVODNOG STROJARSTVA JUGOSLAVIJE, OPATIJA, 1987.

UTICAJ PROCESA SABIJANJA PRAHA NA REŠENJE UPRAVLJANJA
HIDRAULIČNOM PRESOM

INFLUENCE OF POWDER COMPACTION PROCESS ON THE SOLUTION
HIDRAULIC PRESS CONTROL

D. Drndarević

SOUR "Prvi partizan", 31000 Tišovo Užice, Jugoslavija

Ključne reči

Hidraulična presa
Metalni prah
Programabilni
automat
Logička funkcija

REZIME: U radu je razmatrana mogućnost realizacije upravljanja hidrauličnom presom, namenjenom za izradu delova od metalnog praha, pomoću programabilnog automata. Izvršena je analiza tehnoloških zahteva kod operacije presovanja praha. Iznete su osnovne karakteristike programabilnog upravljanja. Navedene su metode sinteze upravljačkih sistema koje se mogu primeniti s obzirom na specifičnost upravljanja sa programabilnim automatom. Detaljnije je izložen postupak sinteze pomoću posebnog oblika logičkih funkcija koji se bazira na korišćenju opštih principa teorije prekidačkih kola.

Key words:

Hdraulic press
Powder metal
Programmable
controller
Logic function

ABSTRACT: In this paper the possible realization of hydraulic press control has been taken into consideration, intended for the manufacturing of metal powder parts, by programmable controller. The analysis of technological requirements for powder pressing operation has been carried out. The basic characteristics of programmable control have been presented. The methods of control systems synthesis are mentioned, which can be applied taking into account the control characteristics with programmable controller. The procedure of synthesis by special form of logic functions based on the utilization of general principles of the switching circuits theory are presented in detail.

1. U V O D

Metallurgija praha, koja obuhvata, pored proizvodnje metalnih prahova, različite postupke izrade delova od prahova, je oblast koja danas doživljava vrlo brz razvoj, potiskujući neke druge vrste obrade. Sa njenim razvojem zahtevi u pogledu raznovrsnosti i složenosti oblika i mehaničkih osobina delova stalno rastu i čine upravljačke sisteme presa na kojima se izvodi proces oblikovanja presovanjem praha sve kompleksnijim. Relejna tehnologija, koja se koristila za realizaciju upravljanja, nije mogla da zadovolji ove zahteve, pa je ona u sve većem obimu zamenjivana poluprovodničkom.

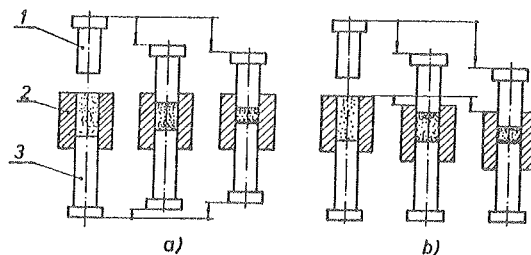
Da bi se pri daljem povećanju složenosti sistema upravljanja presa postigao zadovoljavajući nivo pouzdanosti, kao i zahtevana programabilnost, biće data mogućnost

realizacije na bazi mikroprocesora, odnosno programabilnih automata. Pre sagledavanja mogućnosti rešenja upravljanja biće izvršena potrebna analiza tehnoloških zahteva koje treba da zadovolji upravljački sistem.

Proces izrade delova od metalnog praha u osnovi se sastoji u presovanju praha u odgovarajućim alatima, koji formiraju oblik i sinterovanju, odnosno toplotnoj obradi odpresaka, pri kojoj se vrši hemijsko vezivanje čestica i dobija potrebna čvrstoća. Gotovi delovi se mogu dobiti posle prvog sinterovanja ili posle dodatnih operacija (ponovnog presovanja, sinterovanja, kalibrovanja i toplog ili hladnog kovanja), koje služe za promenu oblika i mera.

Od navedenih operacija detaljnije će biti razmatrana operacija presovanja praha, posebno sa aspekta upravljanja presom. S obzirom da se prahovi pod pritiskom ne ponašaju kao fluidi zbog prisustva trenja i efekta vezivanja čestica, spoljna sila, primenjena u jednom smeru, gubi svoju efektivnost na kratkom rastojanju od površine i ne prenosi se efikasno kroz masu. U praksi se uglavnom nalazi presovanje u dva smera duž jedne ose (gornje i donje presovanje), a samo u nekim slučajevima sa pritiskom samo u jednom smeru (gornje, odnosno donje presovanje). Varijacije gustine su znatno veće kod presovanja u jednom smeru, što stvara teškoće kod delova čija je visina relativno velika u odnosu na poprečne dimenzije (kod delova tipa diska sa odnosom visine i prečnika $h/d > 1$ i čaura sa odnosom visine i minimalne debljine zida $h/s_{min} > 3$, prema podacima /7/).

Na sl. 1 date su dve principijelne mogućnosti dvosmernog presovanja.



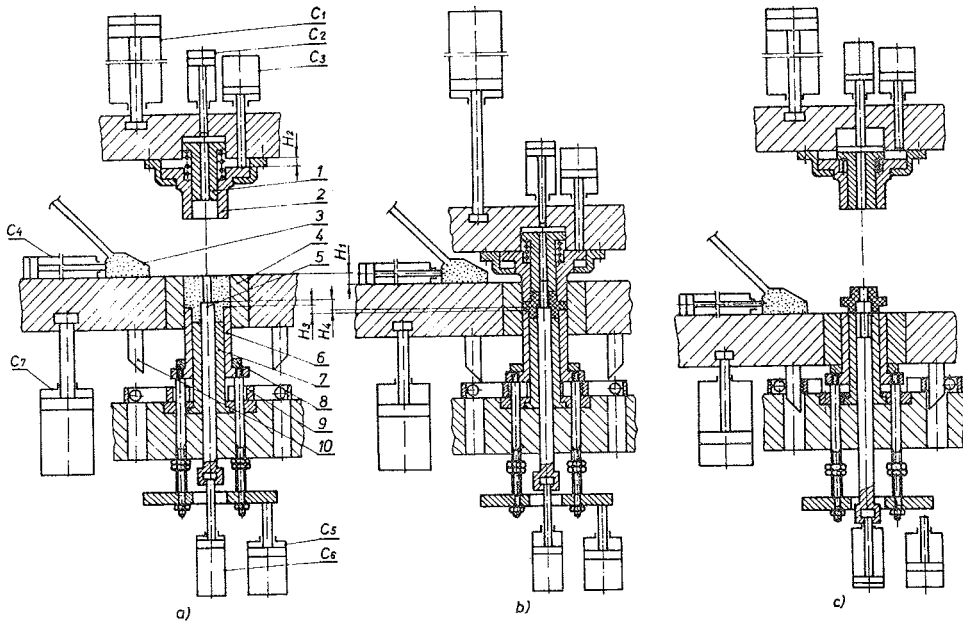
Sl. 1. Dvosmerno presovanje

Kod postupka prikazanog na sl. 2a. sabijanje praha se vrši istovremenim pokretanjem gornjeg potiskivača 1 i donjeg potiskivača 3, dok se kalup 2 za to vreme ne pomera. Isti efekat u pogledu rasporeda gustine se dobija ako se umesto kretanja donjeg potiskivača na gore kreće kalup na dole (sl.2b.). Ovaj način se naziva presovanje sa "tonjenjem" kalupa i primenjuje se kod većine presa novije konstrukcije.

2. TEHNOLOŠKI ZAHTEVI U PROJEKTOVANJU UPRAVLJANJA HIDRAULIČNIH PRESA

Da bi se mogli izložiti zahtevi koje postavlja tehnologija izrade u projektovanju

upravljanja, biće dat princip rada jedne hidraulične prese. Razmotriće se presovanje dela relativno univerzalnog oblika, kod koga se primenjuju funkcije prese koje se u većini slučajeva koriste (sl.2.).



Sl.2. Presovanje delova sa tri promene poprečnog preseka

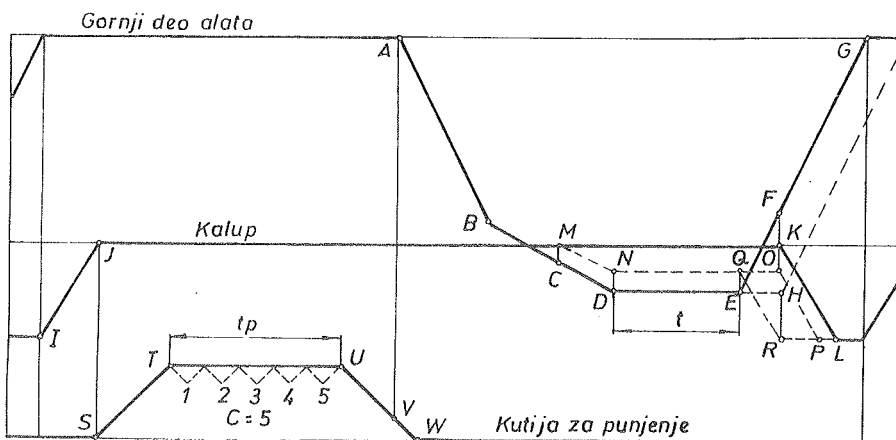
Promena poprečnog preseka po visini ostvaruje se sa posebnim potiskivačima koji se nezavisno pomeraju pomoću hidrauličnih cilindara. Izjednačavanje rasporeda gustine vrši se dvosmernim presovanjem koje je izvedeno preko tonjenja kalupa i odgovarajućih potiskivača.

Ciklus presovanja počinje kada se gornji deo alata nadje u gornjem položaju (sl.2a.). Tada cilindar C_4 pomera kutiju za punjenje prahom 3 u položaj iznad otvora kalupa 4. Posle povratnog hoda kutije pomera se celokupan gornji deo alata preko cilindra C_1 i ulazi u kalup (sl. 2b.). Za vreme sabijanja praha izvode se skoro istovremeno sledeća kretanja : Kretanje kalupa 4 za visinu H_1 , gornjeg spoljašnjeg potiskivača 2 (H_2), donjeg spoljašnjeg potiskivača 6 (H_3) i oblikača 5 (H_4), radi izjednačavanja gustine po visini odpreska.

Na kraju ciklusa vrši se izbacivanje odpreska iz kalupa (sl.2c). Pri tom se aktivira cilindar C_2 koji preko gornjeg unutrašnjeg potiskivača 1 istiskuje odpresak iz potiskivača 2 i sprečava njegovo pucanje, dok se gornji deo alata preko cilindra C_1 pomera u gornji položaj. Izbacivanje odpreska na površinu kalupa izvodi se pomeranjem kalupa

i oblikivača na dole preko odgovarajućih cilindara. Potiskivač 6 se pomera na dole pomoću kalupa, a to kretanje je omogućeno preko elemenata 8, 9 i 10. Time je odpresak izbačen pomoću nepokretnog potiskivača 7 iznad kalupa i može se skinuti ručno ili pomoću manipulatora.

Analiza tehnoloških zahteva biće ograničena na kretanje osnovnih elemenata (gornjeg dela alata, kalupa i kutije za punjenje) u pojedinim fazama ciklusa (sl.3.). Neće biti razmatrani specijalni zahtevi i dodatne funkcije, koje se izvode pomoću posebnih cilindara (C_2 , C_3 , C_5 i C_6 na sl.2.), čija je namena presovanje složenijih oblika, kao i sugurnosne funkcije.



Sl. 3. Osnovna funkcionalna kretanja elemenata alata pri presovanju

Kod punjenja kalupa prahom potrebno je obezbediti ravnomernost i homogenost, što je posebno važno kod prahova čija je pokretljivost mala. Kod osnovnog načina punjenja po dostizanju u položaj punjenja T (sl.3.), bez zadržavanja se aktivira povratni hod kutije (u tom slučaju tačke Ti U se poklapaju). Pri težim uslovima punjenja koristi se zadržavanje kutije u zadanom vremenu t_p ili oscilovanje kutije sa brojem oscilacija c u položaju punjenja.

U toku faze sabijanja praha može postojati zahtev da kalup bude nepokretan (putanja MK) ili se pomerati na dole, odnosno tonuti za hod MN radi dobijanja ravnomerne gustine. Tonjenje se može izvesti pomoću trenja i to kod odpresaka kod kojih je pritisak, odnosno sila trenja na zidovima kalupa dovoljna da u toku sabijanja pomeri kalup na dole za hod potreban da bi se dobio ravnomeran raspored gustine. Ukoliko ovaj uslov

nije zadovoljen pomeranje kalupa se vrši prinudno, odnosno hidrauličnim putem.

Izbacivanje odpreska, odnosno njegovog oslobađanje iz alata, može se, s obzirom na kretanje gornjeg dela alata i kalupa, izvesti na tri načina:

- sa predhodnim odizanjem gornjeg dela alata (posle isteka vremena zadržavanja pritiska t gornji deo alata izvodi povratni hod i u položaju F aktivira hod izbacivanja kalupa),

- sa istovremenim pokretanjem gornjeg dela alata i kalupa (aktiviranje hoda izbacivanje kalupa QR vrši se po isteku vremena zadržavanja pritiska t , odnosno u položaju E gornjeg dela alata),

- bez odizanja gornjeg dela alata (gornji deo alata izvodi povratni hod posle dostizanja kalupa u položaj izbacivanja R).

Odgovarajućim izborom redosleda kretanja pri izbacivanju mogu se sprečiti pojave prskotina kod određenih oblika odpresaka.

3. PRIMENA PROGRAMABILNOG UPRAVLJANJA

Glavni problemi koji se javljaju pri konvencionalnom upravljanju hidrauličnih presa namenjenih za metalurgiju praha proističu iz složenosti kretanja elemenata alata, koja su neophodna da bi se ispunili tehnološki zahtevi u pogledu oblika i mehaničkih osobina delova. Sa povećanjem broja izvršnih organa prese povećava se rapidno broj elemenata u sistemu upravljanja. Specifičnosti ovog upravljanja je i to da se za različite oblike delova moraju menjati broj i redosled kretanja izvršnih organa, odnosno ceo program upravljanja. To čini dati sistem upravljanja još složenijim. Kod sistema sa velikim brojem relea osnovni problemi su pouzdanost s obzirom na ograničeni vek trajanja relea i teškoće u održavanju. Da bi se izbegli ovi nedostaci i ispunili sve složeniji zahtevi savremenih tehnologija, koji se postavljaju pred upravljačke sisteme, sve više se umesto relejnih koriste elektronski elementi. Međutim, kada postoje zahtevi za programabilnim upravljanjem, široku primenu nalaze različiti upravljački sistemi koji se zasnivaju na digitalnim elektronskim računarima. Posebnu grupu ovih sistema, koja se razvila i našla primenu u poslednjoj deceniji, predstavljaju programabilni automati (PA).

PA je upravljački uređaj koji prima binarne ulazne signale sa krajnjih prekidača, tastera i drugih uređaja. Sa ovim ulazima, koristeći predhodno programiranu logiku, PA generiše izlazne signale, koji uključuju sklopke, relea, kontrolne lampe, pokretače motora i sl.

Teško je precizno definisati granicu kada obim upravljačke logike zahteva prelaz sa kontaktne na elektronsku, odnosno programabilnu logiku. Ipak, pojedini autori /2,4/ se slažu da se kod sistema sa preko 15-20 relea, uvodjenjem PA dobijaju uštede

i povećava produktivnost, a takodje sa povećanjem obima sistema raste i ušteda u ceni instalisanja.

Upravljanje pomoću PA ima brojne prednosti u odnosu na upravljanje zasnovano na relejnoj tehnologiji. Jedna od najvažnijih prednosti je programabilnost. Za razliku od relejnog upravljanja, gde svaka izmena programa zahteva dodavanje ili izostavljanje pojedinih relea i ponovo povezivanje delova, a vrlo često i cele šeme, kod PA se izmena programa vrši vrlo jednostavnim ispisivanjem i učitavanjem novog programa, bez izmena u hardverskom delu. U pogledu pouzdanosti prednost je na strani upravljanja sa PA u odnosu na relejno upravljanje, što proističe iz razlike u tehnologiji izrade upotrebljenih elemenata. Karakteristika primene PA je takodje bolja dijagnostika i održavanje sistema upravljanja. U /1/ je izneto iskustvo proizvođača PA, gde se predpostavlja da se od ukupnog vremena zastoja usled kvarova 85% odnosi na mašinu, a 15% na sam automat. Od tih 85% vremena 50% se utroši na otkrivanje mesta i vrste kvara, a 35% na otklanjanje, odnosno zamenu delova. Primenom PA vreme potrebno za detekciju kvara može se znatno smanjiti, a to se postiže preko odgovarajućih indikatora i kontrolnih lampi na U/I modulima.

4. MOGUĆNOST SINIEZE UPRAVLJANJA I SINTEZA POMOĆU LOGIČKIH FUNKCIJA

Sistem upravljanja hidrauličnom presom, koja poseduje ranije date funkcije, je sekvencijalan i ima sedam izvršnih organa - hidrauličnih cilindara, 18 ulaza i 14 izlaza. Uzimajući u obzir karakteristike sistema, broj raspoloživih metoda za efikasnu sintezu relativno je ograničen. Opšte metode sinteze sekvencijalnih sistema, zasnovane na teorijskim postavkama i primeni Bulove algebre, ne mogu se koristiti, jer, s obzirom na broj ulaza, izlaza i taktova, ceo postupak bi bio vrlo glomazan, a minimizacija praktično nemoguća. Vrlo raširene i jednostavne inženjerske metode (kaskadna, korak po korak i dr.) se takodje ne mogu primeniti zbog postojanja još jednog prekidača izmedju dva krajnja i hodovima pojedinih izvršnih organa.

Pored zahteva koje pred sintezu upravljanja postavlja tehnološki proces, postoje i određene specifičnosti vezane za sistem kojim se vrši realizacija tog upravljanja. Pri projektovanju upravljačkih sistema sa programabilnim automatom PA 512, proizvođača "Ivo Lola Ribar", kao i kod većine drugih PA, potrebno je kao krajnji rezultat dobiti relejne šeme. U tom cilju razvijeni su posebni postupci za sintezu sistema upravljanja. Prema sistematskom prilazu, datom u /5/ kod zamene postojećeg upravljanja relejne šeme se formiraju direktno na osnovu postojeće realizacije na bazi relea, a pri projektovanju novog sistema formira se dijagram toka, pa se preko logičkog dijagrama dobijaju relejne šeme. Primenjuje se takodje postupak koji se bazira na korišćenju R-S memorisanja /9,10/. Kod njega se za dobijanje izlaznih signala koriste memorijski elementi R-S tipa,

nje se izvodi samo ako je aktiviran prekidač x_2 . Aktiviranjem krajnjeg prekidača x_3 uključuje se povratni hod i nakon aktiviranja x_4 , kretanje se zaustavlja. Deo dijagrama stanja, koji se odnosi na 1.takt, dat je na sl.4b.

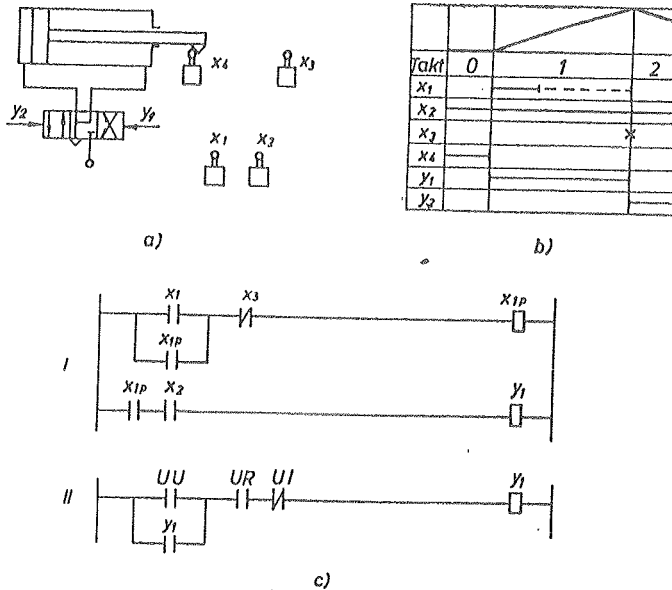
Logičke funkcije koje opisuju izlaz y_1 , prema dijagramu stanja, uzimajući u obzir date napomene, biće:

$$y_1 = x_{1p} x_2$$

$$x_{1p} = (x_1 + x_{1p}) \bar{x}_3$$

x_{1p} - memorisani oblik signala x_1 za vreme dok je izlaz y_1 uključen.

Data logička funkcija sadrži ulaze x_1 , x_2 i x_3 , pomoću kojih se vrši uključivanje, uslovljavanje postojanja i isključenje izlaza y_1 , respektivno. Ulaz x_4 je izostavljen što fizički znači da se uključivanje cilindra, odnosno izlaza y_1 , može vršiti u svakom položaju klipnjače.



Sl. 4. Primer formiranja relejnih šema pomoću logičkih funkcija i R - S memorisanja

Na sl. 4 c je pored relejne šeme, dobijene pomoću logičkih funkcija (I), data radi poredjenja i relejna šema dobijena R-S memorisanjem (II). Kod R-S memorisanja izabrani su isti uslovi upravljanja i to:

$$UU = x_1; UR = x_2; UI = x_3$$

gde je:

UU - uslovi uključenja,

UR - uslovi rada,

UI - uslovi isključenja.

Poredjenjem relejnih šema dobijenih pomoću ova dva postupka može se zaključiti da su one ekvivalentne, s tim što je $x_{1p} = y_1$ prema dijagramu stanja.

5. ZAKLJUČAK

Analiza tehnoloških zahteva kod presovanja delova od metalnog praha ukazuje na nivo složenosti upravljačkog sistema prese, a takođe da je za svaku promenu oblika i pojedinih karakteristika dela potrebno vršiti izmene u programu upravljanja. Na osnovu toga, kao i zahteva u pogledu rukovanja, održavanja i pouzdanosti, došlo se do zaključka da programabilni automat najbolje odgovara datoj vrsti primene.

Postupak formiranja relejnih šema za programiranje PA pomoću logičkih funkcija prikazan je na primeru, a radi poredjenja data je sinteza pomoću R-S memorisanja. Relejne šeme upravljanja hidraulične prese, dobijene primenom oba postupka sinteze, testirane su izvođenjem simulacije na PA 512. Dobijeni rezultati su potvrdili opravdanost primene tih postupaka, kao i pristupa u realizaciji ove vrste upravljanja.

LITERATURA

1. Abel, D., Programmable Controllers, Instruments & Control Systems, jul 1974, str. 49-54.
2. Berg C.: Getting the most from your PC, Instruments and Control Systems, febr. 1978, str. 31-34.
3. Drndarević R. D.: Upravljanje hidrauličnom presom za metalurgiju praha pomoću programabilnog automata, magistarski rad, Mašinski fakultet, Beograd, 1986.
4. Hickey J.: Spec correctly and you can "desingn" your own PC, Instruments and Control Systems, mart 1976, str. 19-26.
5. Jones C.T., Brayan I.A.: Programmable Controllers-Concepts and Applications, International Programmable Controls, Inc., Atlanta, 1983.
6. Lazarev V.G., Piil E.I.: Sintez asinhronnih konačnih automata, Nauka, Moskva, 1964.
7. Radomiseljskij I.D., Pečentkovskij E.L., Serdjuk G.G.: Press formi dlja poroškovoj metallurgii, Tehnika, Kiev, 1970.
8. Zarić S.: Automatizacija proizvodnje, Mašinski fakultet, Beograd, 1981.
9. Zarić S., Jovanović P., Potežica B.: Automatsko projektovanje upravljanja fluidnih sistema, Savetovanje HIPNEF, Beograd, 1984.
10. Uputstvo za projektovanje upravljanja programabilnim automatima, interna publikacija IM "Ivo Lola Ribar", Beograd 1984.

NEKONVENCIONALNI POSTUPCI I OSTALO



21. SAVJETOVANJE PORIZVODNOG STROJARSTVA JUGOSLAVIJE, OPATIJA, 1987

RAZISKAVA LASTNOSTI DIELEKTRIČNIH TEKOČIN V ELEKTROEROZIJSKEM PROCESU

THE RESEARCH OF THE PROPERTIES OF DIELECTRIC FLUIDS IN ELECTRO-DISCHARGE PROCESS

F. Roethel Fakulteta za strojništvo, Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani
M. Dobovšek Murnikova 2, 61000 Ljubljana,
M. Junkar Jugoslavija
A. Vrankar Iskra, IOZD Tovarna elementov za avtomatizacijo, Savska 3,
61000 Ljubljana, Jugoslavija

Ključne besede: POVZETEK: V delu so popisane raziskave lastnosti novih dielektrikov. K osnovnim dielektrikom so bili dodani dispergatorji in antioksidanti. Rezultati so pokazali vplive dodatkov dielektrikom pri obdelavi zaprtih oblik obdelovancev na storilnost procesa in hrapavost površine.

Elektroerozijski proces
Dodatki dielektriku

Key words: ABSTRACT: The paper describes the investigations of the properties of new dielectric fluids. To the basic dielectric fluids dispersers and antioxidants were added. The results show the effects of the additions to the dielectric fluid on the effectiveness of the process and surface roughness during the machining of closed forms.

Electro-discharge process
Additions of dielectric fluid

1. Uvod

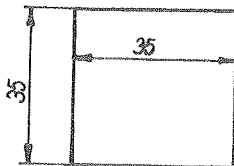
Elektroerozijski proces poteka v delovnem prostoru med elektrodo (orodjem) in obdelovancem, med katerima se nahaja delovna tekočina - dielektrik. Optimiranje procesa je zato možno le s poznavanjem dogajanj v delovnem prostoru na katere bistveno vplivajo tudi lastnosti dielektrika. Te lastnosti bo potrebno vključiti v performančni indeks za adaptivno krmiljenje. Naloga dielektrika je odnašanje erodiranih delcev iz delovne reže, nhlajenje elektrode in obdelovanca ter vzdrževanje stabilnega procesa. S svojimi lastnostmi dielektrik bistveno vpliva na potek elektroerozijskega procesa in s tem na obdelovalnost materialov. V pričujoči raziskavi so bili opravljeni preskusi lastnosti dielektrikov z dodatki za disperzijo delcev in dodatki proti oksidaciji. Namen raziskave je bil ugotoviti možnosti za izboljšavo procesa s spreminjenjem lastnosti dielektrika.

2. Problematika raziskav dielektrikov

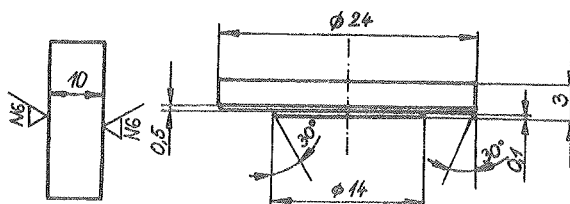
Trend razvoja elektroerozijske obdelave v svetu je bil pred kratkim že popisan /1/. Na Fakulteti za strojništvo je bila na osnovi koncepta, ki je bil pred leti že posredovan /2/, opravljena že vrsta raziskav /3/. Raziskave zajemajo lastnosti procesa in vplivnih parametrov s ciljem optimizacije in avtomatske priprave tehnologije z avtomatskim vodenjem procesa.

Pri elektroerozijski obdelavi z grezenjem se uporabljajo kot dielektriki ogljikovodikove spojine. Za raziskave so bili uporabljeni dielektriki z dodatki izdelovalca TEOL iz Ljubljane. Vpliv raznih vrst dielektrika se je že raziskoval pri izdelovalcih elektroerozijskih naprav in pri tujih raziskovalcih /4/. Na obdelovalnost materialov in na potek elektroerozijskega procesa vplivajo predvsem gostota, električna prevodnost in probojna trdnost, površinska napetost ter kemična struktura dielektrika. Dielektriki z večjo gostoto se uporabljajo pri grobih, z manjšo pa pri finih režimih obdelave. Zato se je pri raziskavah uporabljal gostejši dielektrik z oznako RPO in redkejši FO v primerjavi z BP-180. Uvoženi BP-180 ima drugo kemično osnovo glede na kemično sestavo.

Raziskave so bile opravljene na nestandardiziranem vzorcu (sl. 1) obdelovanca, z namenom



Sl. 1A Dimenzije preizkušancev



Sl. 1B Dimenzije elektrod

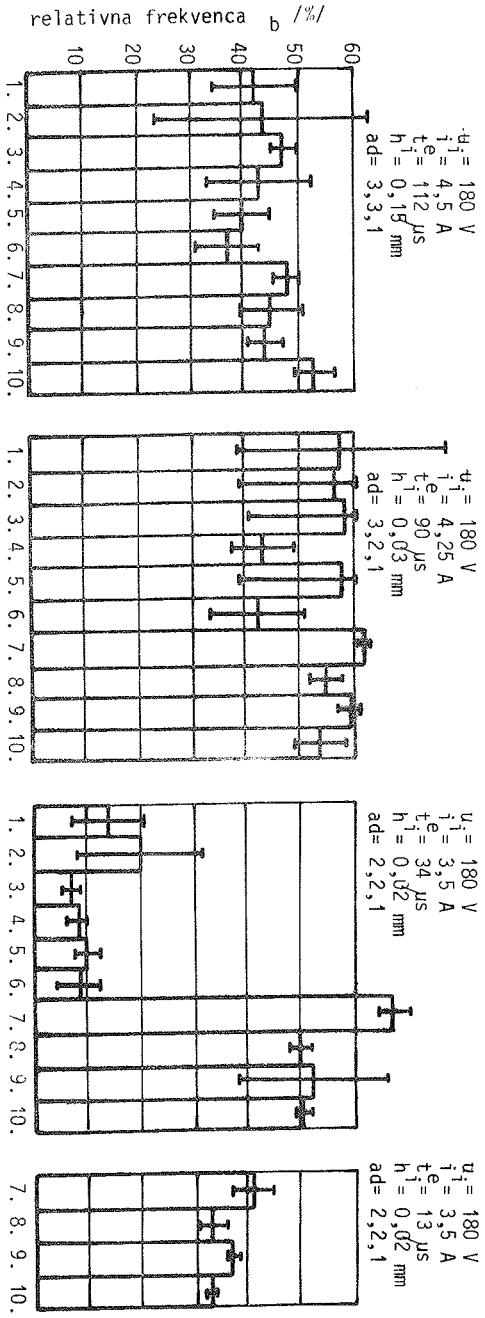
ugotoviti lastnosti dielektrika za fino obdelavo pri zaprtih oblikah, kjer ni prisilnega dovoda dielektrika v delovno režo. Ravno take oblike pa so zelo zanimive za industrijo. Pri raziskavah je dovod dielektrika in izpiranje povzročila sprememba delovne reže pod vplivom krmiljenja "adaptimata", ki v primeru poslabšanja pogojev v delovni reži prekine dovod energije in z odmikom elektrode preko servosistema povzroči dovod svežega dielektrika v delovno režo /5/.

3. Meritve in rezultati

Pri meritvah je bilo preskušanih deset vrst dielektrikov. Označeni so bili z zaporednimi števili od 1 do 10: 1. za FO, 2. za FO+dispergator, 3. za FO+antioksidant, 4. za RPO, 5. za RPO+dispergator, 6. za RPO+antioksidant, 7. za BP 180, 8. za FO+VAN.SS, 9. za FO+NF, 10. za FO novi. Potek procesa je bil zasledovan z logični analizatorjem, ki je bil razvit na Fakulteti za strojništvo v okviru predhodnih raziskav. S štetjem posameznih tipov impulzov, ki so bili klasificirani po klasični delitvi (prosti - a, delovni - b, nenormalni - c in kratkostični - d), so bile ugotovljene relativne frekvence impulzov. Z relativno frekvenco smo popisali uspešnost oz. stabilnost poteka procesa.

PREIZKUSEVALNI POGOJI:
 - elektroda: $\text{Cu } \varnothing 24 (+)$
 - preizkušalec: OCR 12
 - ref.napetost: $U_{\text{ref}} = 4,5 \text{ V}$

1. Fo
2. Fo+dispertgator
3. Fo+antitoksidant
4. RPO
5. RPO+dispertgator
6. RPO+antitoksidant
7. bP 180
8. Fo+VAN.SS.
9. Fo+NF
10. Fo novi



Slitka 2 Primerjava relativnih frekvenc delovnih razelektritev λ_p pri različnih dielektričnih

PREIZKUSEVALNI POGOJI:

- elektroda: ECU Ø 24 (+)
- preizkušaneč: OCR 12
- ref. napetost: $U_{ref} = 4,5 \text{ V}$

- | | | | |
|----|-------------------|-----|------------|
| 1. | Fo | 7. | BP 180 |
| 2. | Fo+dispengator | 8. | Fo+VAN.SS. |
| 3. | Fo+antitoksidant | 9. | Fo+NF |
| 4. | RP0 | 10. | Fo novi |
| 5. | RP0+dispengator | | |
| 6. | RP0+antitoksidant | | |

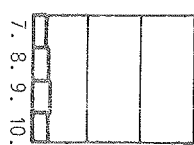
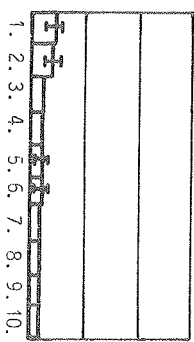
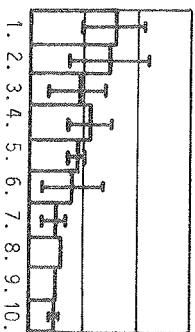
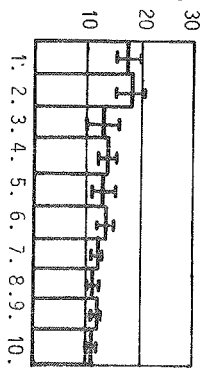
$U_i = 180 \text{ V}$
 $I_i = 4,5 \text{ A}$
 $t_e^e = 112 \mu\text{s}$
 $t_i^e = 0,13 \text{ mm}$
 $ad = 3,3,1$

$U_i = 180 \text{ V}$
 $I_i = 4,25 \text{ A}$
 $t_e^e = 90 \mu\text{s}$
 $t_i^e = 0,03 \text{ mm}$
 $ad = 3,2,1$

$U_i = 180 \text{ V}$
 $I_i = 3,5 \text{ A}$
 $t_e^e = 34 \mu\text{s}$
 $t_i^e = 0,02 \text{ mm}$
 $ad = 2,2,1$

$U_i = 180 \text{ V}$
 $I_i = 3,5 \text{ A}$
 $t_e^e = 13 \mu\text{s}$
 $t_i^e = 0,02 \text{ mm}$
 $ad = 2,2,1$

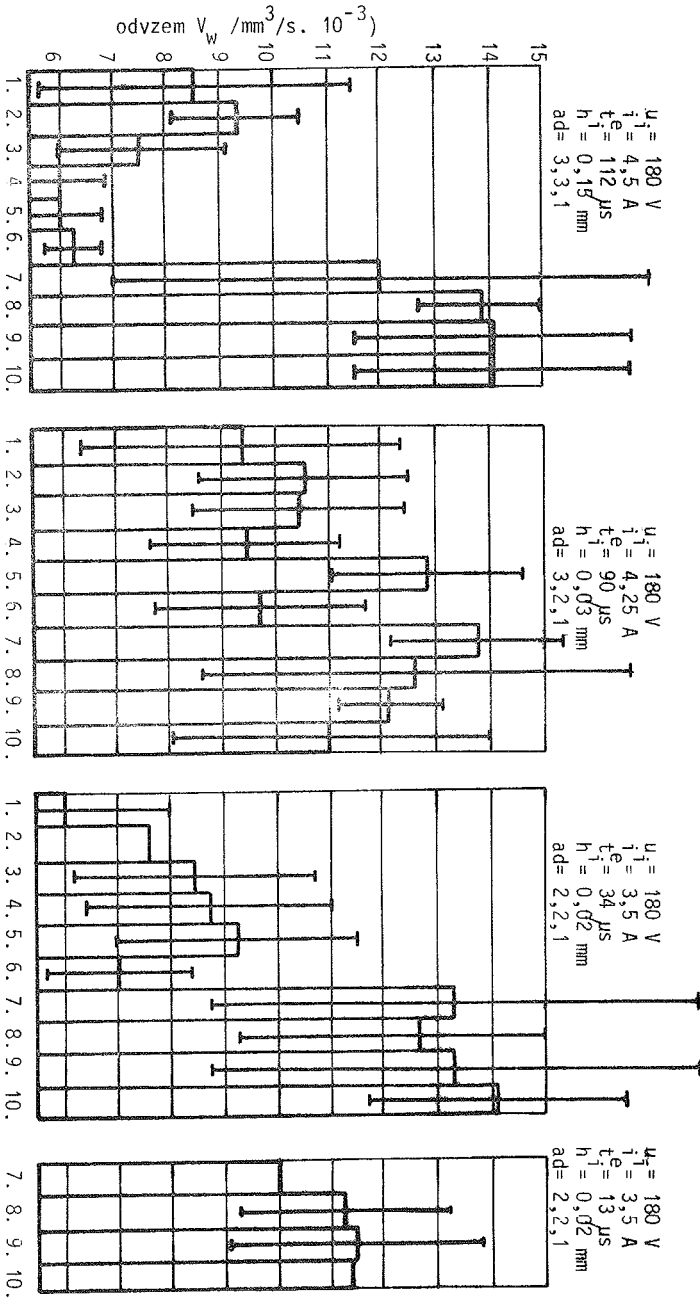
relat. frekvenca $c\%$



Slika 3 Primerjava relativnih povprečnih frekvenc testa nenormalnih razelektrivnih λ_c pri različnih dielektrikih

PREIZKUŠEVALNI POGOJI:
 - elektroda: ECU Ø 24 (+)
 - preizkušaneč: OCR 12
 - ref.napetost: $U_{ref}=4,5$ V

1. Fo
2. Fo+ dispergator
3. Fotantioksidant
4. RPO
5. RPO + dispergator
6. RPO +antioksidant
7. BP 180
8. Fo+VAN,SS
9. Fo+NF
10. Fo novi



Stika 4 Primerjava odnašanja na časovno enoto pri različnih dietektrikih

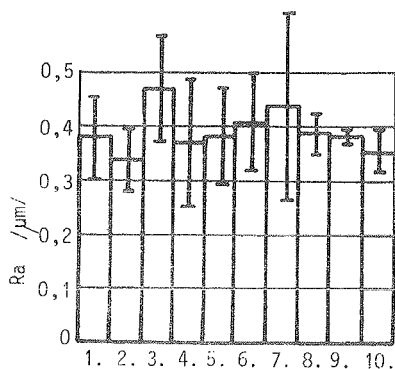
Glede na obdelovanec so bile izbrane štiri stopnje nastavitvenih parametrov, ki so razvidni iz slik, kjer predstavljajo: u_i - prosto napetost, i_e - impulzni tok, t_i - čas napetostnega impulza, h - globino odnašanja ter ad - nastavitve posameznih stopenj regulacije (tri stopnje adaptimata). Vse nastavitve naprave so bile izbrane na osnovi predhodnih izkustev in zasledovanja optimalnega poteka procesa glede na λ . Vsak test je bil za zagotovitev zanesljivosti in ugotovitev raztrosa trikrat ponovljen. Proces je bil identificiran v časovnih razmikih po deset minut za grobi režim in po pet minut za fini režim obdelave. Čeprav so bile zasledovane čez celoten test vse vrste relativnih frekvenc in njihov potek v času, je najbolj značilna karakteristika srednja vrednost relativne frekvence delovnih impulzov λ_b , za vsak dielektrik in stopnjo nastavitve (sl. 2). Druga značilna karakteristika za potek procesa v posameznih stopnjah je odnašanje materiala v časovni enoti (sl. 4), ki je pomembna predvsem v času grobe obdelave, medtem ko je ne smemo zanemarjati tudi pri fini obdelavi. Fina obdelava namreč lahko močno podaljša proces obdelave. Čas obdelave pri posameznih dielektrikih je odvisen še od nastavitve parametrov v stopnjah. Glede na predhodne rezultate v prvih treh stopnjah, predvsem relativnih frekvenc, v četrti fazi niso bili obravnavani vsi dielektriki, temveč le št. 7 do 10. Končni učinek obdelave na površino elektrod in obdelovancev je bil popisan predvsem s hrapavostjo (sl. 5 in sl. 6).

V prvi stopnji nastavljenih parametrov je po kriteriju procesnih parametrov ($\lambda_a, \lambda_b, \lambda_c$) (sl. 2 in 3) najugodnejši dielektrik Fo-novi, sledijo pa mu BP180 in Fo z antioksidantom.

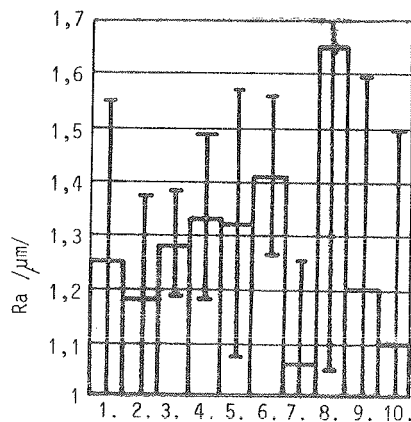
PREIZKUŠEVALNI POGOJI:

- elektroda: ECU Ø 24 (+)
- preizkušane: OCR 12
- ref.napetost: $U_{ref} = 4,5 \text{ V}$

- | | |
|---------------------|---------------|
| 1. Fo | 7. BP 180 |
| 2. Fo+dispergator | 8. Fo+VAN.SS. |
| 3. Fo+antioksidant | 9. Fo+NF |
| 4. RPO | 10. Fo novi |
| 5. RPO+dispergator | |
| 6. RPO+antioksidant | |



Sl. 5 Hrapavost pri elektrodah po obdelavi



Sl. 6 Hrapavost R_a pri preizkušancih po obdelavi

Očitno je, da ima antioksidant svoj vpliv. Že v drugi stopnji, kjer je čas napetostnega impulza krajši, je BP 180 najugodnejši, antioksidant pa je izgubil svoj vpliv. V tretji in četrti stopnji izstopa predvsem BP180. Iz navedenega lahko sklenemo, da ima večji vpliv osnovna sestava in manj dodatki, čeprav bi veljalo preskusiti glede na dodatke BP180 še posebej. Po kriteriju odnašanja na časovno enoto (sl. 4) je dielektrik F0-novi, razen v drugi stopnji, med najbolj uspešnimi. Zanimiva je ugotovitev da F0-novi nima stalnega trenda v odvisnosti od dolžine napetostnega impulza. Pri oceni končne površine s hrapavostjo obdelovanca (sl. 6) je vedno najugodnejši BP180, vendar F0-novi ne kaže bistvenih odstopanj. Zanimivo je, da je pri tem hrapavost elektrod pri F0-novi manjša (sl. 5). Glede na obdelovalni čas sta oba dielektrika ugodna, vendar je F0-novi boljši za finejše obdelave.

4. Sklep

Analiza z zajemanjem večjega števila lastnosti je pokazala, da pri finejših stopnjah obdelave dodatek dispergatorjev in antioksidantov v dielektriku največkrat moti elektroerozijski proces. Pri obdelavi je prihajalo do pogostih krajevno-stacionarnih razelektritev z impulzi oblike "c", ki so v elektroerozijskem procesu nezaželene in povzročajo poškodbe na obdelani površini (sl. 3). Relativno najboljši rezultati so bili doseženi z dielektrikom BP-180, vendar se je temu približal F0-novi, ki je dal v končni obdelavi površino s podobno hrapavostjo.

Raztrosi rezultatov so sorazmerno veliki in kažejo na izredno naključnost potekov procesa. Zato tudi meje izbire ni mogoče točneje predpisati. Lahko se ugotovi, da je F0-novi primeren za finejše in končno stopnjo obdelave, medtem ko dodatki v tem območju meritev niso prispevali k izboljšanju procesa. Zato so bile opravljene še meritve s standardnimi testi, ki jih je mogoče bolje primerjati s tujimi podatki. V tem sestavku zaradi omejenosti prostora niso posebej prikazani, potrdili pa so že navedene rezultate. Raziskava naj bi pokazala predvsem možnosti novega dielektrika pri fini obdelavi. Dielektrik F0-novi je izkazal svojo primernost za fino obdelavo zaprtih oblik.

5. Literatura

- /1/ Snoeys R., Staelens F., Dekeyser W., Current trends in non-conventional material removal processes, Annals of the CIRP, Vol. 35/2/1986, 467 - 480.
- /2/ Roethel F, Domače raziskave EDM procesa; Zbornik na trudovi, 11. Jugoslovansko svetovanje na proizvodstveno mašinstvo, knjiga 2, Ohrid, 1977, 147 - 156.
- /3/ Avtorski kolektiv, Obdelovalni sistemi in proizvodna kibernetika - poglavje 5, Raziskava in optimizacija EDM tehnologije, Poročila LAKOS št. C2-0131, Ljubljana, 1981, 1982, 1983, 1984 in 1985.
- /4/ Kokhanovskaya, T.S., EDM working fluids, ISEM 7, Moskva 1986, 252 - 261.
- /5/ Garbajs V. , Raziskava lokalnih porazdelitev parametrov elektroerozijskega procesa, Disertacija, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana, 1985.

21. SAVJETOVANJE PROIZVODNOG STROJARSTVA JUGOSLAVIJE, OPATIJA, 1987.

JEDAN PRIKAZ UTICAJNIH FAKTORA NA KARAKTERISTIČNE VELIČINE
OBRADNE ELEKTROEROZIJOM

REPRESENTATION DES FACTEURS INFUENTS SUR LA GRANDEUR
CARACTERISTIQUE DE L'USINAGE PAR ELECTROEROSION

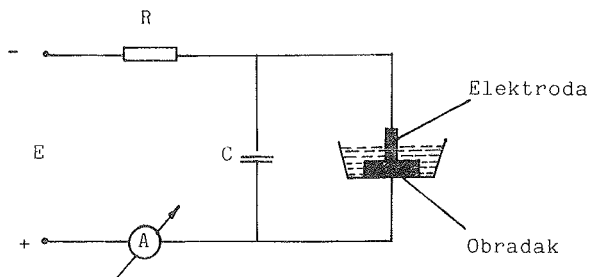
M.Sarvan Centar za Više obrazovanje - Uroševac

Ključne reči: REZIME: U radu je, uz kratak prikaz ostalih uticajnih
Faktori faktora, eksperimentalno prikazan uticaj odnosa tastovanja
Tastovanje kao karakteristike impulsa na hrapavost obradene površine.
Hrapavost

Mots clé: RÉSUMÉ: Dans ce travail, à part de la présentation des
Facteurs autres facterus influents, nous avans représenté
Tests l'influence des rapports des tests comme caracteristiques
Rugosite de l'impulsion sur la rugosité des surfaces usinées.

1. Uvod

Elektroeroziona obrada spada u grupu savremenih postupaka obrade metala - obrade odnošenjem (sl.1) čiji su tvorci bračni par Lazarenko. Oni su 1943 godine prvi postavili osnovne principe i razvili instalaciju za obradu metala na principu erozionog efekta. Ovim postupkom principijelno se mogu obradivati sve površine koje se mogu obradivati konvencionalnim metadama a isto tako i površine koje se ne mogu obradivati konvencionalnim putem (slepi otvori složenog oblika, otvori sa krivolinijskom osom itd.). Zbog efikasnosti, naročitu primenu nalazi pri izradi određenih alata i delova složene konfiguracije i visoke tačnosti, kao i delova od teškoobradivih metala.



Sl. 1. Šema elektroeroziona obrade

2. Karakteristične veličine

Za obradu elektroerozijom karakteristične veličine su:

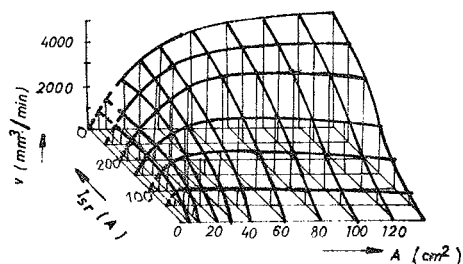
- a - brzina erodiranja,
- b - relativno trošenje elektrode - alata,
- c - tačnost obrade i
- d - hrapavost obradene površine.

Navedene karakteristične veličine su opet u funkciji raznih faktora kao što su: materijal elektrode i radnog komada, jačina struje, frekvencija impulsa, veličina površine obrade, vrsta dielektrikuma itd. Dobro poznavanje raznih uticajnih faktora može umnogome poboljšati i skratiti tehnologiju rada na uređajima ove vrste.

Tako npr. na brzinu erodiranja - pod kojom se podrazumeva količina odnešenog materijala sa obratka u jedinici vremena, utiču uglavnom sledeći faktori:

- obradljivost materijala,
- energija ili jačina struje,
- veličina površine obrade,
- vrsta dielektrikuma,
- materijal elektrode,
- radni zazor.

Na slici 2. dat je prema [1] prostorni dijagram zavisnosti brzine erodiranja od jačine struje I_{sr} i veličine površine obrade A.



Sl. 2. Zavisnost brzine erodiranja v od jačine struje I i veličine obrađivane površine A .

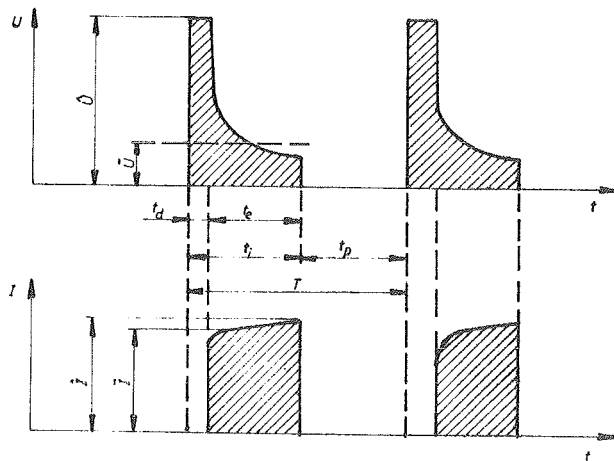
Trošenje elektrode - alata je kompleksan problem koji uglavnom zavisi od sastava materijala elektrode, režima obrade, dielektrikuma, polarnosti obradivanog materijala, tipa generatora impulsa itd. Ona se izražava kao odnos odnešenog materijala elektrode i odnešenog materijala sa obratka i to kao relativno linijsko, relativno zapreminsko i relativno težinsko trošenje.

Tačnost obrade zavisi od stepena tačnosti mašine, odnosno tačnosti pozicioniranja, krutosti sistema mašina - alat - pribor, toplotnih deformacija elektrode i obratka, trošenja elektrode itd.

Hrapavost obradene površine u najvećoj meri zavisi od električnih karakteristika i parametara impulsa.

Na slici 3. date su osnovne električne karakteristike impulsa struje gde je:

- t_i - trajanje impulsa
- T - perioda impulsa
- t_e - trajanje pražnjenja
- t_d - čekanje za paljenje
- t_p - trajanje pauze
- \hat{U} - napon otvorenog kruga
- \hat{I} - Maksimalna jačina struje u zazoru
- \bar{U} - srednji napon pražnjenja u zazoru
- \bar{I} - srednja jačina struje u zazoru.



Sl. 3. Karakteristike impulsa struje

Procentualni deo trajanja impulsa t_i prema periodu impulsa T naziva se odnos tastovanja tj.:

$$\tau = \frac{t_i}{T}$$

Ovaj rad upravo prikazuje kako se sa promenom odnosa tastovanja menja hrapavost obradene površine izražene preko srednje aritmetičkog odstupanja profila od srednje linije profila R_a .

3. Rezultati ispitivanja

Ispitivanja su vršena u proizvodnim uslovima na mašini SCHIESS - NASSOVIA.

Za materijal elektrode uzet je bakar, a za obradak Č 0545.

Ostali parametri:

frekvencija $f = 15$ kHz

napon paljenja $U_0 = 240$ V

Dielektrikum: Erozol

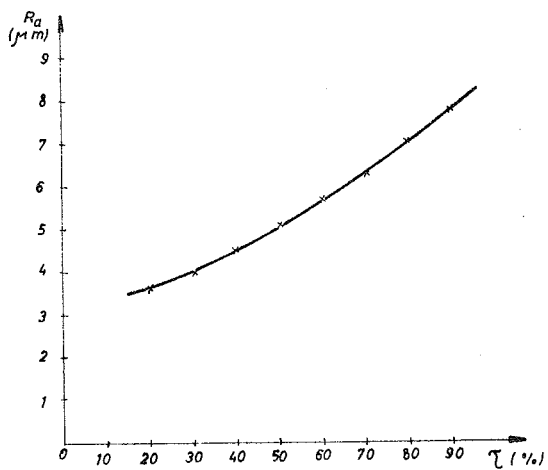
pritisak ispiranja: 0,9 bar.

U tablici 1. date su vrednosti R_a (μm) za različite vrednosti odnosa tastovanja τ (%).

Red. br.	Odnos tastovanja τ (%)	Veličina hrapavosti R_a (μm)
1.	20	3,62
2.	30	3,95
3.	40	4,52
4.	50	5,10
5.	60	5,60
6.	70	6,17
7.	80	7,05
8.	90	7,75

Tabl. 1. Vrednosti R_a za različite vrednosti odnosa tastovanja τ .

Na osnovu rezultata iz tablice 1. formiran je dijagram zavisnosti veličine hrapavosti obrađene površine R_a od odnosa tastovanja τ (sl.4)



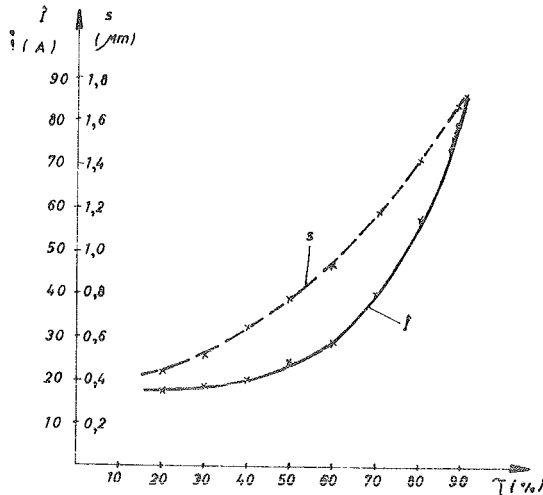
Sl. 4. Dijagram zavisnosti veličine hrapavosti R_a od odnosa tastovanja

I ako je akcenat rada stavljen na prikaz promene hrapavosti R_a u funkciji odnosa tastovanja τ , uporedo sa ovim, praćene su i promene jačine struje pražnjenja \hat{i} kao i promene posmaka s elektrode.

U tablici 2. date su vrednosti struje pražnjenja \hat{i} i posmaka s elektrode, na osnovu kojih je data dijagramska zavisnost (sl. 5.).

Red. br.	Odnos tastovanja τ (%)	Struja pražnjenja \hat{i} (A)	Posmak elektrode s (μm)
1.	20	17	0,43
2.	30	18	0,50
3.	40	20	0,63
4.	50	24	0,77
5.	60	28	0,91
6.	70	40	1,16
7.	80	70	1,43
8.	90	86	1,67

Tabl. 2. Zavisnost struje pražnjenja \hat{i} i posmaka s elektrode od odnosa tastovanja



Sl. 5. Dijagram zavisnosti struje pražnjenja \hat{i} i posmaka s elektrode od odnosa tastovanja

4. Zaključak

Iz svega izloženog, može se zaključiti da sa porastom odnosa tastovanja raste hrapavost obrađene površine, a isto tako i jačina struje pražnjenja kao i posmak, koji opet, sa svoje strane, utiču na ostale karakteristične veličine.

Literatura:

1. A. L. Livšic, A. T. Kravec, I.S. Rogačev, A.B. Sosenko, Elektroimpulsna obrabotka metallov, "Mašinostroenije", Moskva, 1967.
2. S. Trajkovski, V. Pavlovski, Odbrana poglavja po obrabotka na metalite, predavanja na postdiplomski studii na Mašinskiot fakultet, Skopje, 1979.
3. Dr. A. Perić, Obrada odnošenjem, Mašinski fakultet, Sarajevo 1985.
4. Manfred Feurer, Elektroerosive Metallbearbeitung, Vogel - Buchverlag, Würzburg, 1983.
5. A.L. Livšic, M.Š. Otto, Impulsnaja elektrotehnika, Energoatomizdat, Moskva, 1983.
6. M. Sarvan, O nekim karakterističnim veličinama obrade elektroerozijom, "REMHK", Priština, 1982.

XXI SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE,
Opatija 1987.god.

ISKUSTVA "ZAVODA CRVENA ZASTAVA" U PRIMENI TEHNOLOGIJE ELEKTROHEMIJSKE OBRADE
OTVORA MALIH PREČNIKA

EXPERIENCES OF "ZAVODI CRVENA ZASTAVA" IN APPLICATION OF TECHNOLOGY OF
ELECTROCHEMICAL TREATMENT OF SMALL-DIAMETER OPENINGS

V. Filipović, Zavodi "Crvena zastava", Kragujevac

Ključne reči:

čelik
cevi
glačanje
profilisanje
elektrohemijska obrada

Rezime: U radu se daju iskustva Zastave u zameni klasične tehnologije glačanja i profilisanja unutrašnjih površina cevi tehnologijom elektrohemije obrade. Daje se šematski prikaz uredjaja kao i proračun osnovnih parametara procesa. U zaključnom delu se daju pravci daljeg razvoja tehnologije elektrohemije obrade cevi dužine preko 1 metra.

Key words:

steel
barrels
polishing
profiling
electrochemical treatment

Abstract: The paper shows experiences of Zastava in replacement of classical technology of polishing and profiling internal surfaces of barrels by technology of electrochemical treatment. Schematic illustration of devices and calculation of basic process parameters are given. The concluding part of the paper gives guidelines for further development of the technology of electrochemical treatment of barrels more than 1 metre long.

1. UVOD

Elektrohemijska obrada metala spada u grupu nekonvencionalnih tehnologija, čija je primena sve intenzivnija u poslednjih 20 godina. Obrada tvrdih i žilavih materijala često postavlja, predklasične postupke mašinske obrade, vrlo ozbiljne probleme. Najčešći zahtev u obradi otvora (cevi) malih i srednjih prečnika je glačanje mikrohrapavih površina, izloženih u eksploataciji trenju, povišnoj temperaturi, pritisku i eroziji gasova. Postupkom elektrohemije obrade se postižu gotovo optički ujednačene površine.

Efekti ove tehnologije, na površine koje se obraduju, su bitno različiti od efekata koji se postižu obradom odgovarajućim mehaničkim postupcima. Mehaničkim poliranjem se glačaju metalne površine, a rezultat je mehaničko savnjivanje ispučenja i ispunjavanje udolina tečenjem finog sloja metala, uz istovremenu pre-kristalizaciju. Na taj način se dobija površinski defektni sloj dubine 0,3 do 0,5 mm, sa bitno drugačijim osobinama od osobina glavne mase dela koji se polira. Problem defektnog sloja je posebno izražen ako se preko njega nanosi galvanska prevlaka nekog metala (na primer tvrdi hrom).

Elektrohemijskom obradom površine metala eliminiše se pojava površinskog sloja izmenjenog sastava, pošto se ova obrada izvodi uslovima bez mehaničkog naprezanja i na temperaturama koje ne menjaju strukturu materijala. Nema neposrednog dodira između alata i površine koja se obradjuje. Kod elektrohemije obrade metala ulogu alata ima katoda (alat povezan za negativni pol izvora struje) dok je predmet koji se obradjuje anoda.

2. NEKI TEORIJSKI ASPEKTI ELEKTROHEMIJSKE OBRADJE

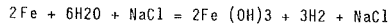
Elektrohemijska obrada spada u elektrohemijske procese elektrolize. Teorijske osnove za procese elektrolize je dao Faraday, i izrazio ih je u obliku dva zakona, koja se mogu iskazati matematičkom relacijom:

$$M = \eta \cdot I \cdot t$$

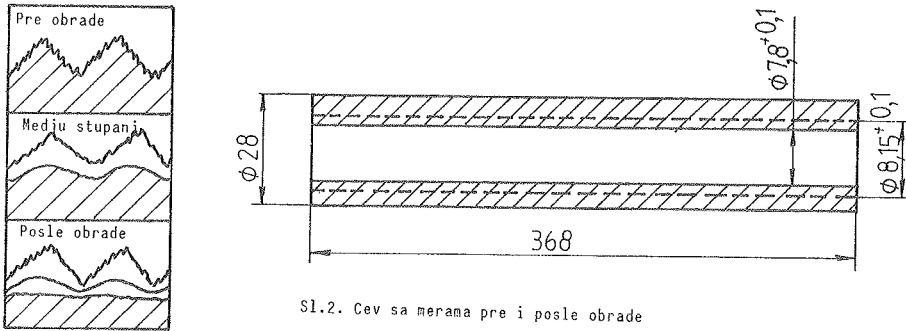
gde je: M-masa dobijene (izdvojene) supstance, η -elektrohemijski ekvivalent, I-jačina struje i t-vreme elektrolize.

U ovom radu pod pojmom elektrohemijske obrade se podrazumeva elektrohemijsko glačanje i elektrohemijsko profilisanje površine. To je proces anodne obrade, koji se odvija na račun električne i hemijske energije, bez utroška mehničke i toplotne energije. Karakteristika ovog procesa, za razliku od njemu sličnih (elektrohemijsko poliranje i elektrohemijsko nagrizanje), je visoka gustina struje (30-1000 A/sm²) i mali medjuelektrodni zazor (manji od 1 mm).

Kvantitativni odnosi procesa elektrohemijske obrade se izražavaju sledećom reakcijom:



Kao što se vidi iz jednačine elektrolit je vodeni rastvor kuhinjske soli a koncentracija je oko 10%. Da bi se obezbedila određena brzina odvijanja ove reakcije, s leva na desno, neophodno je produkte reakcije, gasoviti vodonik i čvrsti talog hidroksida, odvoditi. To se postiže ventilacijom i prisilnom cirkulacijom elektrolita, tako da brzina proticanja elektrolita između anode i katode iznosi oko 25 m/sek. Nedovoljna brzina strujanja elektrolita, u medjuelektrodnom prostoru, uzrokuje nedovoljan intezitet odnošenja čvrstih produkata reakcije, što nepovoljno utiče na ravnomernost anodnog rastvaranja anode, a može da dovede i do kratkog spoja anode i katode.



Sl.2. Cev sa merama pre i posle obrade

Sl.1. Stanje površine metala koji se glača

Na Sl.1 je prikazano stanje površine metala koji se glača. Kvalitet površine koji se dobija posle elektrohemijske obrade zavisi od homogenosti materijala. Moguće su tri vrste nehomogenosti materijala koji se obradjuje: a) U materijalu postoje defekti u obliku pukotina, pora i šupljina, b) Postoje lokalne razlike u hemijskom sastavu zbog razlike u koncentraciji čvrstih rastvora, uključaka različite prirode, ili intermetalnih jedinjenja, c) Fizičke osobine materijala nisu istovetne (npr. zbog razlike u kristalnoj gradnji)

Pukotine i pore, u materijalu, videće se i posle elektrohemijske obrade.

Nehomogenosti usled hemijskog sastava usloviće neravnine po površini zbog nejednakog anodnog rastvaranja pojedinih delova površine.

Fizička nehomogenost, prouzrokovana orijentacijom zrna, granicama zrna ili drugim, takodje oneta pravilno izvođenje procesa elektrohemijske obrade.

Mehanizam elektrohemijske obrade još uvek nije sa sigurnošću objašnjen, postoji više teorija. Po jednoj teoriji uzrok bržem rastvaranju ispuštenih površina anode (predmeta koji se obradjuje) leži u električnom otporu elektrolita, koji uslovljava povećanu gustinu struje preko šiljaka na površini anode, i koji se zato brže rastvaraju od ostale površine anode. Druga teorija ističe u prvi plan difuziju, kao proces koji je odgovoran za elektrohemijsku obradu. Po toj teoriji film tečnosti na anodi zasićen je proizvodima rastvaranja

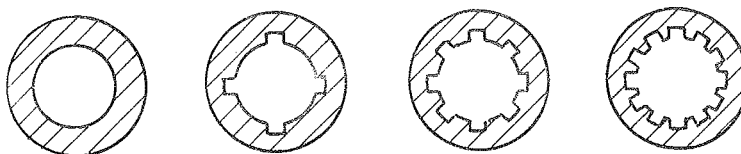
anode. Katjoni sa anode odlaze u masu elektrolita mehanizmom difuzije, a manje dejstvom električnog polja. Zbog ovoga brzina rastvaranja u svakoj tački površine anode zavisi od gradijenta koncentracije u rastvoru. Tamo gde posmatrano mesto više strči u masu elektrolita, od prosečnog profila anode, tamo će i brzina rastvaranja biti veća.

Obadve teorije (kao i ostale koje nisu pomenute) moraju da vode računa o činjenicama koje su eksperimentalno utvrđene a to su: a) Povlašćeno rastvaranje makro i mikro grebena na površini anode nezavisno je od nehomogenosti materijala, b) Izostajanje konture oko zrna legure koje je fizički i hemijski homogena i c) Postojanje ponekad veoma male razlike u brzini rastvaranja u mikro oblasti uslovljene nehomogenošću materijala.

Ovom tehnologijom se mogu obradivati različiti materijali, bilo kojih fizičko mehaničkih karakteristika, kao i različiti profili.

3. TEHNOLOGIJA OBRADU UNUTRAŠNJIH OTVORA U ZASTAVI PRE UVODJENJA ELEKTROHEMIJSKOG METODA OBRADU

Do 1983. godine obrada unutrašnjih površina cevi, kao priprema za profilisanje, je bila klasična: bušenje, razvrtanje I, razvrtanje II, završno razvrtanje i šmirglanje. Kvalitet dobijene površine je često odstupao od zahteva za visokim kvalitetom obrade pred profilisanje. Atezijska hroma na profilisanoj površini je bila loša, zbog prisustva defektnog sloja, delom iz faze pripreme površine a delom i kao posledica profilisanja. Profilisanje površina se izvodi: hladnim kovanjem, rezanjem i protiskivanjem. Izgled unutrašnjeg profila cevi Zastavi je dat na slici Sl.3.



Sl.3. Izgled unutrašnjih profila cevi

Za sve profile sa slike 3 (profili b, c i d) kvalitet površine se mora postići u fazi dok je cev cilindrična, uz sve nedostatke koji prate klasičnu tehnologiju razvrtanja sa šmirglanjem ili razvrtanja sa hovanjem.

Zaostali abraziv sa operacije šmirglanja umanjuje trajnost alata za profilisanje, a bitno pogoršava i kvalitet obradivane površine. Više od 90% proizvodnje se proilije hladnim kovanjem, pa utrošak specijalnog uvoznog alata predstavlja znatnu stavku u ukupnim troškovima alata. Mašine za hladno kovanje su takodje specijalne, čija cena danas prelazi 350.000.000 deviznih dinara.

4. TEHNOLOGIJA ELEKTROHEMIJSKE OBRADU UNUTRAŠNOSTI CEVI

Elektrohemijska obrada unutrašnjosti cevi, anodnim putem, u Zastavi je uvedena krajem 1982. godine na cevi prikazanoj na slici 2. Materijal od koga je izradjena cev je č. 4732. Kao elektrolit je upotrebljen 10%-ni rastvor kuhinjske soli. Katoda je izradjena od specijalne legure bakra, a prečnik joj je 6 mm. Medju - elektrodni zazor je 0,90-0,95 mm.

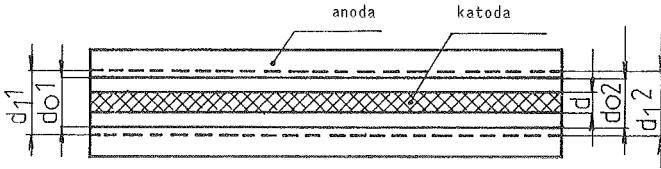
4.1. PRORAČUN VREMENA OBRADU I STRUJE

Na Sl.4 su date osnovne dimenzije potrebne za proračun:

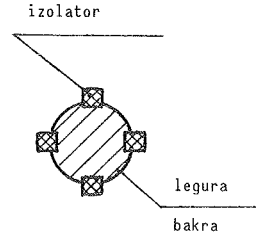
$do = 7,8 + 0,1$ mm, $do_{sr} = 7,85$ mm, prečnik pre obrade

$dl = 8,15 + 0,1$ mm, $dl_{sr} = 8,20$ mm, prečnik posle obrade

$d = 6 \text{ mm}$, prečnik katode
 $l = 368$ dužina cevi



Sl.4. Medjusobni položaj katode i anode



Sl.5. Katoda za profilisanje

Zapremina materijala koju treba skinuti je:

$$V = V_l - V_o = \frac{\pi}{4} (d_1^2 - d_0^2) \cdot l$$

posle zamene odgovarajućih veličina dobija se $V = 1,63 \text{ sm}^3$.

Prema Faradejevom zakonu jačina struje od 1000 A za 1 minut skinje $2,2 \text{ sm}^3$ gvoždja, iz čega proizilazi da će za skidanje zapreminе od $1,63 \text{ sm}^3$ biti potrebno $0,727$ minuta ($43,6 \text{ sek.}$). Na ovo vreme se dodaje 4 sekunde za ispiranje nakon obrade, pa je ukupno vreme 47 sekundi.

Za ovu vrstu obrade se koristi gustina struje od 2 do 10 A/sm^2 , a optimalna je $8,5 \text{ A/sm}^2$. Jačina struje se računa iz jednačine:

$$I (\text{A}) = \rho (\text{A/sm}^2) \cdot F (\text{sm}^2)$$

Minimalna jačina struje je: $I_{\min.} = \rho_{\min.} \cdot F_{\min.} = \rho_{\min.} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d_0^2 \cdot l$, zamenom odgovarajućih vrednosti dobija se $I_{\min.} = 766,1 \text{ A}$.

Maksimalna jačina struje je: $I_{\max.} = \rho_{\max.} \cdot F_{\max.} = \rho_{\max.} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d_1^2 \cdot l$, zamenom odgovarajućih vrednosti dobija se $I_{\max.} = 830,3 \text{ A}$.

4.2. PRORAČUN PROTOKA ELEKTROLITA

Brzina strujanja elektrolita kroz sistem je $V_{\min.} = 20 \text{ m/sek.}$ do $V_{\max.} = 30 \text{ m/sek.}$

Minimalni protok je:

$$Q_{\min.} (\text{dm}^3/\text{min.}) = V_{\min.} (\text{dm/sek.}) \cdot F_{\min.} (\text{dm}^2) = V_{\min.} \cdot \frac{\pi}{4} (d_1^2 - d^2)$$

Zamenom odgovarajuće vrednosti dobija se:

$$Q_{\min.} = 30,2 \text{ lit./min.}$$

Maksimalni protok je:

$$Q_{\max.} = V_{\max.} \cdot F_{\max.} = V_{\max.} \cdot \frac{\pi}{4} (d_1^2 - d^2)$$

Zamenom odgovarajućih vrednosti dobija se

$$Q_{\max.} = 45,3 \text{ lit./min.}$$

U tabeli 1 su dati rezultati obrade za cev sa Sl. 2 za izračunate parametre.

Prosečna brzina skidanja materijala je oko $0,008 \text{ mm}$ za 1 sek.

Izmerena hrapavost pre obrade: $R_a = 7$ do 12 mikrona, $R_{\max.} = 38$ do 54 mikrona.

Izmerena hrapavost posle elektrohemijske obrade:

$$R_a = 0,15 \text{ do } 0,6 \text{ mikrona}, R_{\max.} = 1,4 \text{ do } 3,4 \text{ mikrona.}$$

Sam tehnološki postupak elektrohemijske obrade se sastoji iz sledećih operacija: 1) Odnadživanje u alkalnom rastvoru, 2) Ispiranje u vreloj vodi, 3) Pasivizacija, 4) Brisanje, 5) Vizuelna i dimenziona kontrola,

Tabela 1.

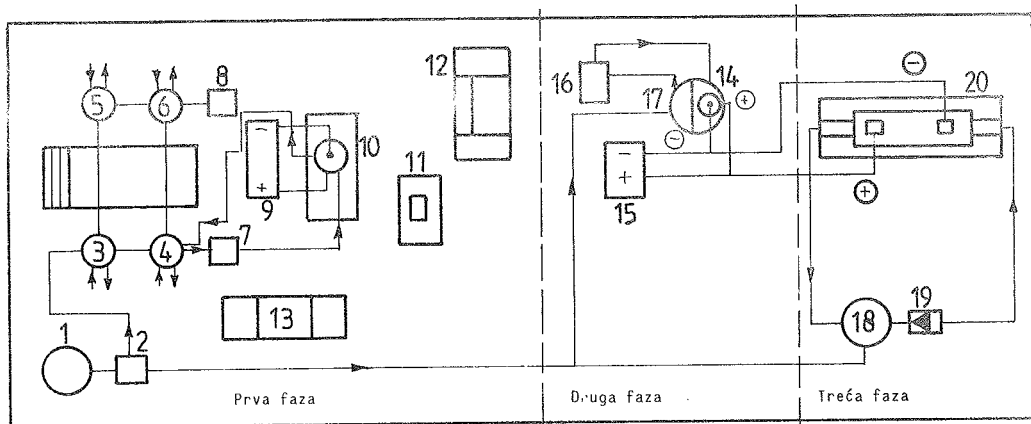
Red. broj cevi	$7,8 + 0,1$ d_{o1} (mm)	$7,8 + 0,$ d_{o2} (mm)	$8,15 + 0,1$ d_{l1} (mm)	$8,15 + 0,1$ d_{l2} (mm)	$d_{l1} - d_{o1}$ Δ_1 (mm)	$d_{l2} - d_{o2}$ Δ_2 (mm)
1	7,88	7,90	8,22	8,24	0,34	0,34
2	7,82	7,85	8,18	8,21	0,36	0,36
3	7,89	7,89	8,23	8,23	0,34	0,34
4	7,86	7,88	8,19	8,21	0,33	0,33
5	7,82	7,85	8,16	8,19	0,34	0,34

6) Montaža katode u cev, 7) Postavljanje cevi na uređaj, 8) Elektrohemijska obrada, 9) Demontaža alata, 10) Ispiranje, 11) Četkanje, 12) Ispiranje, 13) Pasivizacija, 14) Brisanje, 15) Nauljivanje.

5. OPREMA ZA ELEKTROHEMIJSKU OBRADU

Oprema za ovu vrstu obrade je realizovana po fazama. Do sada su realizovane dve faze a predstoji još jedna za realizaciju.

U prvoj fazi je realizovana oprema za elektrohemijsku obradu cevi sa Sl.3. Na ovoj opremi se obradjuje oko 90% ukupne proizvodnje cevi. Šematski prikaz opreme je dat na Sl.6.



Sl.6. Postrojenje za elektrohemijsku obradu

1. Rezervar za pripremu elektrolita, 2.Pumpa, 3,4,5,i 6 Radni rezervoari, 7 i 8, Pumpe visokog pritiska, 9. Ispravljač jednosmerne struje, 10. Komora za prihvata cevi, 11.Radni sto,12.Uređaj za četkanje cevi, 13. Kada za odmaščivanje, 14. Komora za prihvat cevi za profilisanje,druga faza, 15. Ispravljač jednosmerne struje, II faza, 16. Pumpa visokog pritiska, II faza,17. Rezervoar za elektrolit II faza, 18. Rezervoar za elektrolit III faza, 19. Pumpa visokog pritiska III faza, 20.Uređaj za elektrohemijsku obradu sa pokretnom katodom,III faza.

Druga faza realizacije opreme je bila uslovljena dužinom cevi preko 470 mm kao i zahtevom za profilom koji se nije mogao otkovati na postojećim mašinama (profil b sa Sl.3). Alat za profilisanje (katoda) je specijalne konstrukcije čiji presek dat na Sl.5.

Za realizaciju ove faze je bila potrebna jača pumpa i jači ispravljač.

Treća faza je u razvoju a biće realizovana do kraja sledeće godine. Zahtev za ovom fazom je potreba za izradom profila c) i d) sa Sl.3. Dužina cevi sa ovim profilima je 1,1 m (profil c) i 2,5 m (profil d). Alat za profilisanje (katoda) će biti pokretan, što je bitna izmena u koncepciji uređaja u odnosu na faze I i II.

Trenutno se profil c) izradjuje tehnologijom protiskivanja, a profil d) tehnologijom rezanja.

6. UPOREDNI TROŠKOVI KLASIČNE I ELEKTROHEMIJSKE OBRADJE CEVI

Da bi se stekao uvid u ekonomske efekte uvodjenja elektrohemijske obrade u Tab.2 je dat jedan primer obračuna troškova za cev sa Sl.2.

Tabela 2.

Vrsta troškova	Klasična tehn.K	Elektrohem. obrada
<u>Oprema</u>		
- cena mašine	10.200.000	1.500.000
- amortizacioni period	15 god.	8 god.
- rad mašine (h/god,2 smene)	3.000 h	3.000 h
- vreme obrade (h/10000 kom.)	81 h	13 h
- din/1000 cevi	<u>18.363</u>	<u>812</u>
<u>Alat</u>		
- din/kom.alata	3.365	2.966,4
- kom/1000 cevi	35	5
- din/1000 cevi	<u>117.775</u>	<u>14.832</u>
<u>Pomoćno potr.mat.</u>		
- din/1000 cevi	<u>17.453</u>	<u>7.985.</u>
<u>LD izrade</u>		
- din/1000 cevi	<u>25.349,59</u>	<u>21.318,87</u>
<u>Električna energija</u>		
- Kw/1000 cevi	401	1390
- din/1 Kw	7,73	7,73
- din/1000 cevi	<u>3.099,73</u>	<u>10.744,7</u>
UKUPNO ZA 1000 CEVI	182.040,32	55.692,57

Uštede po jednoj cevi su oko 126 din.. U obračun nisu uzete uštede po osnovu smanjenja škarta u proizvodnji, koji je bio prisutan kod klasične tehnologije. Evidentna je ušteda na opremi i alatima, dok su troškovi u električnoj energiji veći.

7. ZAKLJUČAK

Na osnovu četvorogodišnjeg iskustva na primeni tehnologije elektrohemijske obrade (glačanje i profilisanje) evidentirani su sledeći efekti:

1- Postiže se bolji kvalitet obrade bez defektnog sloja, što izuzetno povoljno utiče na naredne faze obrade (profilisanje i hroniranje).

2- Elektrohemijska obrada je jeftinija od klasične tehnologije mašinske obrade.

3- Oprema za elektrohemijsku obradu se sa uspehom može izraditi u zemlji, čime se eliminiše uvoz skupih specijalnih mašina za izradu složenih unutrašnjih profila cevi.

4- Stečena iskustva omogućuju razvoj automatizovanih uređaja za elektrohemijsku obradu koji će obezbediti optimizaciju parametara obrade i automatsku kontrolu i vođenje procesa.

LITERATURA

- (1) V.P. Smolencev, Tehnologija elektrohemijske obradke unutarnjih površina, mašinstvo, Moskva 1978.
- (2) F.V. Sedikin, Razmernaja elektrohemijskaja obrabotka detali mašin, mašinstvo, Moskva, 1976.
- (3) S.Djordjević, Metalne prevlake, Tehnička knjiga, Beograd 1970.
- (4) Grupa autora, Tehnička enciklopedija, knjiga 4, Jugoslovenski leksikografski zavod, Zagreb 1973.

21. SAVETOVANJE PROIZVODNOG STROJARSTVA JUGOSLAVIJE, OPATIJA, 1987.

JEDNO ISTRAŽIVANJE NA UVODJENJU LASERSKIH SISTEMA
U INDUSTRIJI LOLE

A RESEARCH ON INTRODUCTION OF LASERS SYSTEMS
IN LOLA INDUSTRY

B.Grujić SOUR Industrija IVO LOLA RIBAR
M.Dostanić PO LOLA INSTITUT, 1100 Beograd, Bulevar revolucije broj 84

Ključne reči: IZVOD: U radu je dat kratak uvod u lasersku tehnologiju uopšte sa posebnim osvrtom na obradu materijala laserom. Analizirani laserski parametri kao i parametri materijala koji determinišu kvalitet reza. Laser Grafički su prezentirani eksperimentalni rezultati pri čemu su registrovani kvalitet reza (vizuelno i merenjem hrapavosti Ra), širina reza, Rezanje i širina zone uticaja toplote. Izvedeni zaključci su u skladu sa podacima iz literature

Key words: ABSTRACT: This paper includes a brief description of laser technology in general as well as a special review of laser's applications in machining of materials. The parameters of laser and materials, which determine the quality of cut (visually and measuring of surface roughness Ra), width of cut and width of heat area influence - have been graphically plotted. The derived conclusions are in compliance with data given in literature.

1. U V O D

Sve češće se srećemo sa primenom lasera u različitim granama nauke, tehnike i tehnologije, počev od medicine, preko holografije (fotografija u tri dimenzije), primene u telekomunikacionim sistemima, mernim i regulacionim sistemima sve do širokog područja primene u obradi materijala. Popularnost ove tehnike može se, između ostalog, objasniti mogućnošću fokusiranja laserskog snopa u tačku prečnika 0,025 - 1 mm sa gustinom snage reda 10^6 W/cm² u kontinualnom režimu i kratkotrajnim vrlo visokim snagama u impulsnom režimu rada. Laser se podjednako uspešno može primeniti za rezanje, izradu otvora, zavarivanje, termičku obradu, legiranje, oblaganje, prevlačenje i obeležavanje.

Druga specifična svojstva laserskog snopa kao što je npr. monohromatičnost otvara veliko polje primene lasera za merenje rastojanja i kontrolu kvaliteta površine i uopšte kao mernog alata za formiranje mernog lanca i regulaciju kretanja po osama alatnih mašina.

2. OBRADA MATERIJALA GASNIM LASEROM

Od prve pojave proizvodne linije u ranim sedamdesetim godinama snažni CO₂ laseri počinju da se primenjuju za brojne procese obrade. Od svih procesa najširu primenu ima lasersko rezanje. Cilj ovog istraživanja bio je primena kontinualnog CO₂ lasera u obradi limova rezanjem. Primena gasnih lasera za obradu materijala uobičajena je zbog brojnih razloga. Pre svega, ovi laseri imaju veću efikasnost u odnosu na ostale lasere (teoretski i do 40%), a zatim, zapremina laserskog medijuma može biti velika nasuprot kristalnim i poluprovodničkim laserima. Materijal je homogen te je izbegnut problem optičke nehomogenosti. Lako se ostvaruje uklanjanje toplote transportom zagrejanog gasa izvan područja interakcije i sistemom transporta gasova može se ostvariti vrlo visoka snaga (već su u eksploataciji laseri čija je snaga 25 kW).

CO₂ laser ima talasnu dužinu zračenja od 10,6 μm, a laserski medijum je smeša sledećih gasova CO₂ : N₂ : He. Ovi laseri se dele na lasere visokog pritiska ~ 1 bar koji rade u impulsnom režimu i lasere niskog pritiska 15 - 150 mbara koji mogu da rade u impulsnom i kontinualnom režimu i široko se koriste za obradu materijala: bušenje, rezanje, zavarivanje, termičku obradu i dr. U zavisnosti od pravca protoka gasa dele se na lasere sa longitudinalnim protokom kod kojih se obzirom na ograničenje proizvedene snage po dužnom metru (~ 80 W/m) ostvaruju niže i srednje snage do 800 W i lasere sa transverzalnim protokom gasa koje omogućuje ostvarenje vrlo visoke snage i do 40 kW. Talasna dužina od 10,6 μm nije najpogodnija za obradu metala zbog visokog koeficijenta refleksije što se prevazilazi bilo povišenjem temperature obradka pri čemu koeficijent refleksije opada ili nanošenjem raznih prevlaka u cilju povećanja apsorpcije površine (kristalni materijali, metalni oksidi, fosfati, metali fine strukture i karbonske prevlake).

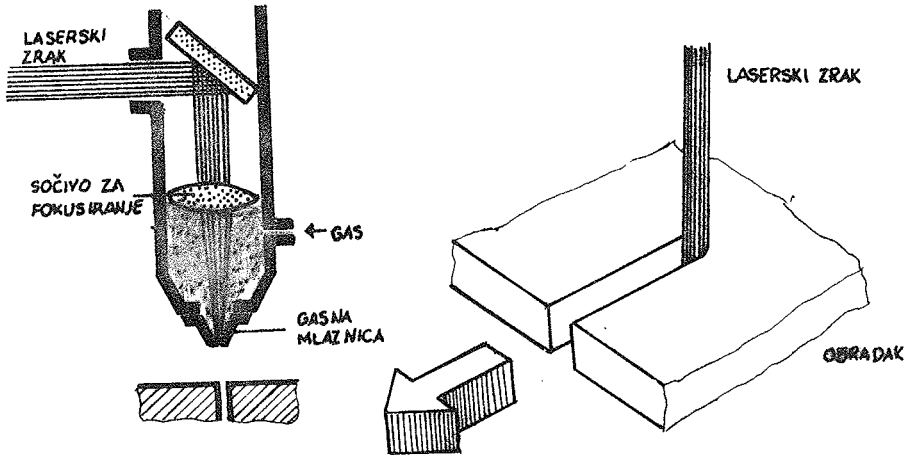
Ispitivanje je obavljeno sa kontinuiranim 600 W CO₂ laserom domaćeg proizvođača (Iskra Elektrooptika) sa sledećim karakteristikama:

- Izlazna snaga lasera 600 W u režimu velike snage i 300 W u režimu male snage
- Odstupanje snage ± 5 %
- Modulacija transverzalnih elektromagnetskih oscilacija pretežno TEM₀₀
- Divergencija laserskog zraka ne veća od 2,5 mrad
- Kružna polarizacija

Tehničke karakteristike lasera sa kojim smo obavljali istraživanje (relativno niska snaga kao i mogućnost rada isključivo u kontinualnom režimu) diktiralo je pravac proučavanja aplikativnih mogućnosti lasera, tj. vršeno je prevashodno rezanje limova do 4 mm debljine različitih kvaliteta i optimizirani su promenljivi parametri laserskog rezanja pri maksimalnim tj. optimalnim brzinama obrade.

CO₂ laser je radio uz Obradni centar za lim, poseban tip prese sa velikom fleksibilnošću i brzinama obrade, proizveden u LOLA Fabrici alatnih mašina. OCL omogućuje deformisanje probijanjem i plitkim izvlačenjem lima i kombinacijom ove dve obrade u zavisnosti od oblika alata, a u praksi se koristi za: probijanje pojedinačnih otvora, probijanje otvora složenih kontura, sečenje i plitko izvlačenje.

Sečenje CO₂ laserom zasniiva se na uklanjanju materijala isparavanjem (zagrevanje, topljenje i isparavanje).



Sl. 1 Šema laserskog sečenja

Laserski zrak pada na površinu radnog predmeta pri čemu jedan deo površine ispari, a sloj ispod njega se zagreje do tačke topljenja. Čim ispareni materijal napusti zonu delovanja, laserski zrak pada na dublji zagrejeni sloj materijala i izaziva njegovo isparavanje ili sagorevanje čime se ostvaruje prosecanje radnog predmeta. Pomeranjem laserskog zraka po određenom pravcu ili konturi nastaje željeni rez. Radi ostvarenja efikasnijeg rezanja često se koristi koaksijalna struja pomoćnog gasa, kod rezanja metala kiseonik ili vazduh, a kod nemetala vazduh ili neki od inertnih gasova (helijum, argon ili azot). Funkcija pomoćnog gasa je da ostvari zaštitu optičkih elemenata kao i što brži odvod isparenog materijala iz reza, dok kiseonik kao pomoćni gas egzotermički reaguje sa metalom dajući na taj način značajnu dodatnu energiju potrebnu za rezanje. Kiseonik takodje oksidiše površinu metala i tako povećava apsorpciju laserske energije i odstranjuje šljaku iz reza.

Forbes je još 1975.godine pokazao da pri rezanju čelika sa kiseonikom kao pomoćnim gasom samo 30 % energije dolazi od lasera i 70 % dolazi od kiseoničke egzotermne reakcije. Međutim, za rezanje izvesnih metala kao što su niobijum i tantal, kiseonik je previše reaktivan i izaziva grube ivice reza.

3. PARAMETRI PROCESA REZANJA LASEROM

Odlike kvalitetnog reza ostvarenog laserskom metodom obrade su:

- Pravi uglovi na ulaznoj i izlaznoj površini
- Uska širina reza
- Minimalno termičko oštećenje
- Paralelne ivice
- Odsustvo prijanjajuće šljake
- Glatke ivice reza

Ovo se može ostvariti pravilnim izborom laserskih parametara, npr. za rezanje se zahteva stabilna modulacijska struktura niskog reda, kao i parametara materijala.

Jedan od najuticajnijih laserskih parametara je žižna daljina sočiva za fokusiranje. Fokusna dužina sočiva određuje veličinu tačke fokusiranog snopa, pa tako i njegovu gustinu snage i brzinu procesa. Kraća fokusna dužina obezbedjuje manju veličinu tačke, a time i veću gustinu snage. Za različite procese obrade materijala koriste se 2,5" sočivo (žižna daljina 63,5mm), 5" sočivo (žižna daljina 127mm) i 10" sočivo (žižna daljina 254mm). Tačan položaj žižne tačke u odnosu na površinu radnog komada bitno utiče na kvalitet reza, a posebno na njegovu širinu.

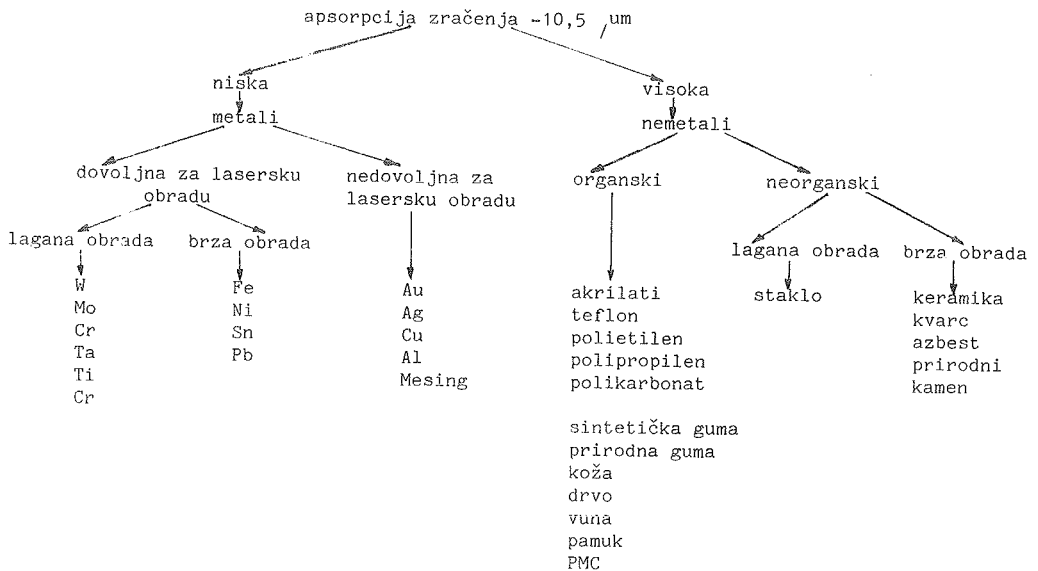
Pri ovom istraživanju korišćeno je 2,5" sočivo.

Sledeći bitni laserski parametri su snaga laserskog zračenja, u našem slučaju 600 W, i brzina izvodjenja operacije koja je varirana od 0,7m/min do 5m/min. Prečnik Cu mlaznice bio je 1mm. Pritisak pomoćnog gasa kiseonika kretao se od 2 - 5 bara.

Lakoća sa kojom se reže materijal i kvalitet reza ne zavisi samo od laserskih parametara već i od parametara materijala.

U karakteristike materijala spadaju stepen apsorpcije, reflektivnost površine kao i kvalitet površine obratka, toplotno širenje i toplotna provodljivost kao i gustina materijala, specifična toplota i tačka topljenja osnovnog metala i njegovih oksida.

Uopšteno se može reći da se većina materijala može uspešno obradivati laserskim snopom, što je prikazano tabelarno.

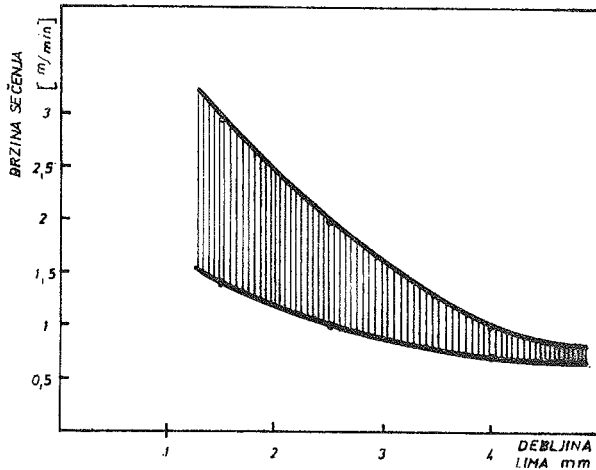


Reflektivnost, odnos odbijenog i primljenog intenziteta zračenja, različito je za različite talasne dužine. Npr. Cu i Au imaju malu reflektivnost pri malim talasnim dužinama (ispod $1,06 \mu\text{m}$), a pri većim talasnim dužinama reflektivnost raste i do 99 %. Fero metali (gvoždje, magnezijum, nikal i dr.) imaju malu refleksiju u infracrvenoj oblasti. Vrlo ravne i glatke površine predstavljaju dobre reflektore pa kvalitet površine obratka direktno utiče na reflektivnost.

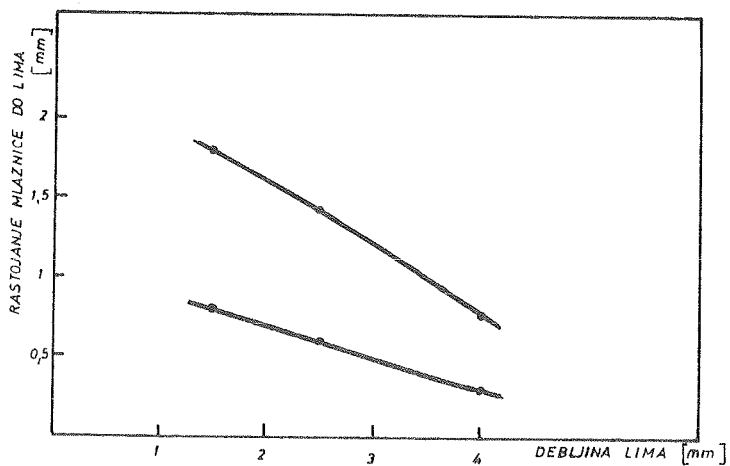
Raspodela toplotne energije po površini i osnovnom materijalu zavisi od osobina toplotnog širenja i toplotne provodljivosti. Brzina zagrevanja je obrnuto proporcionalna specifičnoj toploti jedinice zapremine. Za zagrevanje obratka do tačke topljenja, odnosno isparavanja potrebna je određena laserska energija čiji nivo zavisi od temperature topljenja (isparavanja) određenog materijala.

4. EKSPERIMENTALNI REZULTATI

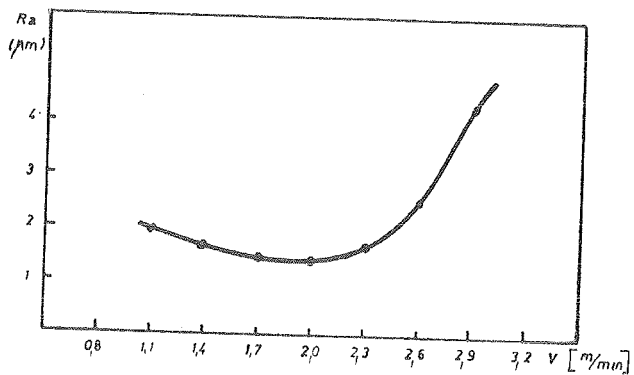
Naše ispitivanje obavljeno je na nekoliko različitih vrsta čeličnih limova debljine 1 - 4 mm. Najveći broj opita uticaja brzine i rastojanja mlaznice na kvalitet reza, kao i uticaj pritiska pomoćnog gasa obavljen je na ugljeničnom čeliku negarantovanog sastava Č.0361, legiranom čeliku u kaljenom stanju Č.4146 (HR_c-62 - 65) i prokronu 11 ex Č.4580.



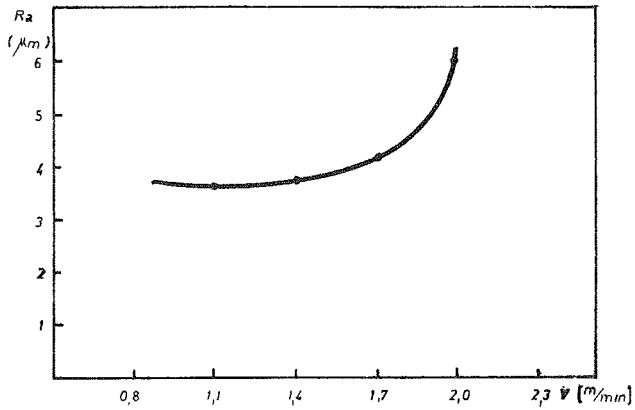
Sl. 2 Gornja i donja granica brzine kod sečenja čelika Č.0361 sa laserom snage 620 W



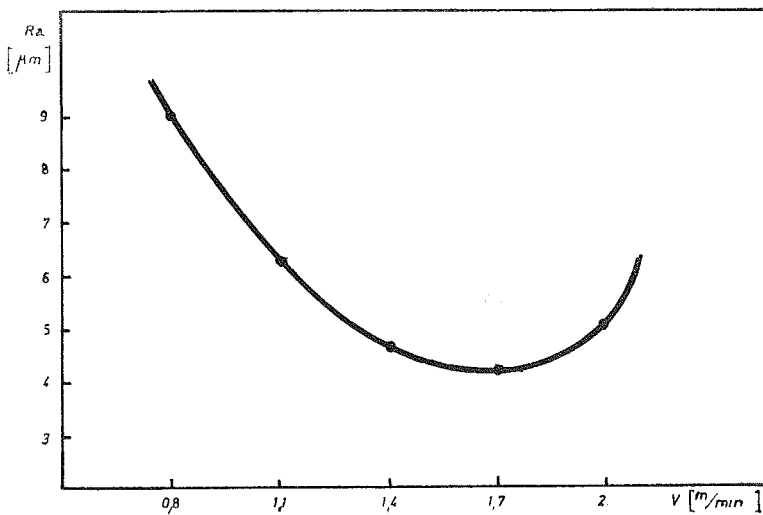
Sl. 3 Gornja i donja granica rastojanja mlaznice od lima pri uspešnom rezanju čelika Č.0361 različitih debljina; pritisak kiseonika 2,5bara i snaga lasera 620 W



Sl. 4 Zavisnost ostvarene hrapavosti površine reza Ra (μm) od brzine rezanja kod čelika Č.0361, pri optimalnom rastojanju mlaznice i pritisku kiseonika od 3,5 bara



Sl. 5 Zavisnost ostvarene hrapavosti površine reza R_a od brzine rezanja kod čelika Č.4580 debljine 2 mm, pri optimalnom rastojanju mlaznice i pritisku kiseonika od 3,5 bara



Sl. 6 Zavisnost ostvarene hrapavosti površine reza R_a od brzine rezanja kod čelika Č.4146, debljine 4 mm pri optimalnom rastojanju mlaznice i pritisku kiseonika od 4 bara

5. Z A K L J U Č I C I

- Pri brzinama manjim od optimalne usled unošenja previsoke energije u rez, rez je neravnomeran sa širom zonom uticaja toplote.
- Veća brzina od optimalne takodje uslovljava obrazovanje neravnomernog reza sa prijanjajućom šljakom.
- Pri optimalnim brzinama rezanja ostvaruje se ravnomeran rez. Minimalna hrapavost registrovana pertometrom tokom ovih eksperimenata iznosila je $R_a - 1,6 \mu\text{m}$.
- Nije zapažen uticaj brzine toka kiseonika u opsegu od 2 - 5 bara na optimalnu brzinu rezanja.
- Širina reza monotono opada sa porastom brzine rezanja. Pri optimalnim brzinama rezanja i veličinom fokusne tačke (0,2 mm) registrovani su rezovi širine 0,1 - 0,3 mm sa obrazovanjem otvrdnutog sloja na ivicama. Porast debljine obradivanog lima povećava zonu uticaja toplote što je u skladu sa literaturnim podacima po kojima za svaki mm debljine lima širina zone uticaja toplote raste za oko 0,025 mm.
- Položaj fokusa zavisi od debljine lima, kod tanjih limova optimalni rezovi se ostvaruju postavljanjem fokusa na površinu lima, a kod debljih limova u prvoj trećini reza. Pošto su opiti obavljeni sa 2,5" sočivom, fokusna dužina od 63,5 mm limitirala je dubinu fokusa i uslovlila veću promenu gustine snage u odnosu na odstojanje od fokusne ravni.
- Najpogodniji za obradu se pokazao Č.0361, a najslabiji rezovi su ostvareni kod prokrona. Ovo se može objasniti činjenicom da se kod čelika sa visokom % Cr i Ni obrazuju oksidi Cr i Ni velike žilavosti koji se teško odstranjuju iz reza. U literaturi se mogu sresti podatci o opitima rezanja visokolegiranih čelika sa pomoćnom mlaznicom ispod površine lima koja postavljena na odredjenom odstojanju i pod odredjenim uglom, najbolje odstranjuje prijanjajuću šljaku.
- Pri obradi kliznih traka (legiranog čelika Č.4146 u kaljenom stanju) zapaženo je da se pravilnim izborom parametara obrade mogu ostvariti vrlo kvalitetni rezovi i kod debljih limova.

L I T E R A T U R A

- | 1 | Laser materials processing, M.Bass, North Holland, Centar for Laser Studies, California, Los Angeles, USA
- | 2 | Improvement of cut quality in Laser-gas-Cutting stainless steel, Y.Arato, H.Maruo, I.Miyamoto and Takeuchi, Osaka University, Yamada-kamj, Suita, Osaka 565 Japan
- | 3 | Investigations in optimizing the laser cutting process, F.O.Olsen
- | 4 | Experimental Studies in Nozzle Design for Laser Cutting, Flemming Bach Thomassen, F.O.Olsen, Technical University of Denmark
- | 5 | Prevention of dross attachment during laser cutting, F.N.Birkett, D.P.Herbert and J.Powell, Loughborough University of Technology, U.K.
- | 6 | Laser cutting of sheet metal in modern manufacturing, J.M.Weich and R.Wollermann-Windgasse, Trumpf, GmbH & Co., West Germany
- | 7 | Laser-cutting and welding in a flexible manufacturnig system, H.Uetz, G.Hardoch and H.J.Worneche, Fraunhafer-Institute for Manufacturing Engineering and Automation (IPA) West Germany

21. SAVJETOVANJE PROIZVODNOG STROJARSTVA JUGOSLAVIJE, OPATIJA, 1987.

OBRADA TVRDIH MATERIJALA ULTRAZVUKOM
THE PROCESSING OF HARD MATERIALS WITH ULTRASONICS

I. Petrović
V. Cvetković
M. Prokić
D. Šarković

Elektronska industrija - Niš
RO Vakuumski i elektronski proizvodi
18000 Niš, Jugoslavija

Ključne reči:

Ultrazvuk
Materijali
Obrada

SAŽETAK: U radu je opisan princip korišćenja ultrazvuka za obradu tvrdih materijala, koji je primenjen za obradu kvarcnih elemenata različitih geometrija, sa posebnim osvrtom na eksperimentalne rezultate. Električna energija se transformiše u ultrazvučne mehaničke oscilacije, koje se preko sistema sonotroda i alata prenose na abrazivnu tečnost, kojom se vrši obrada materijala.

Key words:

Ultrasound
Materials
Processing

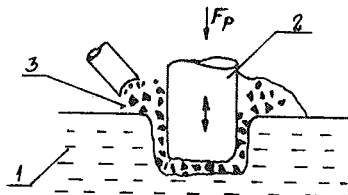
ABSTRACT: The paper reviews the ultrasonics processing of hard materials applied for drilling quartz and glass elements. Electrical energy is to be transformed into mechanical vibrations which are followed by the system consisting of sonotrodes and tools, to abrasive liquid which acts upon the processing materials.

1. Uvod

Ultrazvučno rezanje ili ultrazvučna obrada je veoma interesantan i perspektivan tehnološki proces. Ovaj postupak otkrio je pre oko 40 godina američki inženjer Luis Balamuth prilikom drobljenja abrazivnih prahova ultrazvukom. Uočio je da približavanje oscilujućeg čela sonotrode ka površini posude u kojoj se nalazi suspenzija abraziva, dovodi do razaranja površine na mestu kontakta. Pokazalo se da se na taj način razaraju svi kruti materijali: staklo, keramika, tvrde legure, safir, rubin, a takodje i dijamant. Posebno važnim pokazalo se da oblik dobijenog udubljenja veoma tačno ponavlja reljef čela sonotrode.

2. Osnovni principi

Princip ultrazvučne obrade materijala sastoji se u tome što se u zazor između obradjujućeg detalja 1 (sl.1) i uzdužno vibrirajućeg alata 2, dovodi suspenzija abraziva 3.



Sl.1. Šema procesa ultrazvučne obrade

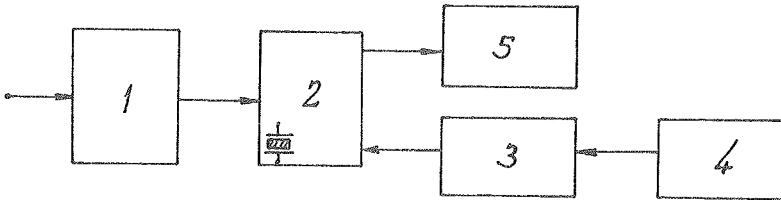
Pod dejstvom stalne sile pritiska F_p , koja djeluje na alat ili obradjujući detalj, u materijalu se obrazuje udubljenje. Skidanje materijala odvija se na površini upravnoj na pravac oscilovanja alata, ili u pravcu sile pritiska.

Materijal se razbija u sitne čestice, u skladu sa specifičnostima materijala. Kao rezultat, u materijalu se dobija otisak - tačna kopija profila čeone površine alata.

U procesu obrade, čestice abraziva koje učestvuju u obradi, postepeno se troše, ali u zonu obrade dolazi tečnost koja nosi nova zrna abraziva i obezbedjuje odnošenje raspadnutih zrna i čestica materijala.

Uredjaj za ultrazvučnu obradu mora obezbediti oscilovanje alata sa što većom amplitudom pri datoj frekvenciji, a takodje i neophodan pritisak alata na predmet obrade, pri neprekidnom dotoku suspenzije abraziva u zonu obrade.

Blok šema ultrazvučnog uredjaja prikazana je na sl.2.. Kao izvor mehaničkih vibracija alata služi sistem za pretvaranje električnih u mehaničke oscilacije (sl.2.-pozicija 2).



Sl.2. Blok šema aparature za bušenje

- 1) Generator ultrazvuka $f_0=25$ kHz
- 2) Sistem za pretvaranje električnih u mehaničke oscilacije (piezoelektrični sendvič pretvarač + buster + sonotroda + izvršni alat sa ugradjenim kanalima za cirkulaciju abraziva)
- 3) Sistem za dovodjenje i odvodjenje abraziva
- 4) Pumpa
- 5) Indikator prodiranja u materijal

Električna energija koju on dobija od generatora 1, posebno prikazanog na sl.6., pretvara se u energiju mehaničkih oscilacija. Medjutim, na taj način dobijena amplituda ultrazvučnih oscilacija je nedovoljna za proces obrade materijala, pa je u cilju povećanja amplitude oscilovanja na alatu, konstruisan specijalni sistem posebno prikazan na sl.3..

Na sl.4. prikazani su neki tipovi alata za bušenje, koji se spaja za kraj sonotrode i omogućuje dobijanje otvora zadate forme u materijalu.

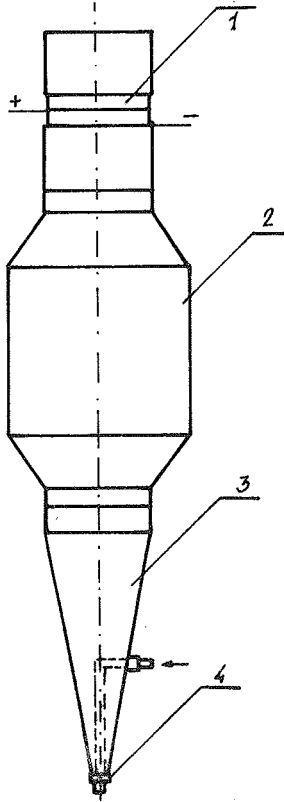
Na sl.5. dati su neki rezultati bušenja.

Funkcionalna blok šema aparature za bušenje prikazana je na sl.7..

Neprekidni dotok abraziva u zonu rezanja ostvaruje se pomoću sistema sa pumpom i mešaćem.

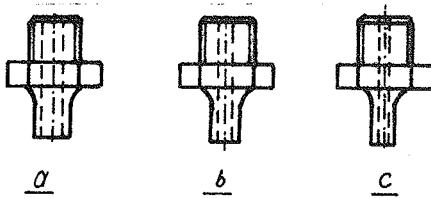
3. Osnovne karakteristike

Brzina razaranja materijala može se karakterisati dvema veličinama: brzinom promene dubine otvora i efikasnošću, tj. količinom materijala odstanjenog (iskopanog) u jedinici vremena.

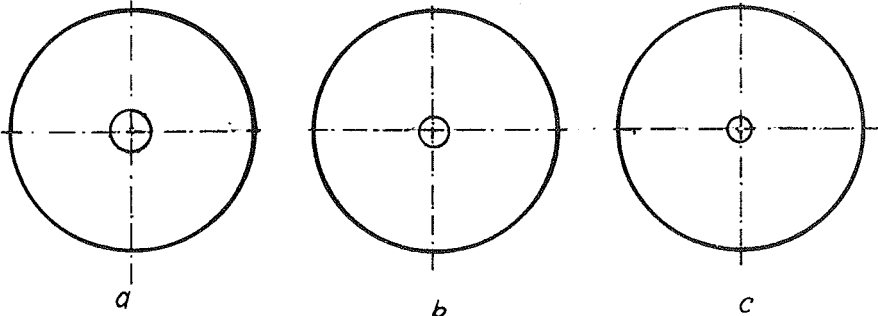


Sl. 3 Sistem za pretvaranje električnih oscilacija u mehaničke

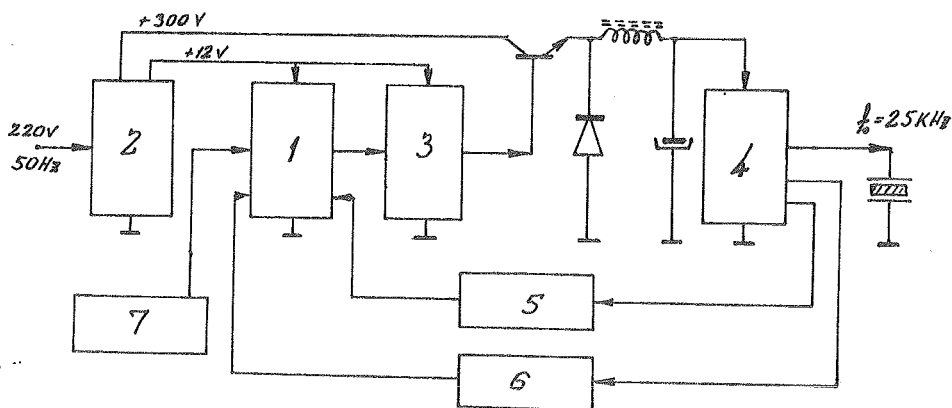
- 1. Piezoelektrični sendvič pretvarač;
- 2. Buster;
- 3. Sonotroda;
- 4. Izvršni alat.



Sl.4. Alati za bušenje



Sl.5. Produkti bušenja



Sl.6. Blok šema generatora ultrazvuka

- 1) Upravljačko kolo sa regulacijom širine impulsa
- 2) AC/DC konvertor
- 3) Pobudno kolo,
- 4) Samopobudni oscilator sa tranzistorskim pojačavačem snage
- 5) Kolo za ograničenje struje
- 6) Kolo reakcije za automatsko podešavanje izlazne snage na izvršnom alatu
- 7) Kolo za ograničenje maksimalne izlazne snage

Efikasnost k je proporcionalna brzina obrade

$$k = S \cdot v$$

gde je S - površina otvora, a v - brzina obrade.

Efikasnost ultrazvučnog metoda obrade u prvom redu zavisi od krtosti materijala.

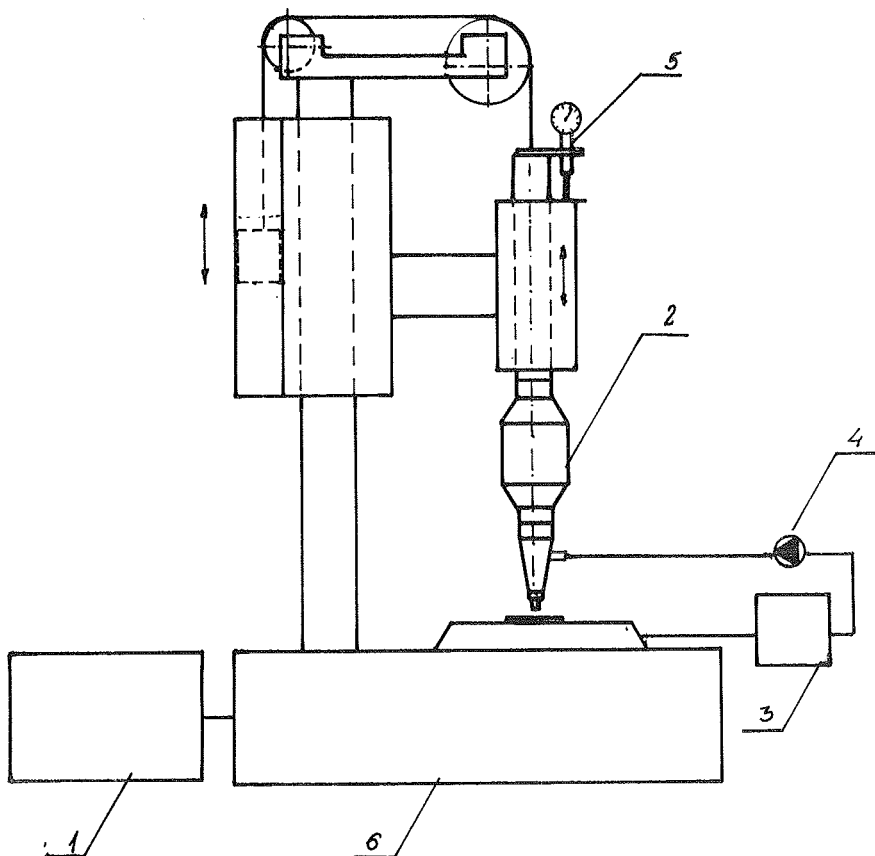
Tablica 1. - Relativna efikasnost obrade stakla i nekih materijala.

Materijal	Efikasnost (%)
Staklo	100
Mesing	7
Čelik	4
Titan	4

Iz tablice 1. vidi se da je brzina obrade metala znatno manja od brzine obrade stakla. Brzina obrade različitih materijala zavisi od njihovih mehaničkih svojstava. Brzina obrade je veća sa većom sposobnošću materijala da se razara usled krtosti.

U zavisnosti od kriterijuma krtosti, materijale možemo u pogledu obrade ultrazvučnom metodom, podeliti u tri grupe. U prvu grupu spadaju: staklo, kvarc, keramika i ostali materijali, koji se najefektivnije obrađuju. Drugu grupu čine: kaljeni čelik i tvrde legure, koje zauzimaju srednje mesto. Obrada materijala treće grupe: čelik, bakar, olovo, itd. je neefikasna. Zato se alat za ultrazvučnu obradu uvek izradjuje od čelika.

Ultrazvučnu obradu karakterišu čistoća površine i preciznost obrade. Ove parametre u prvom redu određuju tvrdoća obradjujućeg materijala i veličina zrna suspenzije abraziva. Pokazalo se da je bočni zazor oko 1,5 puta veći od srednje veličine zrna abraziva. Sa smanjenjem veličine zrna abraziva, smanjuje se veličina zazora i poboljšava čistoća obradjene površine. Čistoća površine je veća kod tvrdjih materijala.



Sl.7. Funkcionalna blok šema aparature za bušenje

- 1) Generator ultrazvuka $f_0 = 25 \text{ kHz}$
- 2) Sistem za pretvaranje električnih u mehaničke oscilacije (piezoelektrični sendvič pretvarač + buster + sonotroda + izvršni alat sa ugradjenim kanalima za cirkulaciju abraziva)
- 3) Sistem za dovodjenje i odvodjenje abraziva
- 4) Pumpa
- 5) Indikator prodiranja u materijal
- 6) Stalak

Tablica 2. Relativna brzina obrade različitih materijala

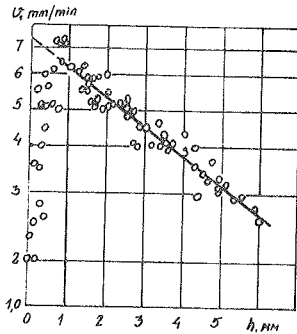
Materijal	Relativna brzina obrade (%)
Staklo	100
Germanijum	57
Kvarc	52
Rubin	18
Tvrde legure	5
Dijamant	1

Za dati materijal efikasnost ultrazvučne obrade zavisi od amplitude, frekvencije oscilovanja i pritiska kao parametara koji karakterišu režim obrade.

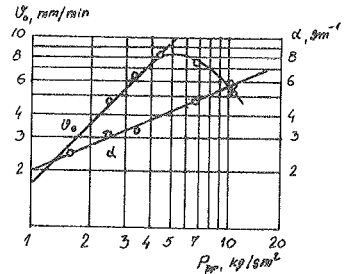
Analiza eksperimentalnih podataka je pokazala da umanjenje brzine obrade sa porastom dubine h , odgovara eksponencijalnoj zakonitosti:

$$v = v_0 \exp(-\alpha h)$$

gde je v_0 - početna brzina, α - konstanta, a h - dubina.



Sl.8. Zavisnost brzine obrade od dubine otvora



Sl.9. Zavisnost početne brzine v_0 i eksponenta α od pritiska

Parametri v_0 i α zavise od veličine pritiska koji deluje na alat i materijal, kao što je prikazano na sl.9. Koeficijent α se menja zbog promena svojstva suspenzije neposredno u radnom zazoru pri bušenju. Sa povećanjem pritiska, v_0 proporcionalno raste, ali preko nekog kritičnog pritiska proporcionalnost se narušava i v_0 počinje da se smanjuje.

Brzina obrade je proporcionalna kvadratu amplitude oscilovanja (sl.10.). Postoji kritična amplituda oscilovanja, kao i kritični pritisak. Sa porastom amplitude oscilovanja preko $60 \mu\text{m}$, brzina obrade se smanjuje. To znači, da je brzina obrade do izvesne granice proporcionalna proizvodu pritiska i kvadrata amplitude.

Brzina obrade u funkciji od pritiska menja se tako, što je brzina obrade proporcionalna proizvodu

$$\xi_m \sqrt{P_{pr}}$$

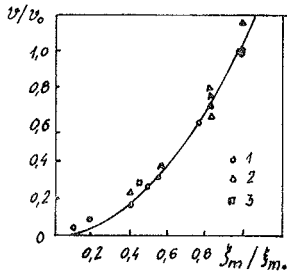
gde je ξ_m - amplituda oscilovanja; P_{pr} - pritisak (sl.11.).

Na taj način, empirijska zavisnost brzine obrade od amplitude oscilovanja i pritiska može biti predstavljena u obliku

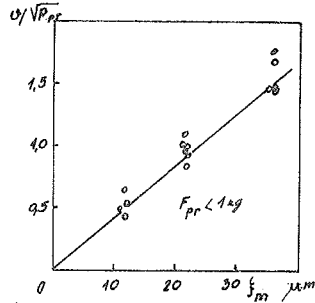
$$v \sim (\xi_m P_{pr})^a,$$

gde se a menja u granicama od 0,5-1 u zavisnosti od veličine primenjenog abraziva i obradjujućeg materijala.

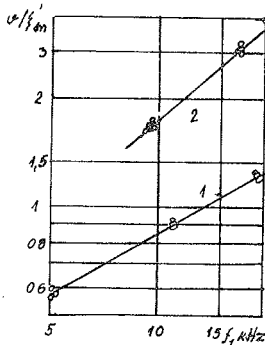
Sa porastom frekvencije oscilovanja brzina obrade raste. U dijapazonu od 5 do 20 kHz brzina obrade proporcionalna je kvadratnom korenu iz frekvencije oscilovanja (sl.12.). Brzina obrade uslovljena je i izmenom koncentracije abraziva u radnom zazoru.



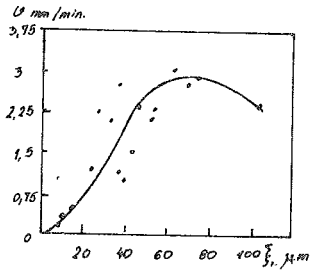
Sl.10. Zavisnost relativne brzine obrade od amplitude oscilovanja



Sl.11. Zavisnost $v/\sqrt{P_{pr}}$ od amplitude oscilovanja ξ_m



Sl.12. Zavisnost brzine obrade od frekvencije



Sl.13. Zavisnost brzine obrade od srednje veličine zrna abraziva

Brzinu ultrazvučne obrade određuje također tvrdoća i granulacijski sastav zrna abraziva. Abraziv mora biti znatno tvrdiji od obradjujećeg detalja, ili u krajnjem slučaju, iste tvrdoće.

Na primer, ako se pri obradi stakla zameni karbid bora manje tvrdim karbidom silicijuma, smanjuje se brzina obrade na svega 20%.

Kao što se vidi sa sl.13., sa uvećanjem razmere zrna, brzina raste, pri srednjoj veličini oko 60-80 μm dostiže maksimum, a zatim se smanjuje.

4. Zaključak

Ovaj metod uspešno dopunjava grupu nemehaničkih metoda obrade materijala (elektroeroziona, elektrohemijski, elektro-lučni i laserski).

Bitno se uprošćuje tehnologija izrade fazonskih detalja od tvrdih i krutih materijala. Uprošćuje se, na primer, tehnologija rezanja ploča slobodne forme od keramike, kvarca, poluprovodnika, postalo je moguće izraditi otvore proizvoljnog profila u materijalima različitih tvrdoća.

Neophodno je napomenuti da pored svih navedenih kvaliteta, ultrazvučna obrada ima izvesne nedostatke, kao što je mala efikasnost i nemogućnost bušenja preko 20mm dubine.

Svi podaci koji se nalaze u literaturi, uglavnom važe za neznatne dubine bušenja (2-3mm). Sa povećanjem dubine, proces bušenja se usporava i na dubini oko 20mm, brzina obrade pada na nulu.

5. Literatura

- /1/ V.F.Kazancev, ULTRAZVUKOVOE REZANIE, Mašinstroenie, Moskva 1975.
- /2/ A.I.Markov, REZANIE TRUDNOBRATIVAEMIH MATERIALOV PRI POMOĆI ULTRAZVUKOVIH I ZVUKOVIH KOLEBANIA, Mašgiz, 1962.
- /3/ L.D.Rozenberg, ULTRAZVUKOVOE REZANIE, Izd-vo AN SSSR, 1962.
- /4/ Eksperimentalni rezultati dobijeni u Ei-Niš, RO VEP.

21. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, OPATIJA, 1987. GODINE

PRIOLOG ISTRAŽIVANJU KONSTRUKTIVNIH I EKSPLOATACIONIH KARAKTERISTIKA
NAVOJNIH VRETENA SA KUGLICAMA

CONTRIBUTION TO THE RESEARCH OF BALL SCREWS CONSTRUCTION AND
EXPLOITATION CHARACTERISTICS

P. Nikšić Tehnički fakultet Čačak, Univerzitet "Svetozar Marković"
Kragujevac, 32000 Čačak, Borisa Kidriča bb

D. Petković Fabrika reznog alata, H. Veljkova 37, Sektor razvoja,
Z. Šopić 32000 Čačak

ključne reči: Sažetak: U radu su date osnovne konstruktivne karakteri-
stike navojnih vretena sa posebnim osvrtom na eksperiment-
alno istraživanje njihovih kvalitativnih karakteristi-
ka. Nakon prikaza fotografije punkta merenja, sledi pri-
kaz mernih i računskih veličina, principa merenja i ka-
rakteristika primenjene merne instrumentacije. Dalje se
prikazuju rezultati eksperimenta uz analizu i preporuke
za njihovo korišćenje sa trendom daljih istraživanja.

Key words: ABSTRACT: This study deals with construction characteri-
stics of Ball Screws particularly with experimental re-
search of their qualitative characteristics. Measuring
point photography was followed by measures and calculati-
ons, measuring principles and characteristics of applied
measuring instruments. In addition the experimental resu-
lts were also shown along with recommendations for their
use and further research.

1. UVOD

Za prenošenje snage i obrtnog momenta, uz istovremeno pretvaranje kružnog kretanja u pravolinijsko i obratno, u mašingradnji su široko rasprostranjeni prenosnici sa trapeznim navojem. Ovakvi prenosnici se zbog svojih nedostataka zamenjuju novim, po svojim karakteristikama daleko boljim prenosnicima navojnim vretenima sa kuglicama. Prvi predlog primene ovakvih prenosnika datira još iz davne 1879. godine, ali su tek u Drugom svetskom ratu ušli u upotrebu kao regulacioni element za svrhe upravljanja u avio-industriji. Od tada nalaze sve veću primenu i u drugim oblastima tehnike, proizvodnji alatnih mašina sa NC i CNC upravljanjem i proizvodnji mašina sa visokim zahtevima tačnosti, robotici me- rnoj tehnici, brodogradnji, automobilskoj industriji.

Prednosti navojnih vretena sa kuglicama nad klasičnim vretenima sa trapeznim navojem, ogledaju se u sledećem:

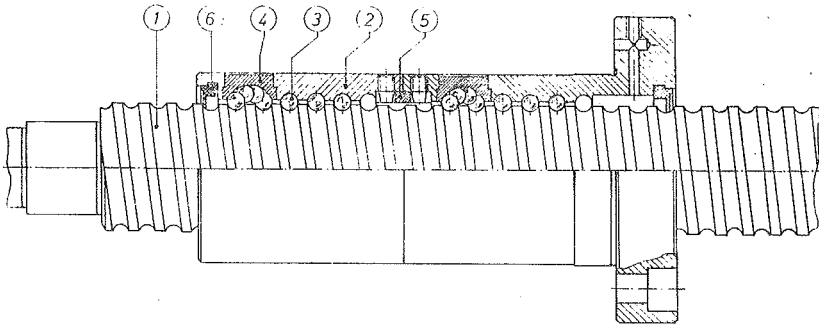
- vrlo visok stepen iskorišćenja (do 0,95); relativno malo habanje kontaktnih površina, čime se postiže duži vek eksploatacije uz trajnu tačnost; velike brzine kretanja; prenošenje velikih snaga; visoka tačnost pozicioniranja; odsustvo zazora čime se izbegava pojava praznog hoda; velika krutost prenosnog sistema i dr.

Sve ove prednosti su postignute savremenim konstruktivnim rešenjem prenosnika kod koga se kretanje navrtke po vretenu ostvaruje preko

kuglica koje kotrljaju, čime je trenje klizanja kod klasičnih prenosnika zamenjeno trenjem kotrljanja.

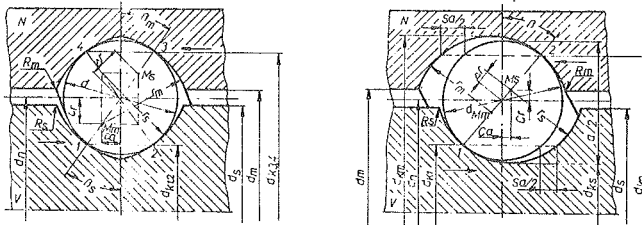
2. KONSTRUKTIVNE KARAKTERISTIKE NAVOJNIH VRETENA SA KUGLICAMA

Kod svih tipova navojnih vretena sa kuglicama mogu se uočiti sledeći konstruktivni elementi koji čine njegov sklop, a to su: navojno vreteno (poz.1); navrtka (poz.2); kuglice (poz.3); elementi za recirkulaciju kuglica (poz.4); elementi za regulaciju zazora (poz.5); elementi za zaptivanje (poz.6). Na Slici 1. prikazan je detalj sklopa navrtke i vretena.



Slika 1. Prikaz sklopa navojnog vretena sa kuglicama

Za projektovanje i konstrukciju navojnih vretena sa kuglicama neophodno je poznavati geometriju kinematskog spoja navojno vreteno-kuglica-navrtka, način ostvarivanja recirkulacije kuglica i način otklanjanja zazora između navrtke i navojnog vretena. Tačnost pozicioniranja navojnog vretena sa kuglicama, statička i dinamička nosivost kao i radni vek određeni su izborom oblika i dimenzija profila navoja sa neophodnom tačnošću njegove izrade. Najčešći konstruktivni oblici profila navoja ovakvih prenosnika prikazani su na Slici 2., gde se mogu uočiti osnovni

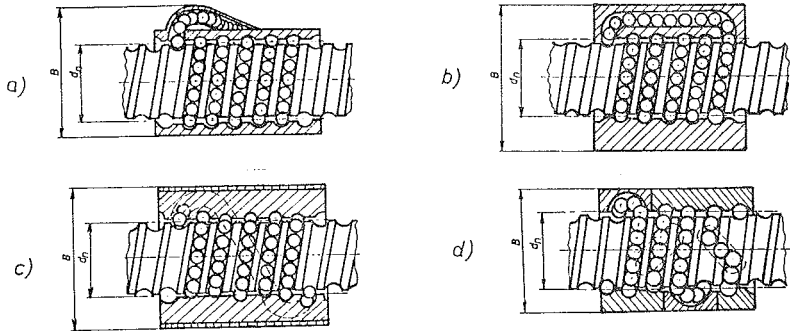


Slika 2. Najčešći oblici profila navoja

parametri profila: radijus profila navoja vretena r_g , radijus profila navoja navrtke r_m , ugao kontakta β , prečnik kuglice d , aksijalni zazor ζ_a , prečnici kinematskih dodirnih krugova navrtke i vretena d_k .

Kontinuirano kotrljanje između bokova profila navoja vretena i navrtke za grupu kuglica u svojoj stazi kotrljanja, ostvaruje se pomoću ugrađenog elementa za recirkulaciju kuglica. Konstruktivni oblici ovih

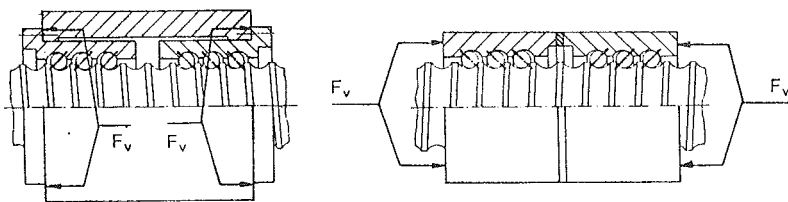
elementa prikazani su na Slici 3. Konstruktivni oblici a, b i c predstavljaju spoljašnji oblik recirkulacije, dok oblik d predstavlja unutrašnji oblik recirkulacije kuglica.



Slika 3. Konstruktivni oblici recirkulacije kuglica

Elementi za recirkulaciju kuglica, njihov pravilan izbor i tačnost njihove izrade utiču na funkcionalnost, nosivost i radni vek navojnih vretena sa kuglicama. Od kvalitetne izrade ovih elemenata zavisi smanjenje gubitka trenja kotrljanja kao i pouzdanost kontinualne recirkulacije kuglica bez njihovog zaglavlivanja. Na izbor elemenata za recirkulaciju utiču dimenzije navrtke (prečnik i dužina) i ukupna nosivost tj. broj nosećih kuglica.

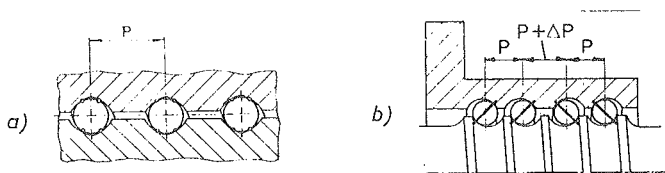
Za povećanje tačnosti pozicioniranja (bez praznog hoda u povratnom smeru), uz istovremeno povećanu krutost navojnog vretena sa kuglicama, potrebno je eliminisati aksijalni zazor koji se javlja kao posledica ne-tačnosti izrade navoja vretena i navrtke. Na Slici 4. prikazano je otklanjanje zazora na dvodelnoj navrtki prečnaprežanjem, odnosno, sabijanjem i razvlačenjem navrtki.



Slika 4. Otklanjanje aksijalnog zazora kod navojnih vretena sa dvodelnom navrtkom

Kod navojnih vretena sa jednom navrtkom takodje je moguće eliminisati pojavu aksijalnog zazora i to na dva načina: brušenjem navoja na meru bez radijalnog i aksijalnog zazora (Sl.5a); brušenjem navoja u navrtki sa pomeranjem koraka, povećavanjem ili smanjivanjem njegove nazivne vrednosti (Sl.5b).

Različitih konstruktivnim oblicima elemenata za regulaciju zazora obezbeđuje se njihova konstantna podešena vrednost, čime se onemogućava relativno pomeranje navrtki navojnog vretena pri eksploataciji. Zajedničko za sve elemente za regulaciju zazora je to što pružaju veliku



Slika 5. Otklanjanje aksijalnog zazora kod navojnih vretena sa jednom navrtkom

sigurnost i pouzdanost u radu navojnog prenosnika i u kontekstu sa ostalim konstruktivnim elementima obezbeđuju tačnost pozicioniranja, maksimalnu nosivost, potrebnu krutost uz optimalni radni vek.

3. PREGLED UTICAJNIH FAKTORA NA KVALITATIVNE KARAKTERISTIKE NAVOJNIH VREtenA SA KUGLICAMA

Na kvalitativne karakteristike prenosnika navojnih vretena sa kuglicama utiče veliki broj faktora, koji se mogu svrstati u sledeće tri grupe:

- Faktori koji definišu uslove ostvarivanja kontakta između pojedinih elemenata prenosnika (vrsta relativnog kretanja između elemenata, ukupno opterećenje i brzina relativnog kretanja elemenata tj. radni uslovi, temperatura u zoni kontakta elemenata, ...);
- Faktori koji definišu strukturu elemenata i samog prenosnika (vrsta materijala, površinska i termička obrada elemenata prenosnika, vrsta sredstva za podmazivanje i režim podmazivanja, vrsta trenja i mehanizam habanja elemenata prenosnika, konstruktivne karakteristike prenosnika, ...);
- Faktori koji definišu tribološke karakteristike prenosnika i njegovih elemenata (intenzitet habanja elemenata i prenosnika u celini, otpornost na habanje, ...).

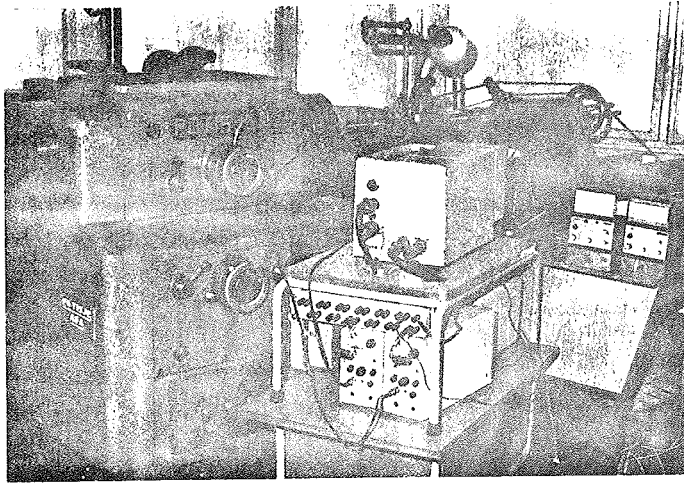
U ovom radu prikazano je istraživanje uticaja prve grupe faktora na tribološke karakteristike navojnih vretena sa kuglicama sa ciljem da dobijeni rezultati budu osnova i putokaz za dalja istraživanja uticaja ostalih faktora na kvalitativne karakteristike navojnih vretena sa kuglicama.

Uticaj eksploatacionih uslova na kvalitativne karakteristike navojnih vretena sa kuglicama

Istraživanja uticaja radnih uslova na kvalitativne karakteristike navojnih vretena sa kuglicama su vršena na uređaju čija je fotografija prikazana na Slici 6.

Uređaj se sastoji od navojnog vretena sa kuglicama dimenzija 40x10 dužine 670 mm koje je jednim krajem stegnuto u steznu glavu univerzalnog struga, a drugi kraj je oslonjen na okretni šiljak. Kućište navrtke je kruto vezano za nosač noža na supertu struga, čime je onemogućeno obrtanje navrtke. Suport je slobodan tako da se može aksijalno kretati zajedno sa nosačem kućišta navrtke čije je kretanje ograničeno mikroprekidničkim koji menjaju smer obrtanja pogonskog elektromotora. Dodatno opterećenje navrtke (sile otpora pri eksploataciji) simulira se tegovima smeštenim na nosač vezan užetom za kućište navrtke. Variranjem eksploatacionih uslova vršeno je merenje obrtnog momenta M na navojnom vretenu, aksijalne sile na navrtkama F_a , temperature u zoni kontakta t i aksijalnoj zazoru između navojnog vretena i navrtki z .

U toku eksperimenta registruju se na fotopapiru pisača zapisi aksijalne sile F_a , obrtni moment M i temperatura t u zoni kontakta u određenom vremenskom periodu ispitivanja.



Slika 6. Fotografija uređaja na kome je vršeno istraživanje

Na osnovu srednjih vrednosti F_a i M moguće je proračunati moment trenja M_t , ekvivalentni koeficijent trenja i stepen iskorišćenja prenosnika što je i uračunjeno za svaku fazu i etapu posebno. Vrednost aksijalnog zazoru između navojnog vretena i navrtke meri se tako što pri aksijalno fiksiranom navojnom vretenu nosač navrtki nosi opterećenje silom $F=1000$ N=const. i meri se aksijalno pomeranje nosača za oba smera obrtanja čime se registruju zazoru leve i desne navrtke x_1 i x_2 tako da je ukupan zazor jednak zbiru $z=x_1+x_2$.

Na osnovu neposrednog merenja navedenih veličina, omogućeno je proračunavanje sledećih kvalitativnih karakteristika navojnog vretena sa kuglica a i to:

- Momenta trenja M_t na osnovu izraza $M=M_u+M_t$ gde je $M_u=F_a \cdot h/2\bar{u}$, pri čemu je \bar{u} korak navojnog vretena koje se ispituje;
- Ekvivalentnog koeficijenta trenja kotrljanja μ_e , na osnovu izraza $\mu_e=2M_t/F_a \cdot d_n$, gde je d_n (mm) nominalni prečnik navojnog vretena;
- Stepena iskorišćenja prenosnika η , po obrascu $\eta=M_u/i$.

Varijanjem radnih uslova broja obrtaja navojnog vretena, opterećenja itd., na prikazanom uređaju, kao i konstruktivno tehnoloških parametara ispitivanog prenosnika mogu se odrediti uticaji navedenih uslova i parametri kvaliteta, pouzdanosti i radnog veka navojnih vretena, kao i njihova međusobna korelacija i povratna sprega sa ulaznim parametrima eksperimenta.

4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA, NJIHOVA INTERPRETACIJA I APLIKACIJA

U programu prelininarnih istraživanja planirane su dve faze eksperimenta. U prvoj fazi koja iznosi 50 sati rada prenosnika konstantni su radni uslovi i oni iznose: broj obrtaja navojnog vretena $n=225$ 1/min pri čemu je relativna brzina kretanja između navrtke i vretena $V_r=2,25$ m/min; masa svih linearno pokretnih delova $m=325$ kg; veličina opterećenja $G=1000$ N. Druga faza eksperimenta obuhvata sledećih 140 sati rada prenosnika i to po 35 sati rada sa promenljivim radnim uslovima. Program ispitivanja u ovoj fazi prikazan je u Tabeli 1.

Varijanjem radnih uslova težilo se određivanju njihovog uticaja na tribološke procese na kontaktnim površinama elemenata u dodiru i sticanje sopstvenih saznanja o daljem trendu ovih procesa. Rezultati

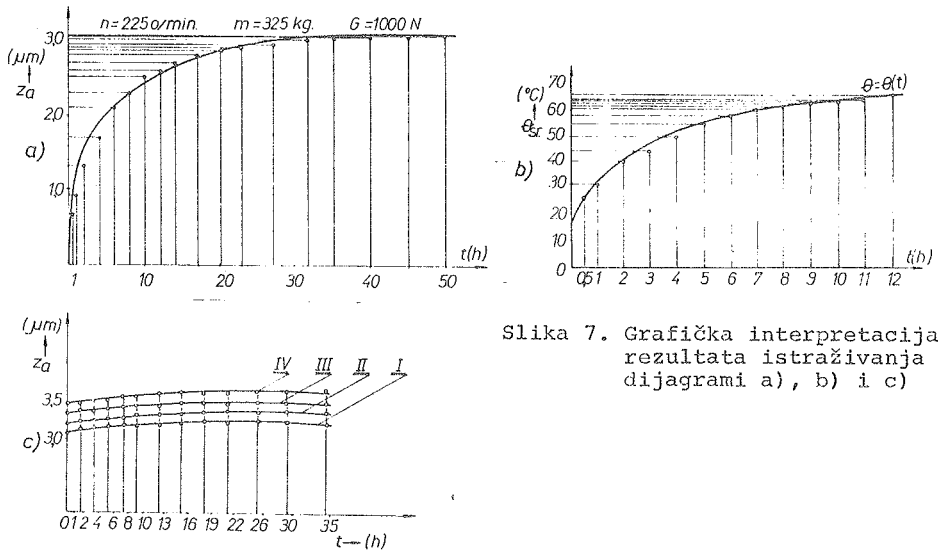
Tabela 1.

Radni uslovi	Etapae ispitivanja (faze)			
	I	II	III	IV
$n(\sigma/\text{min})$	400	710	225	225
$v(\text{m}/\text{min})$	40	71	225	225
$G(\text{N})$	1000	1000	1500	2000
vreme rada(h)	35	35	35	35

Tabela 2.

faze	Merene veličine			Proračunate veličine			
	$M_s(\text{J})$	$F_a(\text{N})$	$\theta_{st}(\text{°C})$	$M_t(\text{J})$	$M_r(\text{J})$	$\mu_e(-)$	$\eta(-)$
I	3,269	1731,4	62,1	2,755	0,514	0,048	0,848
II	3,352	1780,8	62,6	2,834	0,518	0,045	0,844
III	3,332	1768,6	62,2	2,815	0,517	0,046	0,843
IV	3,548	1871,4	63,1	2,977	0,571	0,0152	0,838

eksperimenta prve faze prikazani su na Slici 7. i to pod a) Dijagram rasta aksijalnog zazora z u funkciji rada vretena, pod b) Dijagram rasta temperature u zoni kontakta u funkciji vremena rada vretena i pod c) Dijagram promene zazora po etapama druge faze ispitivanja u funkciji eks-



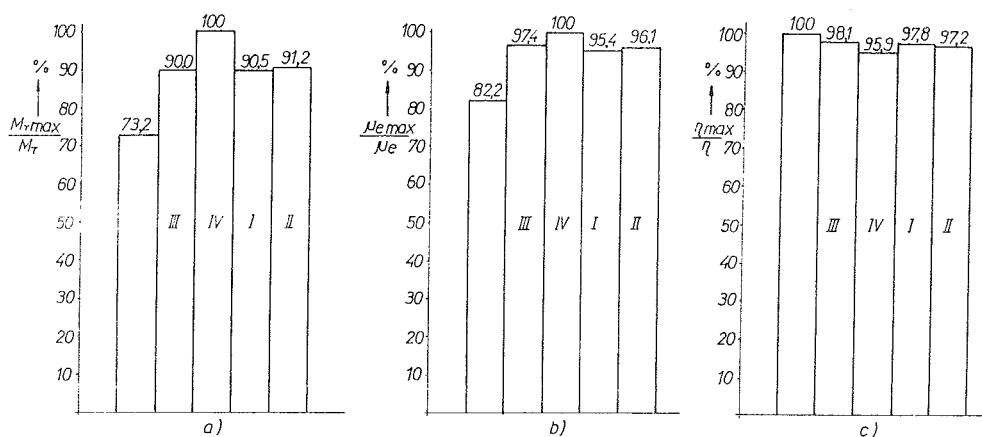
Slika 7. Grafička interpretacija rezultata istraživanja - dijagrami a), b) i c)

ploatacionih uslova koji su sa dobijenim vrednostima ostalih mernih i računskih veličina prikazani u Tabeli 2.

Utrošeni rad na savladjivanju sile trenja definisan momentom trenja $at(a)$, ekvivalentni koeficijent trenja (b) i stepen iskorišćenja (c) prikazani su uporedno histogramski po fazama eksperimenta na Slici 8.

Dobijeni rezultati preliminarnih istraživanja ukazuju na sledeće: Zapisi na mernom foto papiru su pokazali da kod prenosnika sa velikim zahtevima tačnosti pozicioniranja (sa sistemom dve navrtke), nastaju različite deformacije na prenosniku čiji je zbir ukupni aksijalni zazor, mera preciznosti prenosnika. Uočava se da vrednost deformacije obe navrtke nije simetrična za oba smera dejstva jednake ispitne sile F_v kod jednakih ostalih uslova i faktora. Takođe se može konstatovati da se pojava inicijalnog habanja uočava i da traje oko 30 sati neprekidnog rada, a zatim nastaje pojava ustaljenog habanja sa vrlo malom promenom ukupnog aksijalnog zazora.

Pri ispitivanju, merenju i proračunu momenta trenja između navojnog vretena i navrtki uočen je izrazito veliki uticaj brzine relativnog kretanja na rast momenta trenja.



Slika 8. Histrogrami M_t , μ_e i η po fazama i etapama ispitivanja

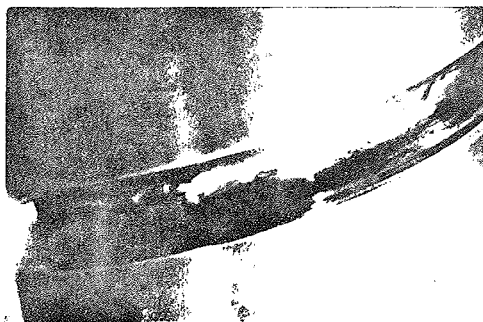
Ekvivalentni koeficijent trenja kreće se u granicama preporučenog za trenje kotrljanja (sa eventualnim delimičnim proklizavanjem) i raste sa porastom opterećenja i dužinom kontaktne staze kuglica pri zagrevanju u toku rada prenosnika.

Stepen iskorišćenja prenosnika je nešto manji od teorijskih vrednosti pa u cilju njegove optimizacije treba nastaviti istraživanja u pravcu uticaja na konstruktivne parametre (geometriju kotrljajnog spoja, ugao nagiba profila navoja, elemente za recirkulaciju kuglica) i smanjenje gubitaka na trenju (izbor optimalnih materijala vretena i navrtke, njihove termičke obrade i kvaliteta obradjene površine).

Temperatura u zoni kontakta je relativno niska i pri manjim opterećenjima (kakva su u eksperimentu primenjena), održava se u nivou od oko 70°C. Znatnim porastom opterećenja očekuje se nešto veći porast temperature u zoni kontakta.

5. ANALIZA PROCESA HABANJA NA KONTAKTNIM POVRŠINAMA ELEMENATA PRENOSNIKA NAVOJNIH VRETENA SA KUGLICAMA

Uziavajući u obzir sve uticajne faktore na kvalitativne, a posebno tribološke karakteristike navojnih vretena, može se zaključiti da se njihovim elementima javljaju sledeći mehanizmi habanja: Zamorno habanje, abrazivno habanje, atheziona habanje i tribohemijsko habanje. Dominantni mehanizam habanja na kontaktnim površinama elemenata prenosnika je zamorno habanje. Dalji redosled uticaja ostalih mehanizama habanja na ukupnu pohabanost prenosnika je: abrazivno, atheziona i vrlo malo izraženo tribohemijsko habanje.



Slika 9. Posledice zamornog habanja na navojnom vretenu



Slika 10. Početak tribohemijskog habanja navoja navrtke

Nekoliko karakterističnih slučajeva habanja navojnog vretena i navrtke prikazani su na Slikama 9. i 10. na fotografijama navojnog vretena sa kuglicama koje je duže vremena bilo u eksploataciji.

Kritičan element u prenosniku navojnom vretenu je navrtka sa elementima za recirkulaciju kuglica, jer se najviše habaju i prvi dostižu kritičnu pohabanost koja dovodi do nefunkcionisanja vretena. Mogućnost kvantifikacije pojedinih mehanizama habanja veoma je otežano, ali je moguće merenje ukupnog habanja sklopa preko merenja aksijalnog zazora što je u ovom radu i urađeno.

6. ZAKLJUČAK

U ovom radu je prikazan jedan deo sopstvenih istraživanja konstruktivnih i eksploatacionih karakteristika navojnih vretena sa kuglicama, preko određivanja parametara kvaliteta u eksploataciji. Cilj istraživanja bio je određivanje uticaja eksploatacionih uslova na kvalitet i optimizaciju konstruktivno tehnoloških parametara ovakvih navojnih vretena. Dobijeni rezultati su inicirali dalja istraživanja čiji je trend dobijanje korelacione povratne sprege između parametara kvaliteta (izlaz) i konstruktivno tehnoloških parametara (ulaz), navojnih vretena sa kuglicama, sa željom da dobijeni rezultati doprinesu osvajanju domaćeg proizvoda visokog nivoa kvaliteta.

7. LITERATURA

- /1/ Dr. Stigorić Branko, Teorija i tehnika merenja, Knjiga I, Naučna knjiga, Beograd, 1984.g.
- /2/ Dr. Urošević Sreten, Proizvodno mašinstvo, Knjiga I, Naučna knjiga, Beograd, 1984.g.
- /3/ Dr. Urošević Sreten, Mašine i procesi sa numeričkim automatskim upravljanjem, Tehnički fakultet, Predavanja na IV godini MO, Čačak, školske 1985/86.g.
- /4/ Dr. Ivković Branko, Osnovi tribologije u industriji prerade metala, Građevinska knjiga, Beograd, 1983.g.
- /5/ Ajvaz Vladimir, Merenje deformacija i naprezanja u strujnim i građevnim konstrukcijama, Tehnička knjiga, Zagreb, 1974.g.

21. SAVETOVANJE PROIZVODNOG STROJARSTVA JUGOSLAVIJE, OPATIJA, 1987.

PRILOG RAZVOJU TEHNOLOŠKIH STRUKTURA MONTAŽNIH SISTEMA

A CONTRIBUTION TO DEVELOPMENT OF TECHNOLOGICAL ASSEMBLY SYSTEMS STRUCTURES

I. Čosić Institut za industrijske sisteme, Fakultet tehničkih nauka,
Univerzitet u Novom Sadu, 21000 Novi Sad, Veljka Vlahovića 3,
Jugoslavija

Ključne reči:

Zahvat

Operacija

Slaganje dejstva
alata

Osnovno i
pomoćno vreme

Struktura sistema

Montažni sistem

SAŽETAK: U radu se izlažu mogućnosti slaganja dejstva alata i radnika montažera u procesima montaže što određuje osnovno vreme trajanja operacije. Pomoćna vremena mogu biti preklopljena međusobno kao i sa osnovnim vremenima što u rezultatu daje strukturnu formulu za oblikovanje tehnološke strukture sistema u montaži.

Key words:

- Grasp (Hold)
- Operation
- Superposition
of tools actions
- basic operation
and accessory
time
- structure of
system
- assembly system

ABSTRACT: The paper presents considerations of possibilities of tools actions and assembly workers superposition in assembly processes as factor that determines basic operation time. Accessory times can be mutually overlapped so as with basic operation times and this in result gives structured formula for designing technological structure of systems in assembly.

1. U V O D

Proces montaže predstavlja deo procesa proizvodnje u okviru koga se od sastavnih delova izradjuju složeni predmeti rada - proizvodi. Kako se kod najvećeg broja proizvodva, tipičnih za oblast mašinske tehnike, sastavni delovi ne ugradjuju direktno, već se najčešće spajaju u konačan proizvod u vidu predmontiranih sklopova, procesi montaže su u opštem slučaju veoma heterogeni, sastoje se od velikog broja neistovetnih parcijalnih procesa i stoga predstavljaju složene tehnološke procese. Ovakvi procesi se dele na proces završne montaže i veći broj procesa montaže sklopova (podsklopova) - predmontaže. Radni predmet završne montaže je proizvod, a radni predmeti predmontaže su sklopovi najrazličitije vrste.

Istraživanja vršena na Institutu za industrijske sisteme u Novom Sadu pokazuju da je učešće montaže u ukupnom vremenu izrade proizvoda značajno, i za različite programe proizvodnje iznosi:

- mašine alatke - 31%
- elektromotori - od 48,6-77%

- poljoprivredne mašine - 52,2%
- metalna galanterija - 34%

što ukazuje da procesima montaže treba posvetiti posebnu pažnju.

2. OSNOVNE TEHNOLOŠKE STRUKTURE

Dok je ranije struktura sistema za montažu proučavana u manjem obimu (uglavnom automatizovane montažne linije) danas se izbor strukture montažnih sistema sve više bazira na razmatranju zahvata i tokova procesa montaže. Sve veći zahtevi u pogledu produktivnosti doveli su do posloznejavanja struktura montažnih sistema sve do automatizovane protočne montažne linije u jednom ili više tokova.

Vreme trajanja ciklusa montaže je posledica usvojene strukture montažnih operacija i slaganja dejstava alata i radnika montažera unutar strukture, odnosno sistema prelaska objekta montaže sa operacije na operaciju unutar tehnološkog sistema u celini.

U zavisnosti od načina slaganja dejstava alata i radnika montažera, troši se različito osnovno vreme montaže. Ti sistemi slaganja dejstava alata i radnika montažera pri izvodjenju odredjenih zahvata, ili pak operacija na objektu montaže, nazivaju se osnovnom strukturom ili klasama montaže. Postoje tri osnovne strukture montaže i to:

- I osnovna struktura-klasa - redni način
- II osnovna struktura-klasa - redno-paralelni način
- III osnovna struktura-klasa - paralelni način slaganja dejstava alata i radnika montaže.a

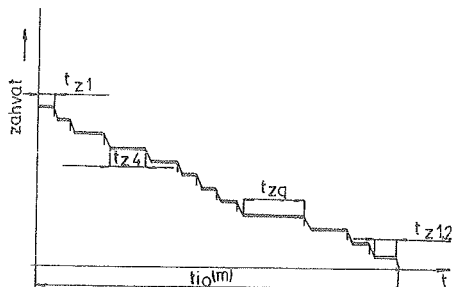
- Osnovna struktura I -

Ovaj sistem montaže karakterističan je po tome što ga obavlja jedan radnik montažer koji izvodi samo po jedan zahvat, tj. na celom objektu montaže se izvodi u datom trenutku samo jedan zahvat. Sledeći zahvat se izvodi tek nakon završetka prethodnog (odmah ili nakon izvesnog vremena). U svim slučajevima ukupno osnovno vreme montaže, koje je potrebno za izvodjenje jedne montažne operacije, jednako je zbiru vremena svih redno izvedenih zahvata.

Vremena pojedinih zahvata se označavaju sa t_{z_i} , pa se može napisati karakteristična formula I klase montaže pri izvodjenju "k" zahvata:

$$t_{i0}^{(m)} = t_{z_1} + t_{z_2} + t_{z_3} + \dots + t_{z_k} = \sum_{i=1}^{i=k} t_{z_i}$$

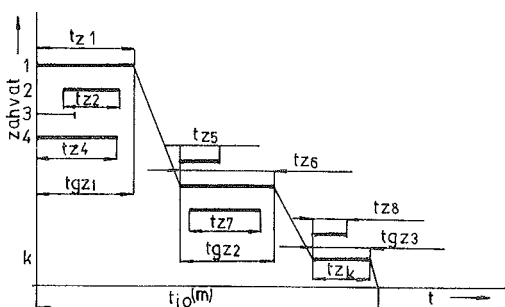
prema slici 1:



Slika 1. Redni postupak izvodjenja zahvata

- Osnovna struktura II -

Ovaj sistem slaganja dejstava alata i radnika montažera podrazumeva redno paralelni način dejstva. To znači da se zahvati u okviru jedne grupe zahvata (ili u pozicionom zahvatu) izvode paralelno dok se prelaz od jedne grupe na drugu grupu zahvata (ili od pozicionog zahvata na drugi pozicioni zahvat) izvodi redno. Grupom zahvata u ovom slučaju, naziva se skup zahvata koji se izvode istovremeno (paralelno) na jednom objektu montaže u jednoj poziciji, u okviru jedne montažne operacije i predstavlja jednu zasebnu celinu. To što se svi zahvati u okviru jedne grupe zahvata izvode paralelno ne mora da znači da oni istovremeno i počinju, nego da se svi moraju završiti u vremenu trajanja (izvodjenja) najdužeg zahvata u grupi, prema kojem se i određuje osnovno vreme montaže, a što se vidi i sa slike 2.



Slika 2. Redno-paralelni postupak izvodjenja zahvata

Karakteristika II osnovne strukture - klase montaže (kao i prethodne) je struktura osnovnog vremena spajanja. Za II klasu montaže vreme montaže u opštem vidu se određuje kao zbir najvećih zasebnih vremena zahvata u pojedinim grupama zahvata, ili pak pri višepozicionoj montaži kao zbir najvećih vremena pojedinih grupa zahvata u svakoj od pozicija

$$t_{i0}^{(m)} = (t_{z_{i1}})_{\max} + (t_{z_{i2}})_{\max} + \dots + (t_{z_{ig}})_{\max} = \sum_{i=1}^{i=k} (t_{z_{ig}})_{\max}$$

- Osnovna struktura III -

Ovaj sistem slaganja dejstava alata i radnika montažera, podrazumeva takvo dejstvo da svi alati i radnici montažeri deluju istovremeno. To znači da se svi zahvati koji se izvode na jednom objektu montaže, u okviru jedne operacije izvode istovremeno, tj. paralelno.

Prema tome, III klasom montaže smatramo svaki istovremeni rad nekoliko alata i radnika montažera u okviru jedne operacije u jednom toku pri sledećim uslovima:

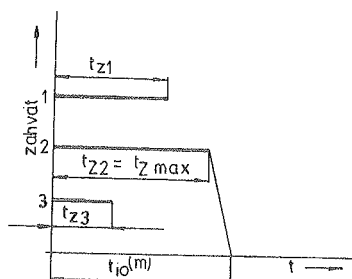
- .Montažna operacija se izvodi u jednoj poziciji a svi zahvati se izvode paralelno;
- .Montaža je višepoziciona. U svakoj poziciji (jednog toka) izvodi se samo jedan zahvat, broj pozicija je dve ili više i montaža se na svim pozicijama izvodi istovremeno;
- .Na višepozicionoj mašini, na nekim pozicijama paralelno se izvodi više zahvata i na svim pozicijama montaža se izvodi istovremeno. To je takodje III klasa

montaže pri kojoj se osnovno vreme spajanja određuje vremenom najvećeg pozicionog zahvata. Kako je pozicioni zahvat sam određen vremenom najdužeg zahvata, to će osnovno operativno vreme biti određeno vremenom onog zahvata u poziciji, čije izvođenje najduže traje;

.Na jednaprotlačnoj automatskoj liniji na svakoj mašini alati rade istovremeno, a i sve mašine rade istovremeno.

Prema svemu dosad rečenom sledi: karakteristika III osnovne strukture-klase montaže je struktura osnovnog vremena montaže (spajanja), koje je uvek ravno vremenu najvećeg pozicionog zahvata (pri višepozicionoj montaži) ili pri jednopozicionoj, ravno vremenu najvećeg zahvata alata ili radnika montažera (slika 3)

$$t_{io}^{(m)} = (t_{z_i})_{\max}$$



Slika 3.

3. POMOĆNE TEHNOLOŠKE STRUKTURE

Osnovni zahvati u montažnoj operaciji su u određenoj vezi sa pomoćnim zahvatima a svi skupa određuju operativno vreme. Kako su osnovne tehnološke strukture ili klase montaže određene izrazom za osnovno vreme montaže, to je način slaganja pomoćnih zahvata, koji se naziva pomoćnim tehnološkim strukturama ili grupama montaže, određen izrazom za pomoćno vreme.

Pomoćno vreme montaže se može izraziti u obliku:

$$t_{ip}^{(m)} = t_{pr} + t_{pb} + t_{pe} + t_{pev} + t_{pa} + t_{ps} + t_{ph}$$

gde je:

t_{pr} - zbirno zasebno vreme u operaciji utrošeno na ručno postavljanje i podešavanje pribora i alata, merenje i kontrolu

t_{pb} - vreme potrebno za postavljanje i pozicioniranje baznog elementa,

t_{pe} - ukupno vreme u operaciji potrebno za prinošenje svih elemenata, podsklopova ili sklopova koji se spajaju sa baznim elementom,

t_{pev} - ukupno vreme u operaciji potrebno za prinošenje elemenata pomoću kojih se ostvaruje veza baznog elementa i elemenata, podsklopova i sklopova koji se montiraju na bazni element,

t_{pa} - zbirno vreme u operaciji potrebno za uzimanje, prinošenje i odlaganje alata,

t_{ps} - vreme potrebno za skidanje objekta montaže,

t_{ph} - vreme praznih hodova, radnika montažera, priručnih alata i mašine.

Razvijajući dalje dati izraz za pomoćno vreme u smislu uvođenja vremena (τ) koje je preklapljeno drugim pomoćnim i osnovnim vremenima dobija se:

$$t_{ip}^{(m)} = t_{pr}^{\prime} - \tau_{pr} + t_{pb}^{\prime} + (a_{pb} - 1)t_b - \tau_{pb} + t_{pe}^{\prime} - \tau_{pe} + t_{pev}^{\prime} - \tau_{pev} + t_{pa}^{\prime} - \tau_{pa} + t_{ps}^{\prime} - \tau_{ps} + t_{ph}^{\prime} - \tau_{ph}$$

Gornji izraz određuje četiri pomoćne strukture (grupe) procesa montaže i to:

- Ako je $t_{pr}^{\prime} - \tau_{pr} \neq 0$ to su procesi grupe 0
- Ako je $t_{pr}^{\prime} - \tau_{pr} = 0$ to su procesi grupe 1
- Ako je $i: t_{pb}^{\prime} - \tau_{pb} + t_{ps} = 0$, to su onda procesi grupe 2
- Ako su u formuli preklapljena i vremena $t_{pe}^{\prime} - \tau_{pe} + t_{pev}^{\prime} - \tau_{pev} + t_{pa}^{\prime} - \tau_{pa} + t_{ph}^{\prime} - \tau_{ph} = 0$ to su onda procesi grupe 3.

4. SLAGANJE OSNOVNIH I POMOĆNIH TEHNOLOŠKIH STRUKTURA U JEDNOPROTOČNIM PROCESIMA MONTAŽE

Struktura operacije jednoprotičnog procesa zavisi od slaganja pomoćnih zahvata, definisanih strukturom pomoćnog vremena $t_{ip}^{(m)}$ i osnovnih zahvata definisanih strukturom osnovnog vremena montaže $t_{io}^{(m)}$. Ovakvi sistemi slaganja osnovnih struktura (klasa) sa pomoćnim strukturama (grupama) montaže, imaju za cilj oblikovanje takvih struktura počev od niskoproizvodnih ka visoko proizvodnim, kako po klasama, tako i po grupama montaže.

Kada govorimo o visokoproizvodnim procesima u poredjenju sa nižeproizvodnim, podrazumeva se da operativno vreme ($t_{op}^{(m)}$) visokoproizvodnog procesa mora biti manje, od niskoproizvodnog pri jednakim drugim uslovima. To znači da se poredjenje vrši za jednake uslove montaže, pri jednakim vremenima osnovnih zahvata i jednakim vremenima za pomoćne zahvate, posmatrane odvojeno. Znači da će se proizvodnost povećavati ($t_{op}^{(m)}$) (smanjivati) pri prelazu sa nižih na visokoproduktivne vrste i metode montaže, ne zbog skraćivanja vremena pojedinih elemenata procesa, već zbog kombinovanja pomoćnih i osnovnih zahvata, tj. njihovih vremena.

U narednoj tabeli prikazane su pojedine strukture jednoprotičnih procesa. Može se uočiti da postoji ukupno 21 struktura jednoprotičnih montažnih procesa.

Primećuje se skokovita promena i razlika medju procesima. Npr. prelaz iz grupe 1 u grupu 2. Ma koliko se smanjivala vremena postavljanja baznog elementa (t_{pb}) i skidanja objekta montaže (t_{ps}) proces ostaje u grupi 1 sve dok ne nastupi trenutak kada je: $t_{pb} + t_{ps} = 0$. To znači da proces dobija novi kvalitet, jer prelazi iz stacionarnog u tekući proces montaže. Slično se objašnjavaju i drugi skokovi pri promeni osobina procesa, pri promeni grupe.

Po klasama skokovita promena se dešava svaki put kada počinje složenije dejstvo alata ili radnika montažera.

Prikazane strukture su opšteg karaktera jer se odnose na razne načine i vrste vezivanja elemenata i u okviru jedne operacije, što daje mogućnosti da se primene pri projektovanju konkretnih montažnih sistema, različitog stepena složenosti, gde je često potrebno konstruisati montažne sisteme principijelno novih šema montaže.

Izbor varijante strukture se vrši na osnovu niza kriterijuma (slika:4,5) što je predmet daljih istraživanja u ovoj oblasti.

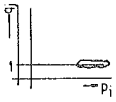
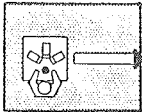
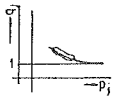
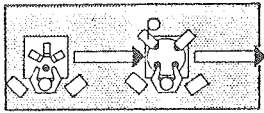
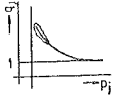
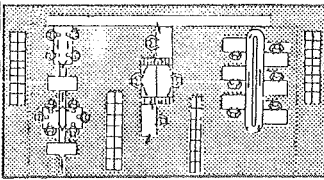
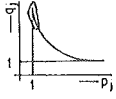
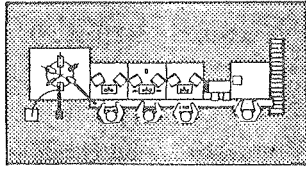
Tabela 1. Strukturna tablica jednoprotočnih procesa (E_1)

Pomoćna struktura	Pomoćna	NAZIV PROCESA	STRUKTURNE FORMULE OPERATIVNOG VREMENA $t_i^{(m)}$ op		
			OSNOVNA STRUKTURA I REDNI	OSNOVNA STRUKTURA II REDNO-PARALELNI	OSNOVNA STRUKTURA III PARALELNI
0	a ₁	Jednoprotočni sa postojanjem $t_{pr}; t_{pb}; t_{pe}$ $t_{pev}; t_{pa}; t_{ps}; t_{ph}$ Jednopolicični, prekidni	$t_{pr}^{+}t_{pb}^{+}t_{pe}^{+}t_{pev}^{-}t_{pev}^{+}$ $t_{pa}^{-}t_{pa}^{+}t_{ps}^{-}t_{ps}^{+}t_{ph}^{-}$ t_{ph}^{-} t_{z_i}	$t_{pr}^{+}t_{pb}^{+}t_{pe}^{-}t_{pe}^{+}t_{pev}^{-}$ $t_{pev}^{+}t_{pa}^{-}t_{pa}^{+}t_{ps}^{-}t_{ps}^{+}$ t_{ph}^{-} t_{z_i}	$t_{pr}^{+}t_{pb}^{+}t_{pe}^{-}t_{pe}^{+}t_{pev}^{-}$ $t_{pev}^{+}t_{pa}^{-}t_{pa}^{+}t_{ps}^{-}t_{ps}^{+}$ t_{ph}^{-} t_{z_i}
	a ₂	Jednoprotočni sa postojanjem $t_{pr}; t_{pb}; t_{pe}; t_{pev}; t_{pa}; t_{ps}; t_{ph}$ Višepolicični, prekidni	$t_{pr}^{+}t_{pb}^{+}(a_{pb}-1)t_{pe}^{+}t_{pe}^{-}$ $t_{pe}^{+}t_{pev}^{-}t_{pev}^{+}t_{pa}^{-}t_{pa}^{+}$ $t_{ps}^{-}t_{ps}^{+}t_{ph}^{-}t_{ph}^{+}$ t_{z_i}	$t_{pr}^{+}t_{pb}^{+}(a_{pb}-1)t_{pe}^{+}t_{pe}^{-}$ $t_{pe}^{+}t_{pev}^{-}t_{pev}^{+}t_{pa}^{-}t_{pa}^{+}$ $t_{ps}^{-}t_{ps}^{+}t_{ph}^{-}t_{ph}^{+}$ t_{z_i}	$t_{pr}^{+}t_{pb}^{+}(a_{pb}-1)t_{pe}^{+}t_{pe}^{-}$ $t_{pe}^{+}t_{pev}^{-}t_{pev}^{+}t_{pa}^{-}t_{pa}^{+}$ $t_{ps}^{-}t_{ps}^{+}t_{ph}^{-}t_{ph}^{+}$ t_{z_i}
1	a ₁	Jednoprotočni, sa preklapljenim: t_{pr} Jednopolicični, prekidni	$t_{pb}^{+}t_{pe}^{-}t_{pe}^{+}t_{pev}^{-}t_{pev}^{+}$ $t_{pa}^{-}t_{pa}^{+}t_{ph}^{-}t_{ph}^{+}$ t_{z_i}	$t_{pb}^{+}t_{pe}^{-}t_{pe}^{+}t_{pev}^{-}t_{pev}^{+}$ $t_{pa}^{-}t_{pa}^{+}t_{ph}^{-}t_{ph}^{+}$ t_{z_i}	$t_{pb}^{+}t_{pe}^{-}t_{pe}^{+}t_{pev}^{-}t_{pev}^{+}$ $t_{pa}^{-}t_{pa}^{+}t_{ph}^{-}t_{ph}^{+}$ t_{z_i}
	a ₂	Jednoprotočni sa preklapljenim: t_{pr} Višepolicični, prekidni	$t_{pb}^{+}(a_{pb}-1)t_{pe}^{+}t_{pe}^{-}t_{pe}^{+}$ $t_{pev}^{+}t_{pev}^{-}t_{pa}^{-}t_{pa}^{+}$ $t_{ph}^{-}t_{ph}^{+}$ t_{z_i}	$t_{pb}^{+}(a_{pb}-1)t_{pe}^{+}t_{pe}^{-}t_{pe}^{+}$ $t_{pev}^{+}t_{pev}^{-}t_{pa}^{-}t_{pa}^{+}$ $t_{ph}^{-}t_{ph}^{+}$ t_{z_i}	$t_{pb}^{+}(a_{pb}-1)t_{pe}^{+}t_{pe}^{-}t_{pe}^{+}$ $t_{pev}^{+}t_{pev}^{-}t_{pa}^{-}t_{pa}^{+}$ $t_{ph}^{-}t_{ph}^{+}$ t_{z_i}
2	a ₁	Jednoprotočni sa preklapljenim: $t_{pr}; t_{pb}; t_{ps}$ Jednopolicični, prekidni	$t_{pe}^{-}t_{pe}^{+}t_{pev}^{-}t_{pev}^{+}t_{pa}^{-}$ $t_{pa}^{+}t_{ph}^{-}t_{ph}^{+}$ t_{z_i}	$t_{pe}^{-}t_{pe}^{+}t_{pev}^{-}t_{pev}^{+}t_{pa}^{-}$ $t_{pa}^{+}t_{ph}^{-}t_{ph}^{+}$ t_{z_i}	$t_{pe}^{-}t_{pe}^{+}t_{pev}^{-}t_{pev}^{+}t_{pa}^{-}$ $t_{pa}^{+}t_{ph}^{-}t_{ph}^{+}$ t_{z_i}
	a ₂	Jednoprotočni sa preklapljenim: $t_{pr}; t_{pb}; t_{ps}$ Višepolicični, prekidni	$(a_{pb}-1)t_{pe}^{+}t_{pe}^{-}t_{pe}^{+}t_{pev}^{-}$ $t_{pev}^{+}t_{pa}^{-}t_{pa}^{+}t_{ph}^{-}t_{ph}^{+}$ t_{z_i}	$(a_{pb}-1)t_{pe}^{+}t_{pe}^{-}t_{pe}^{+}t_{pev}^{-}$ $t_{pev}^{+}t_{pa}^{-}t_{pa}^{+}t_{ph}^{-}t_{ph}^{+}$ t_{z_i}	$(a_{pb}-1)t_{pe}^{+}t_{pe}^{-}t_{pe}^{+}t_{pev}^{-}$ $t_{pev}^{+}t_{pa}^{-}t_{pa}^{+}t_{ph}^{-}t_{ph}^{+}$ t_{z_i}
3	a ₂	Jednoprotočni sa preklapljenim: $t_{pr}; t_{pb}; t_{pe}; t_{pev}; t_{pa}; t_{ps}; t_{ph}; t_{ps}$ Višepolicični, prekidni	t_{z_i}	t_{z_i}	t_{z_i}

5. ZAKLJUČAK

Razvoj osnovnih i pomoćnih struktura montažnih sistema čija je osnova slaganje dejstava alata i radnika montažera u okviru montažne operacije gde se pomoćna vremena kao osnovi pomoćnih struktura mogu da preklapaju ili ne i na taj način utiču na operacionu ciklus, omogućuje projektovanje sistema u montaži prema osnovnim zahtevima montažne operacije.

Strukturne formule datih struktura od jednoprotočnih E_1 , preko višeprotočnih E_2 do višeprotočnih sa pomerenim fazama E_3 , mogu poslužiti projektantima i konstruktorima sistema u montaži za konstruisanje takvih sistema, koja odstupaju od standardnih a omogućuju ostvarenje predviđenih izlaznih veličina.

PREKIDNI TOKOVI	1.1.		$k_{ser} \leq 1$ $\sum_i (\sum_j q_j^{(i)} t_j^{(i)}) \leq Ke$	
	1.2.		$k_{ser} > 1$ $T_i \leq Ke$ -na većem delu od m - operacija $T_i \leq Ke$	
NEPREKIDNI TOKOVI	2.1.		$T_{max} \leq Ke$ -na većem delu od m - operacija $T_i \geq Ke$	
	2.2.		$T_{min} = Ke$ \dots $t_1 \quad t_2 \quad t$	

UNIVERZALNOST, FLEKSIBILNOST, KVALITET RADA

UČINAK, KVALITET, HOMOGENOST

Slika: 5.

6. LITERATURA

- [1] Zelenović, D., Proizvodni sistemi, Naučna knjiga, Beograd, 1987.
- [2] Zelenović, D., THE CONTRIBUTION TO THE INVESTIGATION OF CONDITIONS FOR THE ESTABLISHMENT OF THE GENERAL MODEL OF MATERIAL FLOWS OF PRODUCTION SYSTEM IN METAL-WORKING INDUSTRY, The 4-th, International conference du Production research, Tokio, Japan.
- [3] Zelenović, D., Čosić, I., Strukturiranje proizvoda - podloga za projektovanje proizvodnih sistema, PPS'77, Novi Sad, 1977.
- [4] Чарно, Д.В., ОСНОВИ ВЫБОРА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ, Москва, 1963.
- [5] Sekulić, St. S., Tehnološke strukture procesa obrade IIS crvene sveske, 6 FTN, Novi Sad, 1986.
- [6] Čosić, I., Prilog istraživanju struktura montažnih sistema u uslovima opšteg modela proizvodnih sistema, magistarski rad, FTN, Novi Sad, 1979.

Predmet PR, u općem slučaju, može biti: energija, materija ili informacija. Znatno složeniji je proizvodni sistem (PS) koji djeluje na objekt TS što se opisuje proizvodnim procesom. Podsystem TS sadrži više manjih sistema RS.

Proizvod je rezultat proizvodnog procesa PS, koji također može biti: energija, materija ili informacija. Kvalitet proizvoda je jedna od njegovih bitnih karakteristika. Loš ili nizak kvalitet proizvoda je posljedica pojave izvjesne greške proizvodnog procesa. Analiza grešaka proizvodnog procesa može omogućiti formiranje informacijskog sistema o kvalitetu proizvoda čije se informacije mogu koristiti kao upravljačke akcije u izvjesnom Sistemu za upravljanje kvalitetom.

Polazeći od ovih saznanja, koja su već ranije iznijeta, autor je prvo predložio Idejni projekt a zatim ga je primjenio na procese RO PIPNO *).

2. Vrste grešaka

Greške proizvodnog procesa od kojih zavisi kvalitet proizvoda nastaju u podsystemu TS dok ostale greške izlaze iz ovih razmatranja. Kako ovaj podsystem sadrži veći broj manjih sistema RS to kvalitet proizvoda zavisi i od grešaka ovih sistema. Među različitim greškama sistema RS za kvalitet proizvoda su bitne greške sistema RS(0) dok ostale greške također izlaze iz domena ovih razmatranja. Kvalitet proizvoda određuju samo greške predmeta PR dok greške ostalih objekata ovog sistema nisu ovdje bitne.

Greške predmeta PR mogu se podijeliti prema: mogućnostima eliminiranja (djelomično ili potpuno): 1. popravljive i 2. nepopravljive), nosiocima (energiji, materiji ili informacijama) i tdkovima procesa (na: ulazu, u procesu ili na izlazu procesa).

3. Nosioći grešaka

Veličina greške proizvodnog procesa zavisi od nosioca greške. Energetski nosioći grešaka u metalnoj industriji obično su: 1. istosmjerna električna energija, 2. kinetička energija. Materijalizirani nosioći grešaka obično su: 1. poluproizvodi i 2. gotovi poluproizvodi, 3. gotovi sklopovi i 4. gotovi proizvodi. Konačno informatizirani nosioći informacija u metalnoj industriji su obično: 1. crteži ili 2. elaborati, 3. uputstva za upotrebu, 4. servisne knjige i 5. knjige rezervnih dijelova, 6. tehnološki postupak, 7. radni nalog.

Izgleda da su najmanji troškovi kod informatiziranih nosilaca grešaka, njihove greške su uglavnom djelomično popravljive. Nešto veći sutroškovi energetskih nosilaca koji mogu biti djelomično nepopravljivi ili popravljivi. Najveći su troškovi, čini se, kod materijaliziranih nosilaca grešaka čije su greške ili djelomično popravljive ili djelomično nepopravljive ili potpuno nepopravljive.

4. Greške tokova procesa

Mogućnost ispravke greške proizvodnog procesa zavisi od toga da li je ona uočena:

1. na ulazu u proces, 2. u samom procesu ili 3. na izlazu iz proizvodnog procesa. Greške uočene na ulazu u proces uglavnom su djelomično popravljive. Greške uočene u procesu mogu biti raznovrsne: djelomično i potpuno popravljive ili nepopravljive, dok greške na izlazu iz procesa mogu biti djelomični ili potpuno popravljive.

Naravno, najlakše se uklanjaju greške na ulazu u proces i u dobro organiziranim pogo-

* Prikupljanje podataka omogućili su: D.Šnajder, M.Poljak, dipl.inž. i V.Orešković, dipl.inž.

nima gotovo da ih nema. Nešto teže se uklanjaju greške na izlazu iz procesa jer su najčešće već materijalizirane u predmetu. Ipak, pažljivom kontrolom na izlazu iz procesa može se puno učiniti za kvalitet proizvoda i ugled proizvođača. Najteže se uklanjaju greške u procesu koje mogu biti pravi proizvodni problemi. Tu je potreban najveći oprez jer se troškovi može sa svakim proizvedenim predmetom.

5. Model označavanja grešaka

Koristeći pomenuto razlikovanje grešaka proizvodnog procesa postavljen je model označavanja grešaka u metalnoj industriji. Kako ovaj model ne bi opet bio "knjiga za ladicu" izraden je Postupak označavanja koji se može lako razumjeti i veoma jednostavno primjeniti. Postupak obuhvaća slijedećih 8 tabela za greške [4]: U-2 na ulazu u radne sisteme izrade poluproizvoda ili montaže proizvoda, PO-2 u procesima oblikovanja poluproizvoda (lijevanje, sintezovanje i td.), PD-2 u procesima deformiranja poluproizvoda (valjanje, kovanje i td.), PS-2 u procesima odvajanja (tokarenje, rastavljanje i td.), PM-2 u procesima sastavljanja proizvoda (ulaganje, zavarivanje i td.), PN-2 u procesima nanošenja (navarivanje, bojadisanje i td.), PT-2 u toplinsko-kemijskim procesima (kaljenje, cementiranje i td.) kao i I-2 na izlazu iz radnih sistema izrade poluproizvoda i montaže proizvoda.

Izradeni Postupak omogućava lako označavanje grešaka koje su evidentirane u slijedećim dokumentima 1. Prijava greške (detaljan opis uočene greške sa evidentiranim uzročnikom greške), 2. Izvještaj ulazne, procesne ili izlazne kontrole (vrsta i veličina greške) kao i 3. Izvještaj o sanaciji (rekapitulacija normiranog vremena i sanator greške). Na osnovu ovih dokumenata vrši se označavanje greške koja se zajedno sa izračunatim troškovima sanacije unosi u novi formular "List oznake greške". Na slici 1. prikazan je algoritam označavanja grešaka, koji je zasnovan na slijedećim fazama: 1. uočavanje greške, 2. identifikacija greške i 3. popunjavanje "Lista oznake greške". Primjena pomenutog Modela provjerena je na uzorku uredno evidentiranih grešaka u RO PIPNO, nastalih u 1985. godini.

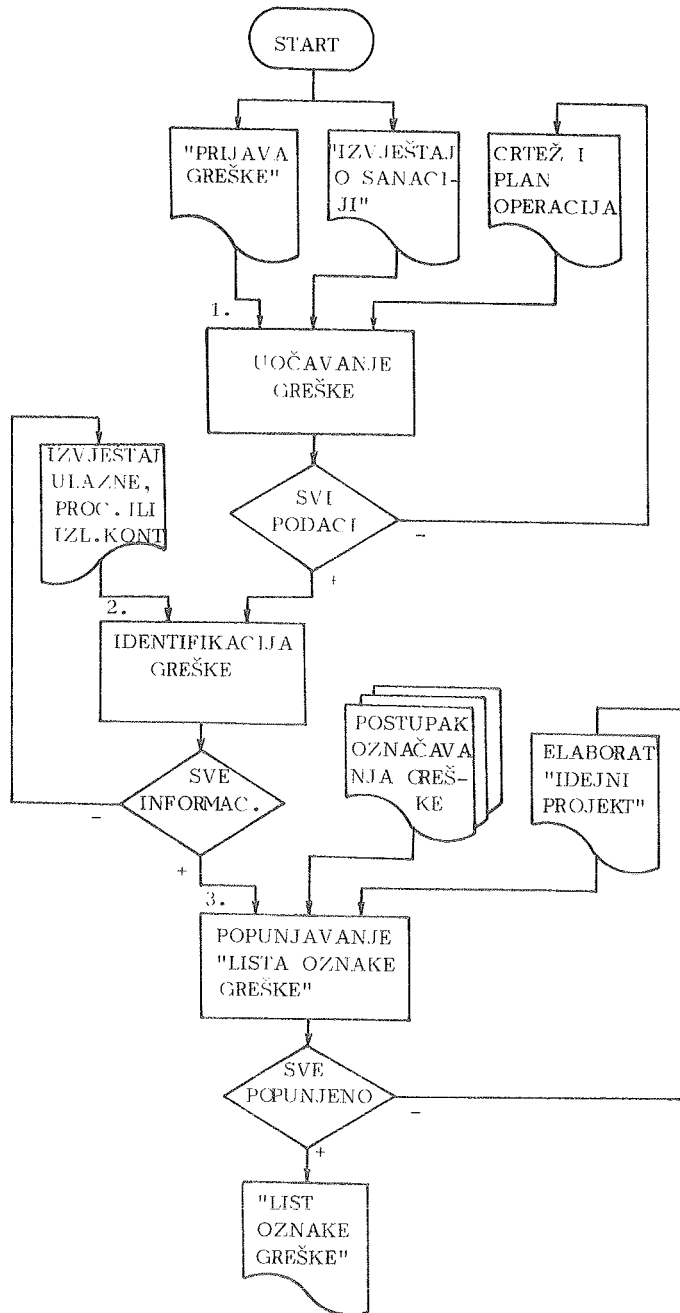
6. Dobiveni rezultati

Primjenjujući dobiveni model kao i izradeni Postupak dobiveni su rezultati u analizama grešaka prema: 1. broju prijava, 2. utrošenom normiranom vremenu, 3. utrošenoj masi materijala, 4. troškovima za utrošeno vrijeme, 5. troškovima za masu materijala kao i 6. ukupnim troškovima.

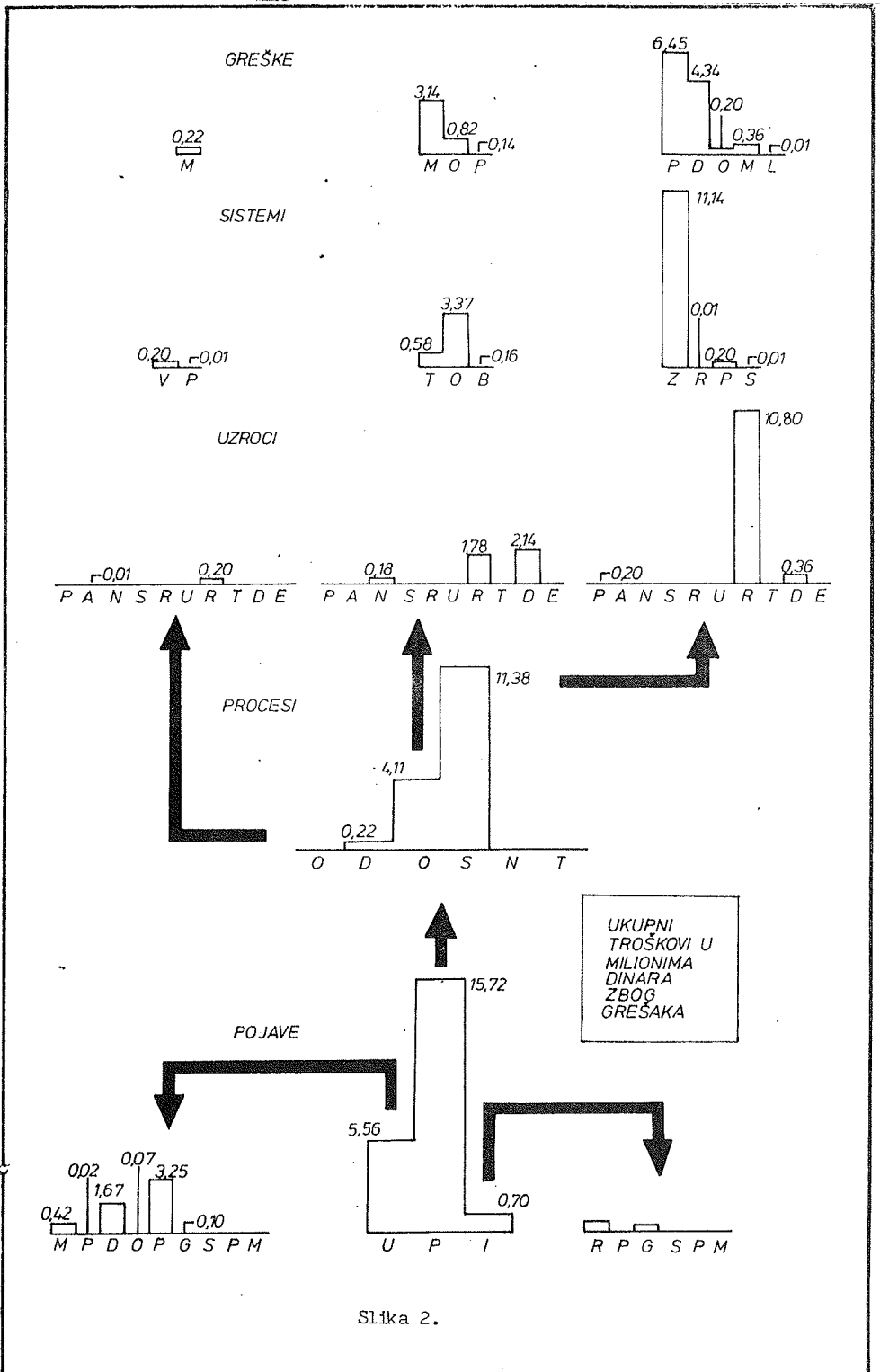
Ukupni troškovi za otklanjanje i saniranje grešaka imaju slijedeću podjelu:

5 560 735	na ulazu
15 722 162	u procesima i
<u>709 372</u>	na izlazu
21 992 269	din, ukupno.

Detaljniji prikaz ovih troškova dat je na slici 2. Najveći troškovi na ulazu (3 252 866 din) nastaju zbog neodgovarajućih mjera poluproizvoda (simbol P), a najveći troškovi na izlazu (467 280 din) nastaju zbog neodgovarajuće trajnosti reprodukcijskog materijala (R). Najveći su troškovi (11 382 490 din) u procesima sastavljanja (S), koji nastaju najviše (10 807 840 din) zbog nepažnje radnika (R), najčešće (11 148 920 din) u procesima zavarivanja topljenjem (Z) a uglavnom (6 450 260 din) zbog pukotina u zavaru (P).



Slika 1.



Slika 2.

Troškovi za utrošeno vrijeme za otklanjanje i saniranje grešaka imaju slijedeću raspodjelu:

3 222 435	na ulazu
15 050 936	u procesima i
<u>515 760</u>	na izlazu
18 789 131	din, ukupno.

Detaljniji prikaz ovih troškova dat je na slici 3. Najveći troškovi na ulazu (2 994 735 din) nastaju također zbog neodgovarajućih mjera poluproizvoda (P), a najveći troškovi na izlazu (287 280 din) nastaju zbog neodgovarajuće trajnosti gotovog poluproizvoda (G). Najveći su troškovi (10 850 320 din) opet u procesima sastavljanja (S), koji nastaju najviše (163 755 din) zbog nepažnje radnika (R) najčešće (10 788 136 din) u procesima zavarivanja topljenjem (Z), a uglavnom (5 996 180 din) zbog pukotina u zavaru (P).

Troškovi materijala nastali zbog saniranja grešaka imaju slijedeću raspodjelu:

2 338 300	na ulazu ,
671 226	u procesima i
<u>193 612</u>	na izlazu
3 203 138	din, ukupno.

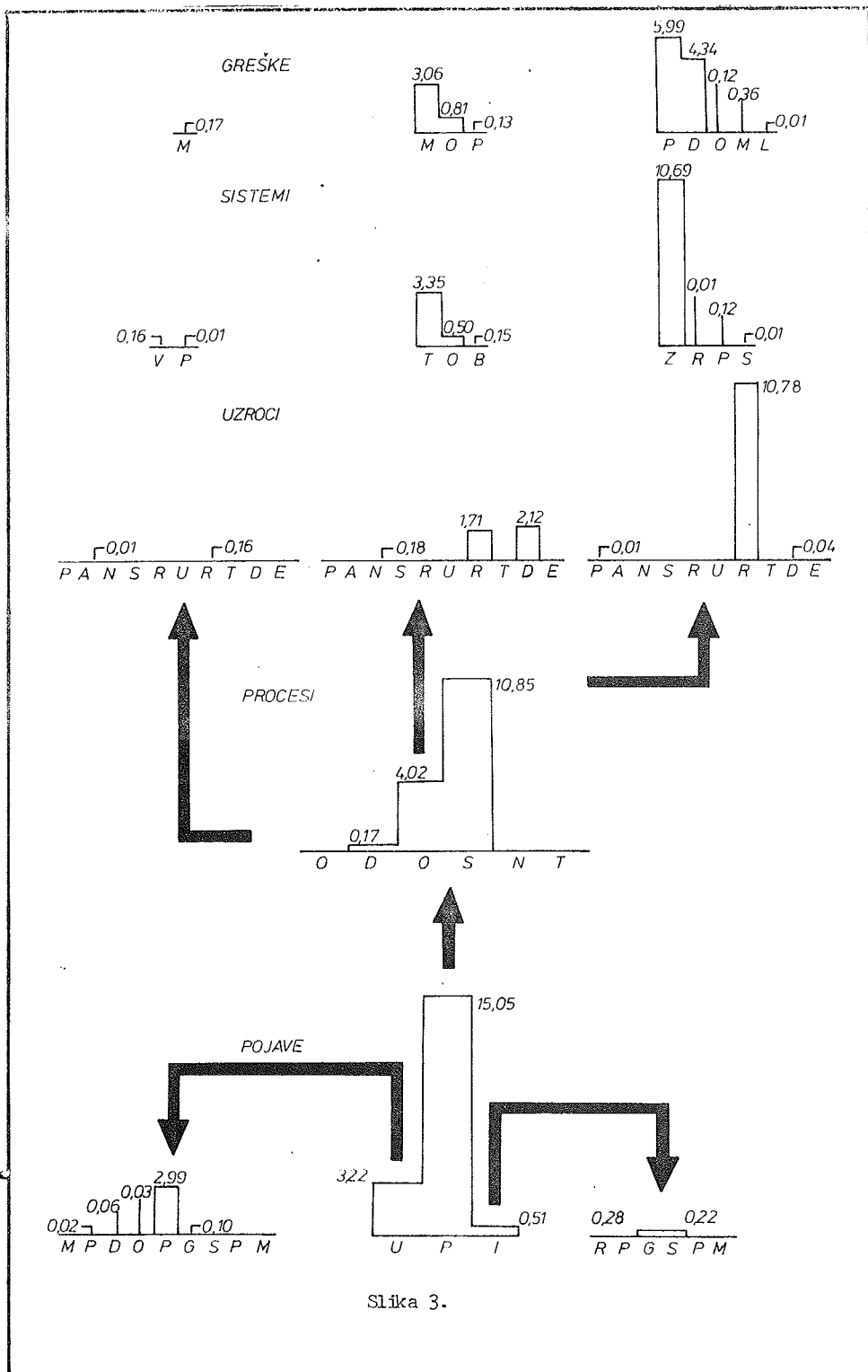
Najveći troškovi na ulazu (1 607 288 din) nastaju zbog dvoplatnosti reprodukcijskog materijala (D), a najveći troškovi na izlazu (180 000 din) nastaju zbog neodgovarajuće trajnosti gotovog poluproizvoda (G). Najveći su troškovi (532 170 din) opet u procesima sastavljanja (S), koji nastaju najviše (41 400 din) zbog nepažnje radnika (R), najčešće (454 080 din) u procesima zavarivanja topljenjem (Z) a uglavnom (454 080 din) zbog pukotina u zavaru (P).

7. Zaključci

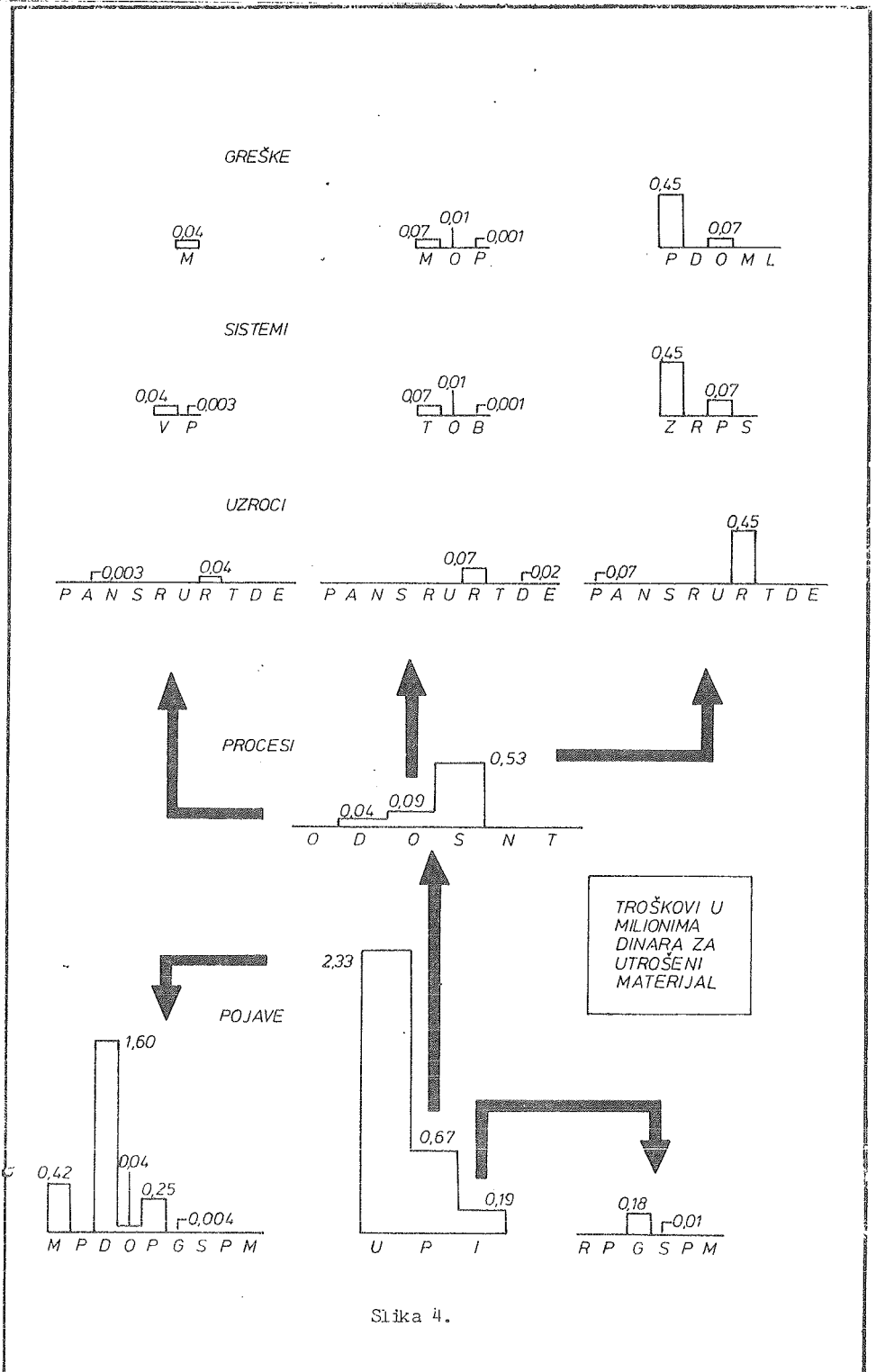
Provođenje analize grešaka proizvodnog procesa omogućilo je izradu Modela označavanja grešaka čija se primjena olakšava uz izradeni Postupak označavanja. Provjera dobivenih rješenja, na jednom konkretnom uzorku proizvodnih procesa u RO PIPNO, dala je rezultate koji omogućavaju formuliranje slijedećih osnovnih upravljačkih akcija: 1. treba poboljšati kontrolu procesa (71,5% ukupnih troškova i 80% troškova vremena) a naročito u procesima sastavljanja (81,1% ukupnih troškova), 2. treba uticati na smanjenje nepažnje radnika pri radu (95,6% ukupnih troškova), naročito u procesima zavarivanja topljenjem (98,2% ukupnih troškova) jer se javljaju znatni troškovi zbog pukotina u zavaru (56,6% ukupnih troškova), 3. treba poboljšati i ulaznu kontrolu (25,1% ukupnih troškova zbog neodgovarajućih mjera poluproizvoda (58,1% ukupnih troškova). Naravno, pored ovih osnovnih akcija analiza daje i čitav niz drugih akcija, koje treba selektirati i respektivno provoditi.

LITERATURA

- [1] B.Popović, B.Kamberović, Upravljanje kvalitetom proizvoda, Naučna knjiga, Beograd (1985.)
- [2] B.Popović, Idejni projekt informacijskog sistema za kvalitetu proizvoda u SOUR-u "D.Đaković", Institut za strojarstvo-Strojarski fakultet, Slavonski Brod (1985.) 1-89
- [3] B.Popović, B.Kamberović, Mjerenje i kontrola geometrije proizvoda, Naučna knjiga, Beograd (1986.)
- [4] B.Popović, Primjer primjene idejnog projekta informacijskog sistema za kvalitetu proizvoda u SOUR-u "D.Đaković", Institut za strojarstvo-Strojarski fakultet, Slavonski Brod (1981.) 1-58



Slika 3.



21. SAVETOVANJE PROIZVODNOG STROJARSTVA JUGOSLAVIJE, OPATIJA, 1987.

OPTIMIZACIJA POSLOVANJA SA SREDSTVIMA ZA HLADJENJE I PODMAZIVANJE
OPTIMIZATION OF THE APPLICATION OF METALWORKING FLUIDS

Š.Vasiljević Mašinski fakultet Kragujevac, Univerzitet "S.Marković"
M.Babić 34000 Kragujevac, Jugoslavija

Ključne reči : SAŽETAK: U radu su izloženi rezultati analize poslovanja sa sredstvima za hlađenje i podmazivanje (SHP) u jednoj domaćoj radnoj organizaciji. Optimizacija i modeliranje ekonomskih efekata izmena u poslovanju sa SHP izvršeno je na računaru korišćenjem odgovarajućih programa i tribološke banke podataka.

SHP
Troškovi
Tribologija
Optimizacija

Key Words : ABSTRACT: Presented in the paper are the results of an analysis of the application of metalworking fluids in a one factory. Optimization and modelling of the economic effects of the changes in the application of metalworking fluids have been performed on a digital computer, making use of a tribological data bank.

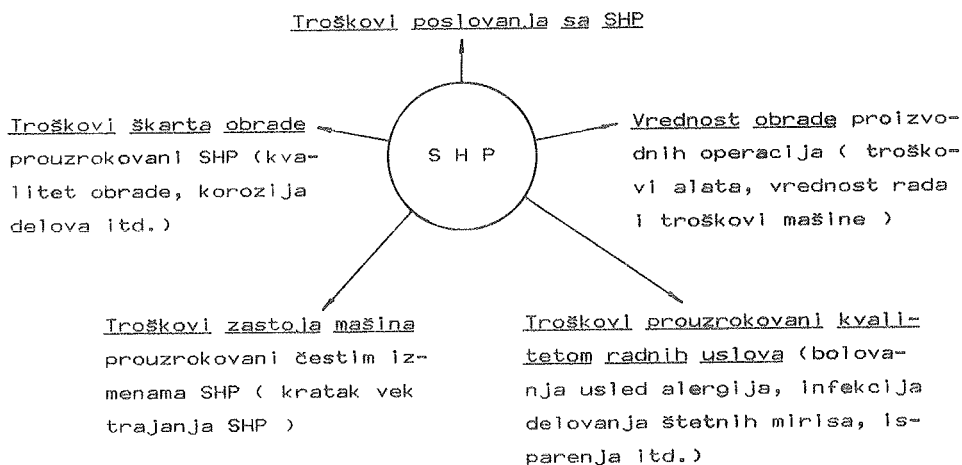
Metalworking fluids
Costs
Tribology
Optimization

1. Uvod

Poslovanje sa sredstvima za hlađenje i podmazivanje je po obimu poslova relativno skroman ali veoma značajan segment ukupnog poslovanja. Uloga koju SHP imaju u ostvarivanju tehnoloških zahteva proizvodne operacije i ublažavanju intenzivnih triboloških procesa u obradi metala mora se sagledati kompleksno, zajedno sa svim negativnim efektima koji sa prvenstveno ogledaju u sve većim troškovima poslovanja sa SHP i nesumljivo štetnom delovanju na radnike i čovekovu okolinu. U domaćoj metaloprerađivačkoj industriji se poslovanju sa SHP posvećuje minimalna pažnja tako da ono predstavlja veliki izvor nepotrebnih troškova, što se može uz više pažnje i skromna ulaganja značajno smanjiti.

Pri optimizaciji poslovanja sa SHP mora se uvek imati na umu kompleksnost problematike. Nemoguće je troškove poslovanja sa SHP posmatrati izdvojeno od ostalih zavisnih troškova. Na slici 1 su prikazani osnovni elementi si-

stema u okviru koga se mora vršiti analiza troškova. Samo integralan pristup ovoj složenoj problematici, a ne odlučivanje na osnovu troškova pojedinih elemenata sistema, što je najčešći slučaj, može dati rezultate i obezbediti odgovarajuće uštede.

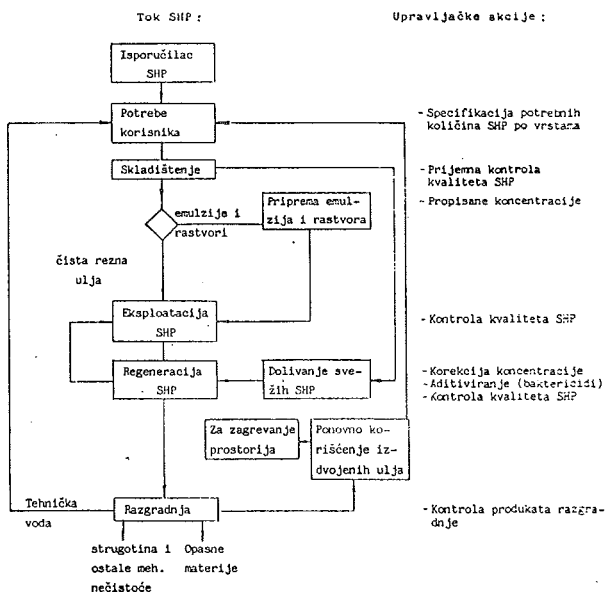


Sl.1. Sistem u okviru koga se vrši optimizacija poslovanja sa SHP

Značajnu komponentu izloženog pristupa čine tribološke karakteristike SHP. Eksperimentalno utvrđivanje triboloških karakteristika SHP u kombinaciji sa formiranim modelom i odgovarajućim programima predstavljalo je osnov za optimizaciju poslovanja sa SHP. Biološko - ekološki aspekt primene SHP je takodje veoma značajan. U zavisnosti od strogosti zakonskih propisa, a pre svega od mere u kojoj se propisi i poštuju, zavise u mnogome i ukupni troškovi. Pozitivan trend zaosttravanja zakonskih propisa i kontrole, što je poslednjih godina kod nas sve izraženije, zasnovan je na činjenici da SHP predstavlja jedan od značajnih zagadjuvača vodenih tokova, usled velikih količina koje se u industriji svakodnevno koriste. Zakonski propisi, vrsta SHP i uslovi eksploatacije značajno utiču na ukupni nivo troškova poslovanja i moraju se uzimati u obzir kod izbora vrste i koncentracije SHP. Složenost problematike poslovanja sa SHP značajno otežava i komplikuje ekonomsku analizu i optimizaciju. Priroda problema sa kojima se susrećemo i mnoštvo faktora koje treba kvantificirati i uključiti u matematički model zahteva odredjena grupisanja i selekciju. Pri formiranju i grupisanju neophodnih podataka za izračunavanje troškova pojedinih elemenata sistema, prikazanog na slici 1, vodilo se računa o mogućnosti modeliranja posredstvom računara i selekciji podataka koji se mogu prikupiti u proizvodnim uslovima.

2. Analiza troškova poslovanja sa SHP

Poslovanje sa SHP obuhvata čitav niz aktivnosti počev od izbora odgovarajuće vrste, kvaliteta i koncentracije, skladištenja, pripreme, prečišćavanja i regeneracije SHP sve do razgradnje "istrošenih" SHP. Takav lanac međusobno povezanih i isprepletanih aktivnosti ima za cilj da obezbedi maksimalno ekonomično i svrsishodno korišćenje SHP u procesu proizvodnje. Na slici 2 je prikazan algoritam savremenog toka poslovanja sa SHP zajedno sa neophodnim pratećim aktivnostima.



S1.2. Algoritam savremenog toka poslovanja sa SHP

U literaturi iz ove oblasti susrećemo se sa različitim modelima za izračunavanje troškova poslovanja sa SHP. Najopširniji i ujedno najteži za primenu su radovi autora iz SSSR-a (2,3,4). Veliki broj faktora koje je teško precizno odrediti kao i nemogućnost parcijalne analize po vrstama obrade, što je veoma značajno sa aspekta optimizacije i povezivanja sa ostalim troškovima u modelu (na pr. troškovima alata) su osnovni razlozi što je u radu morao biti korišćen nov model baziran na parcijalnoj analizi svih troškova po vrstama obrade i korišćenim SHP.

Primenom računara dobijeni su veoma pogodni rezultati za analizu strukture troškova poslovanja sa SHP. Analiziranjem matrica utroška SHP i matrice vrednosti utrošenih SHP može se steći slika o strukturi potrošnje po vrstama obrade i posebno razmatrati potrošnja SHP koja je rezultat zamene (funkcija veka trajanja) i potrošnja nastala usled dolivanja rezervoara za

SHP (isparavanje, odnošenje sa strugotinom i radnim komadom itd.). Ove matrice predstavljaju osnov za kasnije izračunavanje ekonomskih efekata izmena u poslovanju sa SHP, modeliranje uticaja veka trajanja i optimizaciju poslovanja sa SHP :

***** REZULTATI IZRACUNAVANJA *****

***** MATRICA DOLIVANJA *****

	k1	k2	k3	k4
SHP- 1 :	187.53	224.8386	82.1184	155.5136
SHP- 2 :	82.29701	0	0	0
SHP- 3 :	271.425	0	0	0
Ukupno :				1003.723 tona

***** MATRICA ZAMENE SHP *****

	k1	k2	k3	k4
SHP- 1 :	84.82143	117.25	32	85.45454
SHP- 2 :	44.39656	0	0	0
SHP- 3 :	110	0	0	0
Ukupno :				473.9225 tona

***** MATRICA UKUPNO UTROSENIH SHP *****

	k1	k2	k3	k4
SHP- 1 :	272.3515	342.0886	114.1184	240.9682
SHP- 2 :	126.6936	0	0	0
SHP- 3 :	381.425	0	0	0
Ukupno emulzija,rastvora i rez.ulja:				1477.645 tona

Odnosno koncentrovanih SHP : 49.81718 tona

***** MATRICA VREDNOSTI UTROSENIH SHP *****

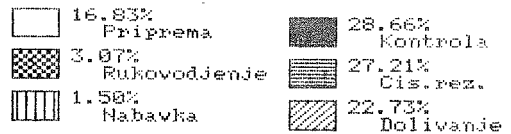
	k1	k2	k3	k4
	3,829,478.00	4,810,038.00	1,604,595.00	3,388,204.00
	1,021,371.00	0.00	0.00	0.00
	5,363,139.00	0.00	0.00	0.00
Ukupni troškovi emulzija,rastvora i rez.ulja :				20,016,820.00 dinara

Poslovanje sa SHP osim troškova "minulog" rada sadrzanog u godišnje utrošnim SHP (VSHP), hemijskim sredstvima (HS), amortizaciji opreme (AO), troškovima izmenljivih filtera (TFM), troškovima radnog prostora (TRP) itd., zahteva i odgovarajuće angažovanje "živog" rada :

Struktura utrošenog živog rada :

Priprema SHP	734,000.00
Regeneracija SHP	0.00
Regrednja SHP	0.00
Dolivanje rezervoara	1,029,420.00
Ciscenje rezervoara	1,127,689.00
Rukovodjenje sluzbom	134,000.00
Kontrola SHP	1,250,000.00
Nabavka SHP	45,250.00

Vrednost utrošenog živog rada: 4,340,358.00dinara



Struktura utrošenog minulog r.:

VSHP.....	20,016,820.00
TRP	120,000.00
HS	1,752,000.00
AO	2,400,000.00
TFM	928,000.00

Ukupni troskovi minulog rada : 25,216,800.00dinara

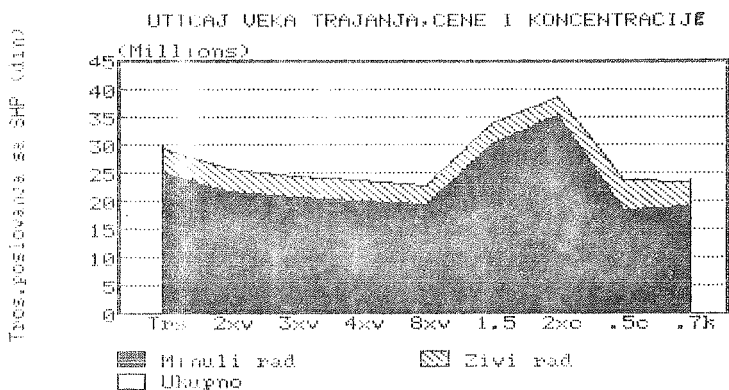


Sl.3. Struktura utrošenog "živog" i "minulog" rada

Pre svake izmene u poslovanju sa SHP neophodno je izvršiti ekonomsku analizu opravdanosti predvidjenih promena. Menjanjem postojećeg stanja baz odgovarajuće ekonomske analize najčešće ne daje očekivane rezultate. Poslovanje sa SHP predstavlja složen sistem sa čitavim nizom ulaznih veličina koje manje ili više utiču na ukupne troškove. Najznačajnije su vrsta i kvalitet SHP, cena SHP, koncentracija koja se koristi, vek trajanja SHP, broj i količina dolivanja, regeneracija itd. U okviru osnovnog modela za optimizaciju poslovanja sa SHP uradjen je i podprogram sa odgovorima na najčešće susretana pitanja i dileme "šta će se dobiti ako ... ?". Troškovi se automatski izračunavaju za zamišljeni vek trajanja koji bi bio dva, tri, četiri ili osam puta duži u odnosu na postojeće stanje (označeno sa 2xV, 3xV, 4xV i 8xV), za ekonomske efekte korišćenja skupljih SHP sa dužim ve-

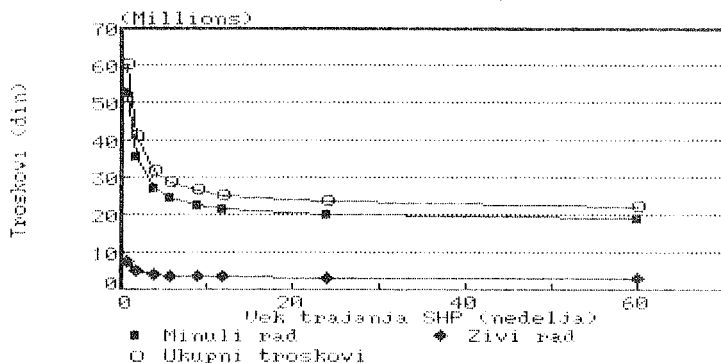
kom trajanja (označeno sa 1.5c-2xV ili 2c-4xV), za korišćenje " lošijih " SHP sa nižom cenom i vekom trajanja itd.(Slika 4). Smatralo se da su ovo najčešća pitanja koja se postavljaju u praksi i za koje treba uvek imati dokumentovan odgovor.

	Minuli rad	Zivi rad	Ukupno	God.tr.po.mas
Trenut.stanje	25,216,930.00	4,340,358.00	29,557,180.00	199,710.70
2X Vek trajan	22,018,130.00	3,776,514.00	25,794,640.00	174,288.10
3X Vek trajan	20,951,900.00	3,588,566.00	24,540,470.00	165,813.90
4X Vek trajan	20,418,780.00	3,494,592.00	23,913,370.00	161,576.90
5X Vek trajan	19,619,110.00	3,353,631.00	22,972,740.00	155,221.20
1.5cen.2X vek	30,389,430.00	3,776,514.00	34,165,950.00	230,851.00
2X cen.4x vek	35,569,250.00	3,494,592.00	39,063,840.00	263,944.90
1/2cen.1/2vek	18,466,510.00	5,468,046.00	23,934,560.00	161,720.00
10%niži konc.	19,239,700.00	4,340,358.00	23,580,060.00	159,324.80



51.4. Ekonomski efekti izmena u poslovanju sa SHP

Uticaj veka trajanja SHP na troškove poslovanja sa SHP je složena funkcija prikazana na slici 5.



S1.5. Uticaj veka trajanja SHP na troškove poslovanja sa SHP

Najveći ekonomski efekti produžavanja veka trajanja SHP se mogu postići u uslovima kratkog veka trajanja (od 1 do 4 nedelje) dok su uštede u proizvodnim sistemima sa ostvarenim vekom trajanja preko 10-12 nedelja zanemarljive. Analizom izloženih rezultata programskog modeliranja ekonomskih efekata izmena u poslovanju sa SHP, može se doći do neophodnih podataka o opravdanosti planiranih izmena i pravcima akcija za smanjenje troškova poslovanja sa SHP.

3. Optimizacija poslovanja sa SHP

Ukoliko se analiziraju samo troškovi poslovanja sa SHP, može se doći do pogrešnog zaključka da je ekonomski opravdano težiti upotrebi SHP sa najnižom cenom, čak i po cenu nižeg veka trajanja, što može biti pogrešan zaključak. Troškove poslovanja sa SHP je neophodno analizirati u sklopu sa svim ostalim zavisnim troškovima, a pre svega sa troškovima alata koji su i najznačajniji. Optimizacija poslovanja sa SHP zahteva predhodno definisanje kriterijuma optimizacije u konkretnim proizvodnim uslovima. Kriterijum optimizacije ne mora uvek biti minimum vrednosti obrade proizvodnih operacija i troškova poslovanja sa SHP, već je često kriterijum optimizacije maksimalni kvalitet obradjene površine, maksimalna zaštita radnika, maksimalna proizvodnost itd.

Najčešće se za kriterijum optimizacije usvaja minimum funkcije T koja predstavlja sumu troškova poslovanja sa SHP i svih troškova poslovanja koji su funkcija SHP :

$$T = TSHP + Ta + Tš + To , \text{ gde je :}$$

TSHP - troškovi poslovanja sa SHP,

- Ta - troškovi reznih alata u operacijama gde se koriste SHP,
- Tš - troškovi škarta prouzrokovanog lošim kvalitetom SHP u eksploataciji,
- To - ostali troškovi poslovanja koji su zavisi od SHP.

Izračunavanje minimuma funkcije T je izvršeno na osnovu formiranih matrica troškova poslovanja sa SHP (Mshp), matrice troškova alata (Ma) i matrice ostalih zavisnih troškova (Mot) :

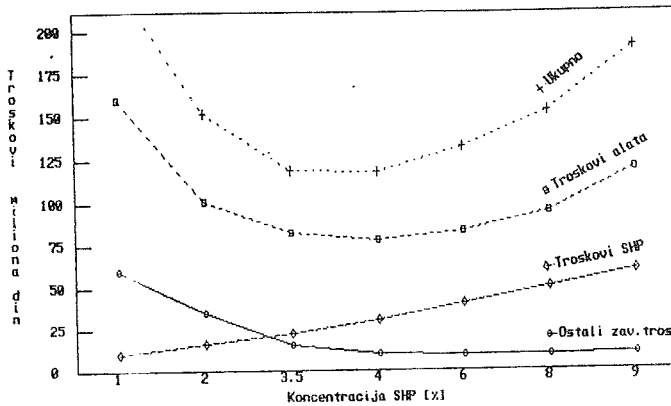
	k1	k2	k3	...	kj	...	kv
SHp-1 :	TSHP-11	TSHP-12	TSHP-13		TSHP-1j		TSHP-1v
SHp-2 :	TSHP-21	TSHP-22	TSHP-23		TSHP-2j		TSHP-2v
.							
.							
SHp-j :	TSHP-j1	TSHP-j2	TSHP-j3		TSHP-ij		TSHP-jv <u>Matrica Mshp</u>
.							
.							
SHp-k :	TSHP-k1	TSHP-k2	TSHP-k3		TSHP-kj		TSHP-kv

Kod ostalih matrica različiti su samo članovi : Ta-ij , Tš-ij i To-ij gde su Ta-ij troškovi alata pri korišćenju SHP i-te vrste u j-toj vrsti obrade itd. Sabiranjem matrica možemo formirati matricu Mt :

$$Mt = Mshp + Ma + Mot$$

Zbir svih članova matrice Mt predstavlja funkciju T čiji minimum određujemo variranjem uticajnih faktora. Na osnovu izloženog modela urađjen je program za računar u okviru koga se vrši modeliranje uticaja pojedinih faktora.

Izloženi model je primenjen u proizvodnom sistemu "A" u kome postoji centralni sistem sa poslovanje sa SHP. U uslovima centralnog sistema sva radna mesta u obradi rezanjem (osim brušenja) se snabdeavaju jednom vrstom i koncentracijom SHP. Poznato je na osnovu ispitivanja triboloških karakteristika SHP da su sa različite vrste obrade i različite materijale, alate itd., različite i optimalne koncentracije. Bilo je stoga potrebno odrediti koncentraciju u centralnom sistemu koja će biti optimalna za čitav sistem u okviru koga su zastupljene gotovo sve vrste obrade (struganje, brušenje, glodanje itd.). Izvršeno je programsko modeliranje uticaja vrste i koncentracije SHP i utvrđen minimum funkcije T koji je odgovarao koncentraciji od 3.8% , Slika 6. Svako odstupanje od optimalne koncentracije povlači za sobom i veliki porast troškova. Samo na osnovu promene koncentracije u centralnom sistemu snabdevanja sa optimalne 3.8% na 6% povećavaju se troškovi za 20 000 000 dinara.



Sl.6. Odredjivanje optimalne koncentracije u centralnom sistemu

4. Zaključak

Uštede koje se mogu postići optimizacijom poslovanja sa SHP su nesumljive i omogućuju značajno smanjenje troškova poslovanja industrijskih sistema. Na osnovu izloženih rezultata može se reći da analizom troškova poslovanja sa SHP i ostalih zavisnih troškova odredjujemo učešće i uticaj pojedinih ulaznih komponenti industrijskih sistema što ukazuje na izvore niske produktivnosti rada domaćih industrijskih sistema. Na taj način se ostvaruju potrebni uslovi za ocenu kvaliteta poslovanja sistema i ukazuje na moguće načine promene postojećeg stanja.

- Literatura :
1. B. IVKOVIĆ: Tribologija rezanja, Gradjevinska knjiga, Beograd, 1979.
 2. M.И. КЛУШИН: Технологические свойства новых СОЖ для обработки резанием, Машиностроение, Москва, 1979.
 3. M.И. КЛУШИН, Д.И. СИМКИН, Э. М. ДЕРИШЕВА, Экономическая эффективность применения новых СОЖ, Машиностроитель, № 7, 1977.
 4. Г.М. НОДЕЛЬ, Р.П. ШЕЙМАН: Определение оптимального количества составов СОЖ, Машиностроитель, № 3, 1971.
 5. THEO MANG, A. TWEEBEEKER: Economical evaluation of the application of watermiscible metalworking fluids, Lubrication engineering, No 6, 1983.
 6. B. VASILJEVIĆ: Povećanje produktivnosti kroz poboljšanje poslovanja sa SHP, Produktivnost u industriji, No 9, 1983.
 7. B. VASILJEVIĆ: Troškovi korišćenja sredstava za hladjenje i podmazivanje, Tribologija u industriji, No 2, 1983.

21. SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, OPATIJA, 1987.

PRODUKTIVNOST KROZ NOVE TEHNOLOGIJE
PRODUCTIVITY THROUGH NEW TECHNOLOGIES

S. Arsovski Mašinski fakultet Kragujevac, Univerzitet "Svetozar Marković", 34000 Kragujevac, Jugoslavija

Ključne reči: REZIME: Primena novih tehnologija utiče na promenu strukture rada (životnog i minulog) i ukupne količine utrošenog rada. Primena NC/CNC/CAD/CAM tehnologije zahteva postojanje određenih uslova (organizacija, održavanje, itd.) od kojih zavisi produktivnost obradnih i proizvodnih sistema. U radu su dati rezultati merenja produktivnosti rada u industriji prerade metala na bazi originalnog modela produktivnosti rada. Izlaz iz sistema je definisanje optimalnih uslova primene novih tehnologija i rangiranje uticajnih veličina za produktivnost rada.

Key words: ABSTRACT: Application of new technologies acts on the change of labour structure (labour and past work) and whole quantity of the invested work. Application NC/CNC/CAD/CAM technology needs existence of some conditions (organization, maintenance, etc.) from them productivity of the working and production system depends. In the paper are given results of the productivity measurement of the labour in the metal working industry on the basis of original productivity model. Output from system is obtaining of optimal conditions of application of new technologies and comparison of the influence quantities on the work productivity.

1. Uvod

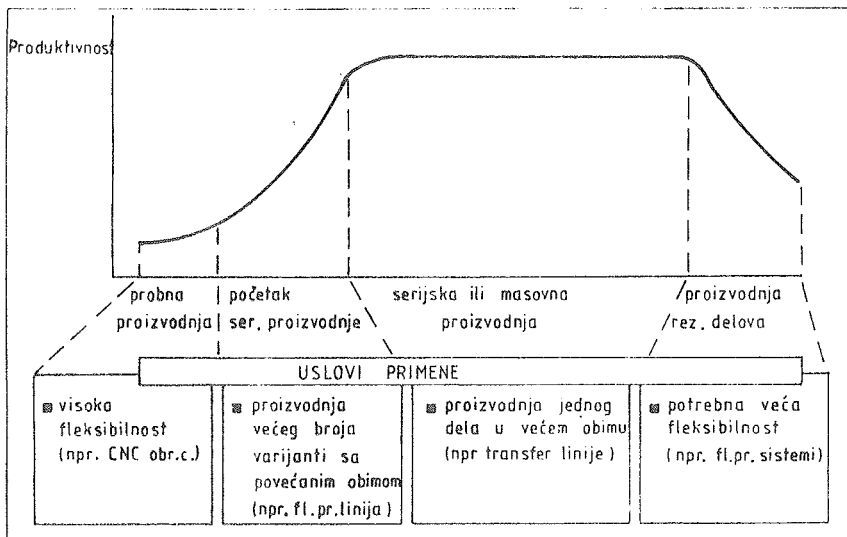
Savremene proizvodne sisteme karakteriše:

- stalni porast troškova,
- porast konkurencije na tržištu, i/ili
- proizvodnja sa najčešće zastarelim tehnologijama.

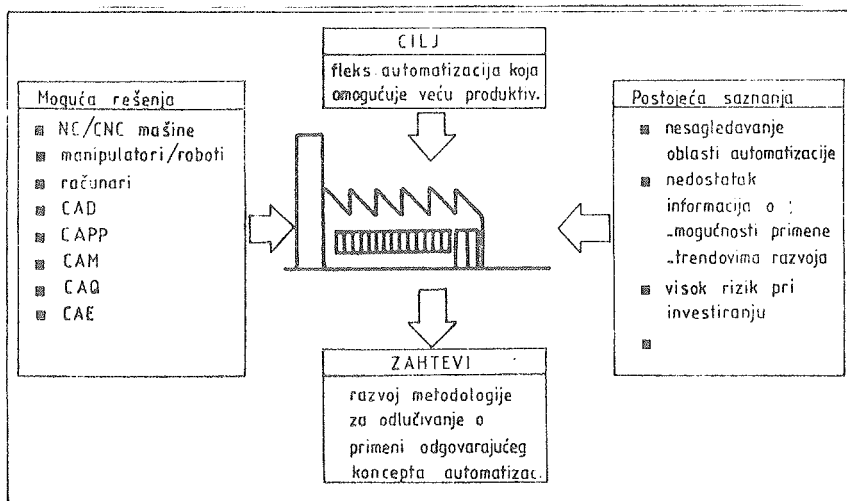
Zbog toga se automatizacija proizvodnih procesa tretira kao sredstvo za kompenzaciju položaja na tržištu, odnosno kao jedan od puteva povećanja produktivnosti rada. Povećanje produktivnosti kroz automatizaciju može se ostvariti:

- poboljšanjem relacija između izlaza i uloženog rada;
- optimizacijom procesa proizvodnje čime se ostvaruje veći izlaz u jedinici vremena;
- produženjem vremena angažovanja u slobodnim smenama;
- nepostojanjem zastoja zbog nedolaska personala.

Imajući u vidu da ciklus proizvodnje jednog proizvoda, ima više karakterističnih faza (sl. 1) koje karakteriše različiti nivo ostvarene produktivnos-



Sl. 1. Zavisnost produktivnosti od vrste proizvodnje



Sl. 2. Zahtevi u pogledu automatizacije

ti i stalne promene na tržištu u pogledu razvoja novih varijanti proizvoda i mogućnosti plasmana pred upravljačke strukture proizvodnog sistema postavlja se dilema:

- primena klasičnih automatizovanih sistema ili
- fleksibilnih automatizovanih sistema.

Razvoj i primena mikroprocesorske tehnologije u oblasti upravljanja proizvodnim procesima omogućili su pojavu većeg broja fleksibilnih automatizova-

nih sistema.

Zahtevi u pogledu automatizacije slede iz postavljenog cilja, mogućih rešenja automatizacije i postojećih saznanja iz te oblasti.

Metodologija odlučivanja ima tehničko-tehnološki i ekonomski deo (sl. 2).

Najpre se određuje profil zahteva u pogledu nivoa planiranja koje može biti grubo, srednje i fino planiranje.

Kod finog planiranja se upoređuje produktivnost konkretnih alternativnih rešenja automatizacije (npr. klasičnog i NC struga). Na srednjem nivou planiranja treba razviti koncept automatizacije u pogledu oblasti primene, aktivnosti i stepena automatizacije, što treba da omogući davanje odgovora na pitanje gde, šta i u kom stepenu treba automatizovati.

Strukturiranjem aktivnosti u različitim proizvodnim sistemima zavisno od stepena automatizacije dolazi se do nedovoljno automatizovanih aktivnosti.

2. Produktivnost kroz automatizaciju sredstava rada

Kada se govori o automatizaciji ima se u vidu pre svega ova oblast. Zbog toga je u najvećem broju proizvodnih sistema proces obrade na višem stepenu automatizacije od ostalih procesa (transporta, projektovanja, planiranja, itd.). Automatizovanjem sredstava rada smanjuje se udeo utrošenog direktnog rada, a u nekim slučajevima i indirektnog rada, a povećava udeo minulog rada. Primena novih automatizovanih sredstava rada je ekonomski opravdava samo ako je ukupno utrošeni rad (živi i minuli) manji nego u slučaju primene starog tehnološkog rešenja.

Polazi se od opšteg izraza za produktivnost rada u obliku:

$$\text{Produktivnost} = \frac{\text{izlaz}}{\text{ulaz}}$$

Prema CPR-sistemu za merenje, analizu i vraćanje produktivnosti rada ulaz izlaz je društveni proizvod a utrošeni direktni, indirektni i minuli rad. Zavisno od toga da li je utrošeni rad vezan za jedinicu proizvoda, seriju ili godišnji obim proizvodnje može se doći do zavisnosti produktivnosti od veličine serije i broja serija godišnje.

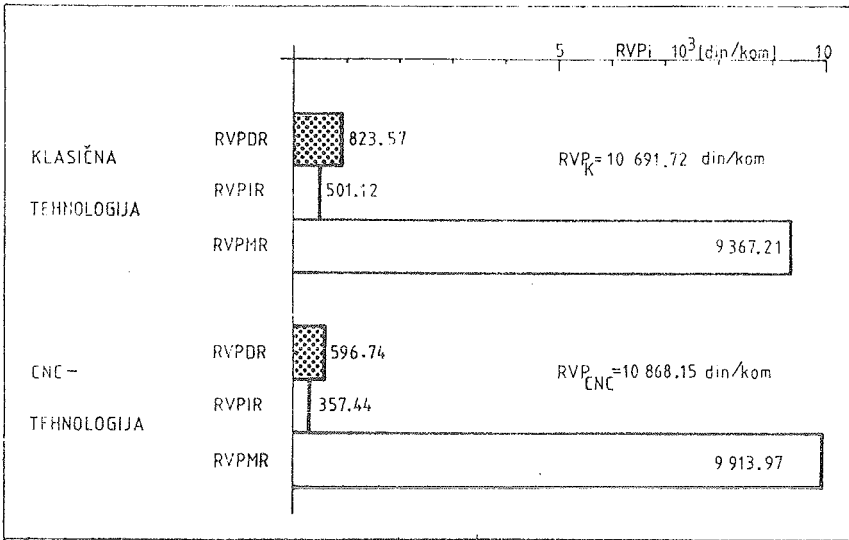
Na sl. 3 prikazana je struktura utrošenog rada pri obradi dela i nakon optimizacije uslova primene klasične tehnologije i CNC tehnologije (obrađni centar).

Oblast primene CNC tehnologije za dati slučaj obrade data je na sl. 4.

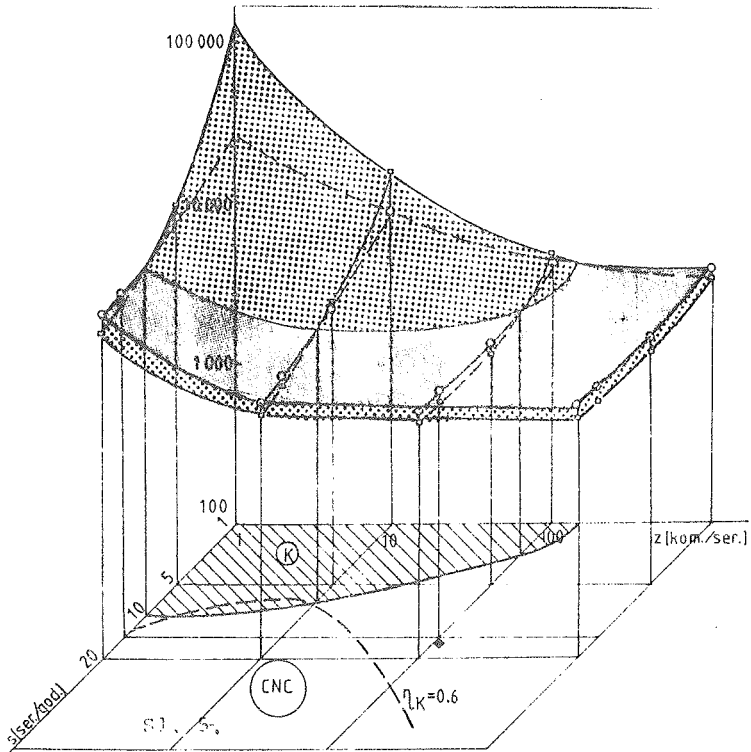
Sa slike se vidi da je oblast primene CNC tehnologije obrada u manjim serijama (da 50 kom (ser) i većem broju serija godišnje).

Posmatrajući prosečne nivoe produktivnosti rada u funkciji stepena automatizacije mogu se dati okvirni uslovi primene odgovarajućih sredstava rada

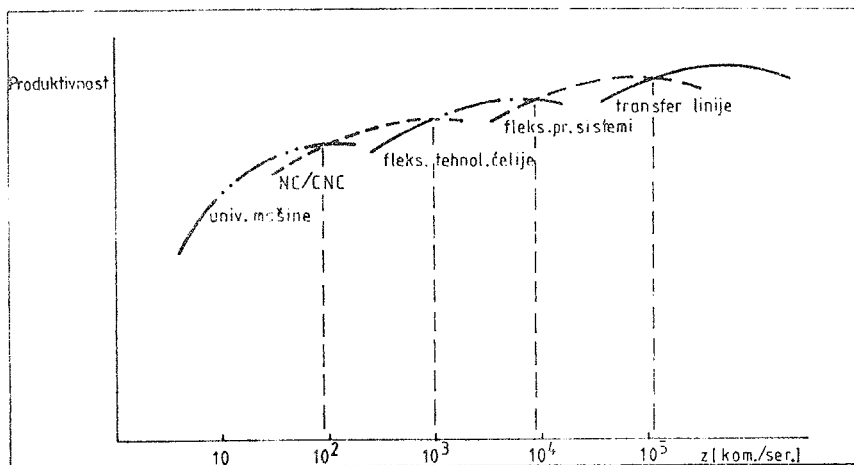
(sl. 5).



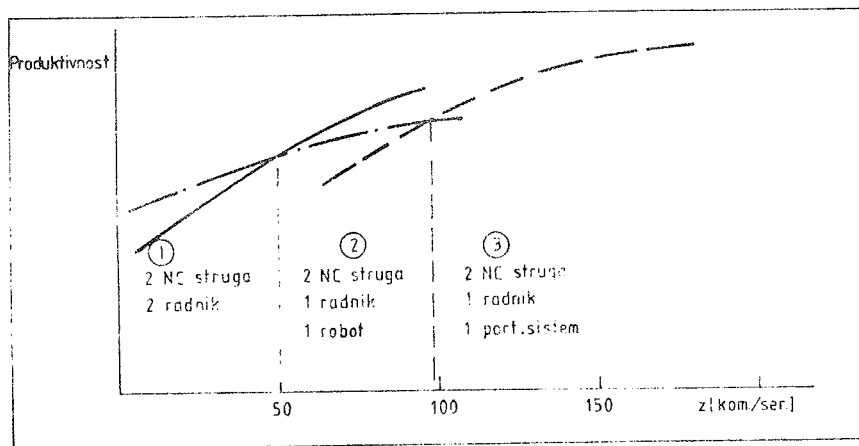
Sl. 3. Produktivnost obradnog sistema pri obradi dela . I



Sl. 4. Optimalna oblast primene CNC-tehnologije



Sl. 5. Produktivnost obradnog sistema u funkciji veličine serije



Sl. 6. Uticaj sistema za manipulaciju predmeta na produktivnost obradnog sistema

3. Produktivnost kroz automatizaciju transporta

Automatizacija transporta obuhvata automatizaciju transporta predmeta, alata i strugotine, SHP itd. U svim navedenim oblastima razvijen je veliki broj različitih automatizovanih sistema. Sve izraženiji zahtev za fleksibilnošću proizvodnih procesa iziskuje primenu fleksibilnih sistema za manipulaciju, čime se čovek oslobadja jednostavnih monotonih i u nekim slučajevima po zdravlje opasnih manipulacionih zadataka. Mogućnosti fleksibilnih manipulacionih sistema su:

- povećana fleksibilnost zbog primene mikroprocesorske tehnologije (izmenom u programu);
- povećavanje broja uradjenih komada u jedinici vremena;
- mogućnost realizovanja kompleksnih putanja;
- mogućnost manipulacije i težih delova;
- mogućnost neprekidnog rada.

Pri izboru fleksibilnog manipulacionog sistema treba uzeti u obzir:

- mehaničku izvedbu;
- oblik hvataljke;
- vrste senzora;
- postupak programiranja;
- vrsta upravljanja i
- uklapanje uz postojeću opremu.

Produktivnost primene ovih sistema zavisi od tehničko-tehnoloških parametara i organizacionih parametara. Tako na primer, ako se predvidja da jedan robot opslužuje dva NC struga u dve smene pri veličini serije od 100 kom/ser. dobiće se veća produktivnost rada nego kada se opsluživanje ova dva struga vrši klasično preko radnika (sl. 6).

Ako bi se umesto robota uz mašinu primenili portalni sistemi ostvarila bi se veća produktivnost u oblasti većih serija (linija 3 na sl. 6).

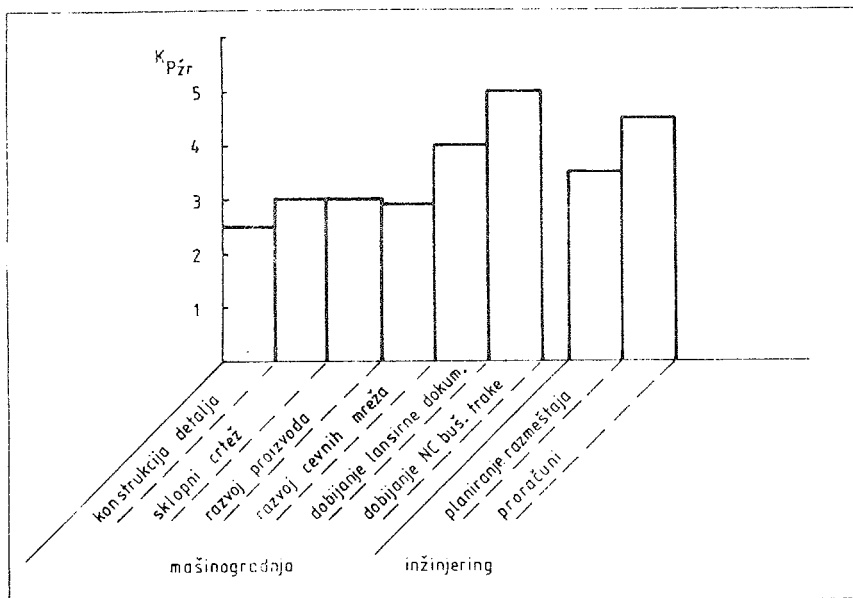
Tehnički povoljna rešenja koja omogućuju veću produktivnost su u oblasti većih serija i pri vrlo ograničenom spektru delova. Tek sa usavršavanjem senzora za raspoznavanje oblika moguća je veća primena robota u oblasti manjih i srednjih serija i u uslovima čistih izmena u proizvodnom sistemu.

4. Produktivnost kroz automatizaciju upravljanja

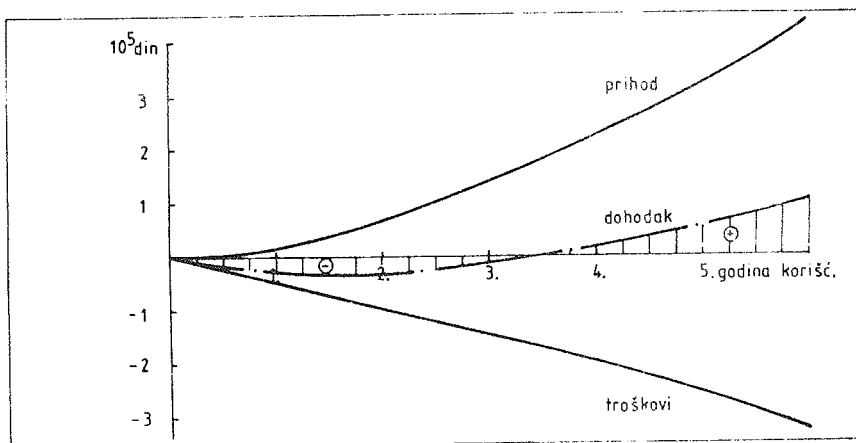
Automatizacija upravljanja ostvaruje se primenom računara u oblasti upravljanja mašinama (CAM) - Computer Aided Design), planiranja procesa proizvodnje (CAPP - Computer Aided Production Planning), razvoja i konstrukcije (CAD - Computer Aided Design), automatizovanog praćenja proizvodnje itd. Zbog velikog broja upravljačkih aktivnosti preovladjuju parcijalna automatizovana rešenja koja se više ili manje uklapaju u postojeći upravljački sistem, a znatno je manje tzv. integralnih upravljačkih sistema.

Osnova za primenu automatizovanih upravljačkih sistema je pad cene mikroprocesorskih elemenata.

I u ovoj oblasti automatizacije povećanje produktivnosti rada ostvaruje se zamenom živog rada (pretežno indirektnog) minulim radom. Pravilnim izborom upravljačkih sistema i izmenom organizacije rada omogućuje se veća produktivnost rada. Na sl. 7 dati su odnosi produktivnosti živog rada u različitim oblastima automatizacije upravljanja primenom CAD/CAM sistema.



Sl. 7. Faktor povećanja produktivnosti živog rada



Sl. 8. Promena dohotka u periodu korišćenja jednog CAD/CAM sistema

Primena ovih sistema najčešće ne donosi dohodak u prvim mesecima i godinama primene zbog visokih investicionih troškova i perioda uhodavanja. Na sl. 8 prikazana je funkcija prihoda troškova u periodu eksploatacije jednog CAD/CAM sistema.

Iz ovih razloga se pored analize produktivnosti pri izboru upravljačkih sistema koriste i odgovarajući dinamički metodi za ocenu opravdanosti investi-

cija.

5. Zaključci

Iz prethodnog se mogu izvući sledeći zaključci:

- nove tehnologije ne omogućuju "same po sebi" povećanje produktivnosti rada.
- Za svaku primenjenu tehnologiju postoje određeni optimalni uslovi primene.
- Primenu novih tehnologija treba posmatrati sa dinamičkog aspekta jer se neprekidno menjaju ulazne varijable u proizvodni sistem i izlaz iz sistema.
- Ne može se dati opšta karakteristika primene novih tehnologija u domaćoj industriji već je za svaki ispitivani sistem potrebno na bazi računarskog modela odrediti uticaj novih tehnologija na produktivnost.

Literatura

- [1] Riggs J., The Productivity Puzzle, Oregon Productivity Center, 1983.
- [2] Ivković B., CPR-sistem za merenje, analizu i praćenje produktivnosti rada, Produktivnost u industriji, Nr. 4, 1983.
- [3] Arsovski S., Produktivnost proizvodnih sistema u industriji prerade metala u funkciji primene NC i CNC tehnologija, Doktorski rad, Kragujevac, 1986. god.

21. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, OPATIJA, 1987.

JEDAN PRISTUP KONCIPIRANJU MODELA ZA TEHNO-EKONOMSKE
ANALIZE TEHNOLOŠKIH SISTEMA MAŠINOGRAĐNJE

IN INTRODUCTION TO THE CONCEPTION OF THE MODEL FOR
TECHNO-ECONOMICAL ANALYSIS OF MACHINE BUILDING
TECHNOLOGICAL SYSTEMS

R. Ječmenica
D. Randjić
B. Kršljak

Tehnički fakultet Čačak, Univerzitet "Svetozar
Marković", 32000 Čačak, Jugoslavija

Ključne reči:

Model
Sistem
Analize
Tehno-ekonomske
Mašingradnja

SAŽETAK: Interakcije unutar strukture tehnoloških sistema kao i tehnoloških sistema sa svojim okruženjem postaju sve složenije i dinamičnije da ih je sve teže ne samo pratiti već i registrovati. U radu autori daju jedan pristup koncipiranju modela za tehno-ekonomske analize nivoa efektivnosti tehnoloških sistema mašingradnje verifikovanog u realnom sistemu.

Key words:

MODEL
SYSTEMS
ANALYSIS
TECHNO-ECONOMICAL
MACHINE BUILDING

ABSTRACT: Interactions inside the structure of technological systems as well as technological systems with their surroundings are becoming more complex and dynamic, so that it is more and more difficult both to follow and register them, the authors give an introduction to the conception of the model for technoeconomic analysis of the effectivity level of the verified machinebuilding technological systems in the real system.

1.0 UVOD

Opšti cilj svakog sistema, samim tim i tehnološkog ili proizvodnog u tehnologiji mašingradnje, definisan je samim postojanjem tog sistema i mogao bi se rasčlaniti na tri osnovna cilja:

- kontinuitet funkcionisanja sistema kao proces nastojanja da se osigura opstanak sistema,
- povećanje efikasnosti funkcionisanja radi lakšeg osiguranja opstanka i
- kontinuitet povećanja efikasnosti funkcionisanja što predstavlja progres.

Veličina dopuštenih odstupanja od zahteva ovih ciljeva po pravilu je obrnuto proporcionalno navedenom redosledu, odnosno odstupanje od zahteva prvog cilja - kontinuiteta funkcionisanja, znači prekid opstanka sistema. Kako je sistem "funkcionalna suma" njegovih komponenata i učinak svake komponente, zavisi od toga da li je ona kompatibilna sa sistemom kao celinom, to prestankom sistema kao celine, automatski prestaje i opstanak svake komponente. Postizanjem prvog cilja - opstanka, proizilazi da prestaje daljna potreba za osiguranjem tog opstanka. Uz preostala dva cilja, povećanje efikasnosti i kontinuitet povećanja efikasnosti, opstanak sistema

postaje permanentan zahtev. Kao što je napredak uslov za opstanak, tako je i opstanak preduslov opstanka. Funkcionisanje proizvodno-tehnoloških sistema zasniva se na primeni osnovnog principa reprodukcije: minimumom ulaganja ostvariti maksimalne tehno-ekonomske rezultate. Ukoliko je ovaj uspešnije primenjen utoliko je veličina ostvarenog kvaliteta procesa ili sistema veća. Tehno-ekonomske analize nekog sistema mogu se uporediti sa analizom korisnog dejstva nekog tehničkog odnosno materijalnog sistema, kod kojeg se vrši upoređenje iskorišćene i angažovane energije. Veličina ovog koeficijenta oscilira u nekim dopuštenim ili projektom predviđenim granicama. Na isti način "koeficijent korisnog dejstva" proizvodno-tehnološkog sistema varira u granicama, koje su zavisne i od uticaja okoline, a koje su unapred predviđene, pa da ne bi izašao iz predviđenih granica moraju se stalno vršiti tehno-ekonomske analize da bi se pratilo njegovo ponašanje i trendovi.

2.0 Opšti koncept tehno-ekonomskih analiza

Kako se u procesu funkcionisanja proizvodno-tehnološkog sistema troše elementi proizvodnje kao elementi ulaza u sistem, a sa druge strane nastaju učinci kao elementi izlaza iz sistema, to se pomenuti koeficijent korisnog dejstva može veoma teško adekvatno izraziti jer se pored ostalog radi i o dinamičkom sistemu, odnosno sistemu u kome se procesi menjaju i u funkciji vremena. Uopšte uzev, zavisnost stanja ulaza X_u od stanja izlaza Y_i može se dati funkcijom transformacije oblika:

$$Y_i = \phi(X_u) \dots\dots\dots (1)$$

Savremeni proizvodno-tehnološki sistemi razvijaju se u uslovima veoma žive i dinamične aktivnosti koje zahtevaju naučni pristup kako planiranju tako i upravljanju i realizaciji procesa proizvodnje. Ne samo opstanak, već i efikasan i efektivan rad svakog sistema, zavisi i od sistemskog pristupa u identifikaciji, kvalifikaciji i kvantifikaciji svih vrsta troškova vezanih za taj sistem. Dakle, nalazimo se pred zahtevom, ovde se to naglašava za proizvodno-tehnološke sisteme mašinogradnje, za veoma preciznim i pouzdanim, kako analitičkim tako i numeričkim pokazateljima vrednosti, kako faktora obrade tako i ostalih parametara koji su relevantni u danas evidentnim aktivnostima na tehno-ekonomskim analizama.

U proizvodno-tehnološkim sistemima mašinogradnje evidentne su neprekidne aktivnosti ne samo na poboljšanju materijala i geometrije alata, tretmanu obradjene površine, poboljšanju obradivosti radnog predmeta, iznalaženju novih postupaka obrade, konstrukciono-tehnološkim intervencijama na sistemu mašina-alat-radni predmet, već i na tehno-ekonomskim analizama sistema u cilju optimiranja radnih uslova kako bi se dobili, u datim uslovima okruženja, maksimalno mogući tehno-ekonomski efekti aktivnosti

tih sistema. Tehno-ekonomske analize su veoma kompleksne aktivnosti i uglavnom pod tim pojmom se podrazumeva analiza raspoloživih resursa vreme-troškovi. Ovo ukazuje na mogućnost različitih pristupa i različitih metodologija u ovim aktivnostima što zavisi između ostalog i od specifičnosti sistema, karaktera analiza i profila istraživača.

U teoriji tehno-ekonomskih analiza obradnih, tehnoloških ili proizvodnih procesa, mogu se izdvojiti više kriterijuma za analizu funkcija cilja F_c kao što su naprimer: Troškovi (T_i), vreme izrade (t_{izr}), stepen iskorišćenja kapaciteta (cap), produktivnost (P_{rod}), ekonomičnost (E_i), rentabilnost (R_{nt}), efikasnost (E_{fik}), efektivnost (E_{fek}) itd., mašinskog dela, serije delova proizvodnje, serije proizvoda ili ukupne proizvodnje. Sa matematičkog stanovišta, tehno-ekonomske analize proizvodno-tehnoloških procesa svode se na definisanje funkcije cilja i korespodentnih upravljajućih veličina i karakteristika stanja procesa koje obezbeđuju unapred projektovani tehno-ekonomski efekat analiziranog procesa ili sistema.

Funkcije tehno-ekonomskog kvaliteta ili funkcije cilja kako obradnih, tehnoloških tako i nižih i viših kategorija ovih sistema i procesa, mogu se u principu svrstati u dve osnovne grupe. U prvu grupu spadaju funkcije tehnoloških ograničenja odnosno tehničko-tehnološke funkcije kvaliteta procesa ili sistema, dok drugu grupu funkcija čine funkcije ekonomskih kvaliteta procesa ili sistema.

Savremena proizvodnja i odnosi u njoj ne mogu se kvantificirati niti kvalimetrijski izražavati, misli se na korektno, pouzdano i opšte naučno prihvaćeno izražavanje, bilo kojom grupom ovih funkcija pojedinačno, jer ocene donete na bazi samo jedne grupe funkcija bile bi jednostrane i nekorektna. Iz ovih razloga danas se čine veliki napor da se ove dve grupe objedine ili pak uslovljavajuće povežu u tehno-ekonomski model koji je definisan tehno-ekonomski smisao i ciljevi reprodukcioni procesa u tehnologiji mašingradnje.

3.0 Matematička interpretacija modela za tehno-ekonomske analize

Pretpostavimo da je ukupan kvalitet sistema definisan sa n-pokazatelja kvaliteta između kojih postoje međuzavisnosti odnosno interaktivna dejstva. Ako sa $x_i(t)$ označimo vrednosti i-tog kvaliteta u t-tom periodu, a sa $x_i(t-1)$ isti kvalitet u prethodnom t-1 periodu i sa $x_i(t+1)$ vrednost istog pokazatelja kvaliteta u budućem, projektom prognoziranom trenutku t+1 trenutku, onda se između pomenućih pokazatelja kvaliteta zavisno od trenutka koji se analizira mogu uspostaviti sledeće relacije:

3.1 Apsolutna promena i-tog pokazatelja kvaliteta u periodu posmatranja - analize $[t-1, t]$:

$$\Delta X_i(t) = \Delta E_{fek} = X_i(t) - X_i(t-1) \dots \dots \dots (2)$$

3.2 Relativna promena i-tog pokazatelja u odnosu na j-ti pokazatelj u t-tom trenutku:

$$e_{ijt} = \frac{\Delta X_j(t)}{X_j(t)} \dots\dots\dots (3)$$

$$i, j = 1, 2, \dots, n$$

$$t = 1, 2, \dots, T$$

koja se naziva indirektnom promenom, i

3.3 Relativna promena i-tog pokazatelja u odnosu na i-ti pokazatelj u t-tom trenutku:

$$e_{ijit} = \frac{\Delta X_i(t)}{X_i(t)} \dots\dots\dots (4)$$

$$i, j = 1, 2, \dots, n$$

$$t = 1, 2, \dots, T$$

koju nazivamo direktnom promenom.

Relacija (3) definiše relativan porast i-tog pokazatelja kvaliteta u odnosu na j-ti u t-tom trenutku, odnosno izražava koliko jedinica promena rasta ili pada i-tog pokazatelja kvaliteta dolazi na jedinicu j-tog pokazatelja kvaliteta u t-tom periodu. Pomenute relacije mogu se predstaviti i u obliku matrice pokazatelja kvaliteta sistema ili matrice tehnokonomske efektivnosti TE_{fek} :

$$\{TE_{fek}\} = \left\{ \begin{array}{cccc} e_{11}(t) & e_{12}(t) & e_{13}(t) & \dots\dots e_{1n}(t) \\ e_{21}(t) & e_{22}(t) & e_{23}(t) & \dots\dots e_{2n}(t) \\ e_{31}(t) & e_{32}(t) & e_{33}(t) & \dots\dots e_{3n}(t) \\ \dots\dots\dots & \dots\dots\dots & \dots\dots\dots & \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots & \dots\dots\dots & \dots\dots\dots & \dots\dots\dots \\ e_{n1}(t) & e_{n2}(t) & e_{n3}(t) & \dots\dots e_{nn}(t) \end{array} \right\} \dots\dots\dots (5)$$

Elementima na glavnoj dijagonali $i=j$ definisane su direktne promene pokazatelja kvaliteta prikazane relacijom (4) a ostali članovi matrice (5) $i \neq j$ indirektno promene, odnosno relacije odnosa ostalih pokazatelja prema nekom unapred utvrdjenom pokazatelju za upoređjivanje. Ovakav model je veoma pogodan za izražavanje, praćenje i poredjenje ostvarenih kvaliteta sistema u različitim uslovima kako okruženja tako i unutrašnje strukture sistema. Njime se može obuhvatiti veliki broj pokazatelja i izmeđuju istih uspostaviti navedene relacije te ustanoviti stepen interaktivnog dejstva.

1.0 Rezultati istraživanja

1.1 Matrica baznih podataka jednog sistema

Pokazatelji kvaliteta	Periodi praćenja pokazatelja				
	1982.	1983.	1984.	1985.	1986.
1 KOLIČ. PROIZVODNJE (10EXP4 KOM)	665,00	724,00	677,00	738,00	754,00
2 UKUPAN PRIHOD (10EXP6 DIN)	335,00	526,00	748,00	1256,00	1798,00
3 DOBAINA VREDNOST (10EXP6 DIN)	225,00	297,00	388,00	595,00	984,00
4 AMORIZACIJA (10EXP6 DIN)	32,00	45,00	98,00	125,00	204,00
5 D O B O D A K (10EXP6 DIN)	193,00	251,00	289,00	471,00	780,00
6 DOPR. DRUŠTVU (10EXP6 DIN)	14,00	13,00	15,00	18,00	46,00
7 ČISTI DOHODAK (10EXP6 DIN)	118,00	161,00	198,00	316,00	510,00
8 AKUMULACIJA (10EXP6 DIN)	7,00	17,00	32,00	46,00	86,00
9 VR. OSN. SRED. SADAŠ. (10EXP6 DIN)	310,00	410,00	393,00	352,00	250,00
10 VR. TEHNOLOPR. SAD. (10EXP6 DIN)	278,00	364,00	331,00	277,00	98,00
11 VR. OSN. SR-NABAVNA (10EXP6 DIN)	539,00	822,00	1040,00	1372,00	2102,00
12 VR. TEHN. OPR. NABAV. (10EXP6 DIN)	503,00	769,00	965,00	1279,00	1923,00
13 UKUP. BR. ZAPOSLL. (10EXP6 DIN)	780,00	792,00	797,00	825,00	832,00
14 INVESTICIJE (10EXP6 DIN)	22,00	17,00	18,00	21,00	18,00
15 TROSK. OSN. MATERIJ. (10EXP6 DIN)	98,00	138,00	202,00	284,00	492,00
16 TROSK. SK. OSN. MAT. (10EXP6 DIN)	8,70	186,00	12,00	15,00	30,00
17 TROSK. TEHNOLO. OTP. (10EXP6 DIN)	79,00	100,00	165,00	231,00	348,00
18 KOLIČINA ŠKARTA (10EXP3 KOM)	289,00	663,00	247,00	292,00	414,00
19 KOLIČ. TEHNOLO. OTP. (10EXP3 KG)	229,00	238,00	240,00	263,00	250,00
20 VREDN. PROIZVODNJE (10EXP6 DIN)	350,00	520,00	669,00	957,00	1533,00
21 PROD. CENA PROIZV. (DIN PO PR.)	53,00	72,00	99,00	130,00	203,00
22 POTENC. KAPAC. SIST. (10EXP4 ŠAS)	219,00	228,00	238,00	239,00	242,00
23 EFEK. KAP. SISTEMA (10EXP4 ŠAS)	48,00	49,00	50,00	51,00	50,00
24 VREME IZRADE (10EXP4 ŠAS)	111,00	126,00	120,00	134,00	144,00
25 IZGUBLJENO VREME (10EXP4 ŠAS)	27,00	31,00	30,00	33,00	36,00
26 NAB. C. OSN. MATER. (DIN PO KG)	344,00	437,00	689,00	876,00	1391,00
27 UKUP. TROŠ. PROIZV. (10EXP6 DIN)	208,00	290,00	478,00	788,00	1181,00
28 NETO LI (10EXP6 DIN)	61,00	89,00	109,00	176,00	253,00
29 TEZ. UK. UTOŠ. MATER. (10EXP3 KG)	527,00	583,00	545,00	600,00	623,00

Na sledećoj strani priložena je jedna na računaru obradjena matrica efektivnosti iz koje se jasno uočavaju pokazatelji i njihovi međjusobni uticaji formirani na bazi ranijih objašnjenja.

Primer jedne matrice efektivnosti za period 1985/1986. godinu

	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14
01	0,0387	0,1761	0,2622	1,8437	0,3056	4,2142	0,5000	8,4265	0,1903	0,2122	0,1094	0,1172	0,0756	2,6818
02	0,2372	0,5701	0,8488	5,9687	0,9896	13,6428	1,6196	27,2957	0,6161	0,6870	0,3543	0,3797	0,2446	5,6818
03	0,1032	0,2149	0,3200	2,2500	0,3730	5,1428	0,6101	10,2957	0,2322	0,2539	0,1335	0,1431	0,0923	3,2727
04	0,0195	0,0388	0,0577	0,4062	0,0673	0,9285	0,1101	1,8571	0,0419	0,0467	0,0241	0,0258	0,0166	0,5909
05	0,0872	0,1731	0,2577	1,8125	0,3005	4,1428	0,4915	8,2857	0,1870	0,2086	0,1076	0,1153	0,0743	2,6363
06	-0,0015	-0,0029	-0,0044	-0,0312	-0,0051	-0,0714	-0,0084	-0,1428	-0,0032	-0,0035	-0,0018	-0,0019	-0,0012	-0,0454
07	0,0646	0,1293	0,1911	1,3437	0,2227	3,0714	0,3644	6,1428	0,1387	0,1546	0,0797	0,0854	0,0551	1,9545
08	0,0150	0,0298	0,0444	0,3125	0,0513	0,7142	0,0947	1,4265	0,0322	0,0359	0,0165	0,0198	0,0128	0,4845
09	0,1503	0,2985	0,4444	3,1250	0,5181	7,1428	0,8474	14,2857	0,3225	0,3597	0,1855	0,1988	0,1282	4,5454
10	0,1293	0,2567	0,3822	2,6875	0,4455	6,1428	0,7288	12,2857	0,2774	0,3093	0,1595	0,1709	0,1102	3,9090
11	0,4255	0,8447	1,2577	8,8437	1,4663	20,2142	2,3983	40,4285	0,9129	1,0179	0,5250	0,5626	0,3628	12,8636
12	0,4000	0,7940	1,1822	8,3125	1,3782	19,0000	2,2542	38,0000	0,8580	0,9568	0,4935	0,5288	0,3410	12,0909
13	0,0180	0,0358	0,0533	0,3750	0,0621	0,8571	0,1016	1,7142	0,0387	0,0431	0,0222	0,0236	0,0153	0,5454
14	-0,0075	-0,0149	-0,0222	-0,1562	-0,0259	-0,3571	-0,0423	-0,7142	-0,0161	-0,0179	-0,0092	-0,0099	-0,0064	-0,2272
15	0,0601	0,1194	0,1777	1,2500	0,0272	2,8571	0,3389	5,7142	0,1290	0,1438	0,0742	0,0795	0,0512	1,8131
16	0,2666	0,5292	0,7880	5,5406	0,9186	12,6642	1,5025	25,3235	0,5719	0,6377	0,3239	0,3524	0,2273	8,0590
17	0,0375	0,0746	0,1111	0,7812	0,1295	1,7857	0,2118	3,5714	0,0806	0,0899	0,0463	0,0497	0,0320	1,1363
18	0,5624	1,1164	1,6622	11,6875	1,9378	26,7142	3,1694	53,4285	1,2064	1,3453	0,6938	0,7435	0,4794	17,0000
19	0,0135	0,0268	0,0400	0,2812	0,0466	0,6428	0,0762	1,2857	0,0290	0,0323	0,0166	0,0178	0,0115	0,4090
20	0,2556	0,5074	0,7555	5,3125	0,8808	12,1428	1,4406	24,2857	0,5483	0,6115	0,3153	0,3379	0,2179	7,7272
21	0,0285	0,0567	0,0844	0,5937	0,0984	1,3571	0,1610	2,7142	0,0612	0,0683	0,0352	0,0377	0,0243	0,8636
22	0,0135	0,0268	0,0400	0,2812	0,0466	0,6428	0,0762	1,2857	0,0290	0,0323	0,0166	0,0178	0,0115	0,4090
23	0,0015	0,0029	0,0044	0,0312	0,0051	0,0714	0,0084	0,1428	0,0032	0,0035	0,0018	0,0019	0,0012	0,0454
24	0,0225	0,0447	0,0666	0,4687	0,0777	1,0714	0,1271	2,1428	0,0483	0,0539	0,0278	0,0298	0,0192	0,6818
25	0,0060	0,0119	0,0177	0,1250	0,0207	0,2857	0,0338	0,5714	0,0129	0,0143	0,0074	0,0079	0,0051	0,1818
26	0,1398	0,2776	0,4133	2,9062	0,4813	6,6428	0,7881	13,2857	0,3000	0,3345	0,1725	0,1848	0,1192	4,2272
27	0,1233	0,2447	0,3644	2,5625	0,4243	5,8571	0,6949	11,7142	0,2645	0,2949	0,1521	0,1630	0,1051	3,7272
28	0,0421	0,0835	0,1244	0,8750	0,1450	2,0000	0,2372	4,0000	0,0903	0,1007	0,0519	0,0556	0,0358	1,2727
29	0,0342	0,1671	0,2488	1,7500	0,2901	4,0000	0,4745	8,0000	0,1806	0,2014	0,1038	0,1113	0,0717	2,5454

	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
01	0,6020	6,7816	0,7468	0,2041	0,2576	0,1685	1,1132	0,2694	1,2292	0,5315	2,1851	0,1715	0,2336	0,9672	0,1119
02	1,9489	21,9540	2,4177	0,6608	0,8340	0,5457	3,6037	0,8721	3,9791	1,7207	7,0740	0,5552	0,3182	3,1311	0,3624
03	0,7346	8,2758	0,9113	0,2491	0,3144	0,2057	1,3584	0,3287	1,5000	0,6485	2,6566	0,2093	0,3451	1,1803	0,1355
04	0,1326	1,4942	0,1645	0,0449	0,0567	0,0371	0,2452	0,0593	0,2708	0,1171	0,4814	0,0377	0,0625	0,2131	0,0246
05	0,5918	6,6666	0,7341	0,2006	0,2532	0,1657	1,0943	0,2648	1,2083	0,5225	2,1481	0,1686	0,2738	0,9508	0,1100
06	-0,0102	-0,1149	-0,0126	-0,0034	-0,0043	-0,0028	-0,0188	-0,0045	-0,0208	-0,0090	-0,0370	-0,0029	-0,0048	-0,0163	-0,0013
07	0,4387	4,9425	0,5443	0,1487	0,1877	0,1228	0,8113	0,1963	0,8958	0,3873	1,5925	0,1250	0,2067	0,7049	0,0815
08	0,1020	1,1494	0,1265	0,0346	0,0436	0,0285	0,1886	0,0456	0,2083	0,0900	0,3703	0,0290	0,0430	0,1639	0,0189
09	1,0204	11,4942	1,2658	0,3460	0,4366	0,2857	1,8867	0,4566	2,0833	0,9009	3,7037	0,2906	0,4807	1,6393	0,1897
10	0,8775	9,8850	1,0886	0,2975	0,3755	0,2457	1,6226	0,3926	1,7916	0,7747	3,1851	0,2500	0,4134	1,4098	0,1631
11	2,8877	32,5287	3,5822	0,9792	1,2358	0,8085	5,3796	1,2922	5,8958	2,5495	10,4814	0,8226	1,3605	4,6393	0,5370
12	2,7142	30,5747	3,3670	0,9204	1,1615	0,7600	5,0188	1,2146	5,5416	2,3963	9,8518	0,7732	1,2788	4,3606	0,5047
13	0,1224	1,3793	0,1518	0,0415	0,0524	0,0342	0,2264	0,0547	0,2500	0,1081	0,4444	0,0348	0,0576	0,1967	0,0227
14	-0,0510	-0,5747	-0,0632	-0,0173	-0,0218	-0,0142	-0,0943	-0,0228	-0,1041	-0,0450	-0,1851	-0,0145	-0,0240	-0,0819	-0,0094
15	0,4081	4,5977	0,5063	0,1384	0,1746	0,1142	0,7547	0,1826	0,8333	0,3603	1,4814	0,1162	0,1923	0,6557	0,0759
16	1,8091	20,3793	2,2443	0,6134	0,7742	0,5065	3,3452	0,3095	3,6937	1,5972	6,5666	0,5154	0,8524	2,9065	0,3364
17	0,2551	2,8735	0,3164	0,0865	0,1091	0,0714	0,4716	0,1141	0,5208	0,2252	0,9259	0,0726	0,1201	0,4098	0,0474
18	3,8163	42,9885	4,7341	1,2941	1,6331	1,0685	7,0566	1,7077	7,7916	3,3693	13,8518	1,0872	1,7980	6,1311	0,8096
19	0,0918	1,0344	0,1139	0,0311	0,0393	0,0257	0,1898	0,0410	0,1875	0,0810	0,3333	0,0261	0,0432	0,1475	0,0170
20	1,7346	19,5402	2,1518	0,5882	0,7423	0,4857	3,2075	0,7762	3,5416	1,5316	6,2962	0,4941	0,8173	2,7868	0,3225
21	0,1932	2,1839	0,2405	0,0657	0,0829	0,0342	0,3584	0,0867	0,3958	0,1711	0,7037	0,0552	0,0913	0,3114	0,0360
22	0,0918	1,0344	0,1139	0,0311	0,0393	0,0257	0,1698	0,0410	0,1875	0,0810	0,3333	0,0261	0,0432	0,1475	0,0170
23	0,0102	0,1149	0,0126	0,0034	0,0043	0,0028	0,0188	0,0045	0,0208	0,0090	0,0370	0,0029	0,0048	0,0163	0,0018
24	0,1530	1,7241	0,1898	0,0519	0,0655	0,0428	0,2830	0,0684	0,3125	0,1351	0,5555	0,0436	0,0721	0,2459	0,0284
25	0,0403	0,4597	0,0506	0,0138	0,0174	0,0114	0,0754	0,0182	0,0833	0,0360	0,1481	0,0116	0,0192	0,0655	0,0075
26	0,9489	10,6896	1,1772	0,3217	0,4061	0,2657	1,7547	0,4246	1,9375	0,8378	3,4444	0,2703	0,4471	1,5245	0,1764
27	0,8367	9,4252	1,0379	0,2837	0,3580	0,2342	1,5471	0,3744	1,7083	0,7387	3,0370	0,2383	0,3942	1,3442	0,1555
28	0,2857	3,2183	0,3544	0,0968	0,1222	0,0800	0,5283	0,1278	0,5833	0,2522	1,0370	0,0613	0,1346	0,4590	0,0531
29	0,5714	6,4367	0,7088	0,1937	0,2445	0,1600	1,0566	0,2557	1,1666	0,5045	2,0740	0,1627	0,2692	0,9180	0,1062

5.0 Zaključak

Definisanje kretanja i ispitivanje tehnoloških kvaliteta jednog proizvodno-tehnološkog sistema može se izvršiti praćenjem njihovih međusobnih odnosa, međusobnih uticaja jednih na druge povezivanjem u odgovarajuće matematičke modele. Za praćenje promena svakog parametra u odnosu na vreme kao i uticaj promene jednog parametra na promene drugog može se formirati matematički model u obliku matrice efektivnosti kakva je prikazana relacijom (5). Matricom efektivnosti obuhvaćeni su u datom trenutku najrelevantniji parametri kojima se mogu opisati stanja sistema u prethodnom $t-1$, sadašnjem t -tom i budućem trenutku $t+1$.

Indirektne promene pokazatelja efektivnosti doprinose boljem sagledavanju strukturnih promena pokazatelja, njihovom uskladjivanju i boljem programiranju u budućnosti. Ako se pak posmatraju direktne promene onda se promena jednog pokazatelja izražava nezavisno od promena drugih pokazatelja.

Prikazani model je veoma fleksibilan i adaptivan što mu je nesumljivo velika prednost u sistem-analizama ove vrste.

Literatura:

- /1/. Zelenović D., Upravljanje proizvodnim sistemima, Naučna knjiga, Beograd, 1984.god.
- /2/. Zelenović D., Todorović J., Efektivnost sistema u mašinstvu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 1978.god.
- /3/. Milačić V., Proizvodni sistemi, Mašinski fakultet, Beograd, 1982.g.
- /4/. Stojanović D., Matematičke metode u ekonomiji, Savremena administracija, Beograd, 1982.god.
- /5/. Ječmenica R., Prilog razvoju modela za tehnološke analize efektivnosti proizvodno-tehnoloških sistema mašinogradnje, Disertacija, Tehnički fakultet, Čačak, 1986.god.

21. SAVJETOVANJE PROIZVODNOG STROJARSIVA JUGOSLAVIJE, OPATIJA , 1987.

OBRADNI SISTEMI ZA PILJENJE

SAWING MACHINING SYSTEMS

G. Kravanja Prvomajska Raša, Raša 52223, Jugoslavija

(Ključne riječi: SAŽETAK: U radu su prikazani utjecaji hidrauličkih sistema (gravitacioni, pozitivni pritisak sa i bez regulacije) na učine hidraulički sistemi vitacioni, pozitivni pritisak sa i bez regulacije) na učine Samoregulacija odrezivanja i postojanosti alata od bimetalne trake. Bimetalna traka

Key words: ABSTRACT: During the work influences of hydraulic systems (gravity, positive pressure with and without regulation) on hydraulic system (gravity, positive pressure with and without regulation) on Autoregulation sawing effects and persistence of bimetal blade are showed. Bimetal band-saw

1. Uvod

Horizontalno tračno odrezivanje predstavlja jedan od najproduktivnijih postupaka odrezivanja, čija primjena u svijetu prikazuje trend stalnog rasta. Primjenom alata od brzoreznog čelika produktivnost ovoga postupka je visoka uz relativno nisko ulaganje u opremu. Imajući u vidu da se proces odrezivanja izvodi na različitim hidrauličkim sistemima, cilj ovog rada je da ispita posmične hidraulične sisteme koji se danas najčešće koriste (gravitacioni i sistem pozitivnog pritiska), te njihov utjecaj na produktivnost odrezivanja kao i vijek postojanosti alata.

2. Plan pokusa

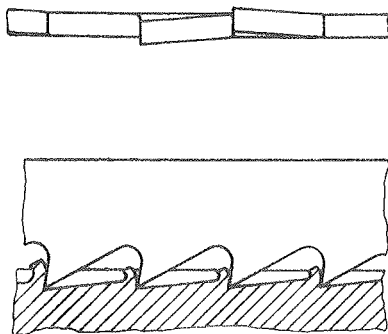
U prvom djelu ovog rada istraženi su utjecaji posmičnih sistema strojeva SOM 320 i HAP 280 na učine odrezivanja i postojanost alata, pri čemu su uvjeti izbora alata, obratka, sredstva za hladjenje i brzine rezanja bili istovjetni. U drugom djelu pokusa se na stroju HAP 280 izvršila preinaka tako da sistem nije imao niti jednu regulaciju. Pokusi su vršeni sa po tri trake na svakom nivou, te se u obradu uzimala srednja aritmetička vrijednost.

3. Uvjeti izvodjenja pokusa

Pokusi su vršeni bimetalnom trakom M42 sa 4 zuba na col, uz brzinu rezanja od 45 metara u minuti i to na 2 različita stroja, SOM 320 i HAP 280. Materijal obratka je u oba slučaja bio Č.1530 promjera $D = 120$ mm, površinske tvrdoće 210 HB. Za hladjenje i podmazivanje upotrebljena je emulzija sa 10% sintolina. Postupak utvrđivanja postojanosti alata koji je korišten u ovom radu obradjen je u literaturi [1] a bazira se na maksimalnoj istrošenosti 5 zubaca čija srednja vrijednost nije prelazila 0,1 mm.

4. Alat

Bimetalna traka sa oštrocim od brzoreznog čelika M 42. Rezne karakteristike brzoreznog čelika se naročito povećavaju legiranjem kobaltom i volframom. Kemijski sastav je 1,09% C, 3,9% Cr, 9,4% Mo, 1,2% V, 1,5% W i 7,8% Co. Temperatura kaljenja je 1190°C u rasponu od $\pm 2^\circ\text{C}$ što se postižava u specijalnim pećima sa neutralnom zonom dušika. Napuštanje trake se odvija na temperaturi 560°C u zračnoj komornoj peći. Zbog pojave oksidacije i smanjenja koncentracije napreznja traka se pješkari. Korištene trake su dimenzije 3660 x 25 x 0,9 mm sa 4 zuba na col, standardnog oblika zuba i razmetanja. [sl. 1] Kut klina je 60° a grudni kut je nula. Tvrdooća zuba je 69 HRC. Na mjestu zavara traka se nakon brušenja polira i pješkari.



Sl.1. Oblik zuba i razmetanje bimetalne trake

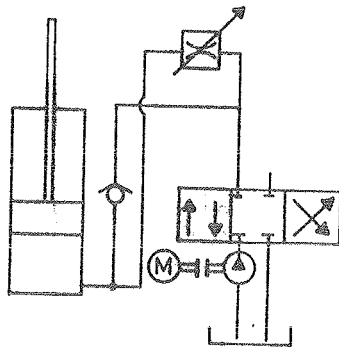
5. Strojevi

Strojevi na kojima su izvršeni pokusi su proizvod Prvomajske Raša u Raši.

5.1. Horizontalna tračna pila " SELECT-O-MAT" 320 Prvomajska, Raša.

Područje rezanja do promjera 320 mm.

Hidraulički sistem posnične kretnje se regulira u izlaznoj grani radnog cilindra, regulatorom čija se željena veličina namješta prije odrezivanja [sl. 2.]

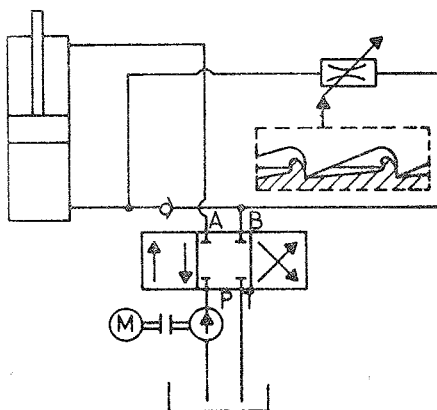


Sl.2. Šema regulacije SOM 320

5.2. Horizontalna tračna pila HAP 280 Prvomajska Raša

Područje rezanja do promjera 280 mm. Sistem posmične kretnje se regulira u izlaznoj grani radnog cilindra na željenu veličinu uz istovremenu samoregulaciju u toku rezanja [sl. 3]

Za treći pokus rezanja blokirana je igla regulatora tako da nije došlo do samoregulacije u toku rezanja.



Sl.3. Šema regulacije HAP-280

6. Rezultati pokusa

Obradjeni su na tri nivoa i to:

- 6.1. Na stroju SOM 320
- 6.2. Na stroju HAP 280 sa samoregulacijom
- 6.3. Na stroju HAP 280 bez samoregulacije

6.1. Rezultati pokusa na stroju SOM 320 su tabelarno prikazani u tabeli [1]

SOM 320	Vrijeme odrezivanja t (min)	Učin odrezivanja U (m ² /min)	Broj odrezaka N	Ukupna odrezana površ. A (m ²)
	3,5	0,00323	137	1,55

Tablica 1.

6.2. Rezultati pokusa na stroju HAP 280 sa samoregulacijom su tabelarno prikazani u tabeli [2]

HAP-280 sa samoregulacijom	Vrijeme odrezivanja t (min)	Učin odrezivanja U (m ² /min)	Broj odrezaka N	Ukupna odrezana površ. A (m ²)
	1,5	0,00750	310	3,51

Tablica 2.

6.3. Rezultati pokusa na stroju HAP 280 bez samoregulacije su tabelarno prikazani u tabeli [3]

HAP-280 bez samoregulacije	Vrijeme odrezivanja t(min)	Učin odrezivanja U(m ² /min)	Broj odrezaka N	Ukupna odrezana površ.A(m ²)
	2,3	0,00490	210	2,47

Tablica 3.

Rezultati ispitivanja na svakom nivou su razradjeni sa po tri bimetalne trake, te su uzete prosječne aritmetričke vrijednosti.

7. Zaključna razmatranja

Na osnovu rezultata iz točke 6 vidljivo je da su najpovoljniji rezultati odrezivanja postignuti na HAP-280 sa samoregulacijom, gdje su vremena odrezivanja u prosjeku 45% manja u odnosu na ostale.

Istovremeno postojanost alata je veća za 40%.

U usporedbi pokusa 3 (sistem pozitivnog pritiska bez samoregulacije), a u odnosu na pokus 1 (gravitacioni sistem) vidljivo je da su rezultati učina odrezivanja bolji za 35%, uz povećanu postojanost alata za 33%.

Time se potvrđuje opravdanost primjene sistema sa pozitivnim pritiskom.

Iz usporedbi sistema sa samoregulacijom (pokus 2 i 3) vidi se da su učini rezanja veći za 35% a postojanost alata za 32% u odnosu na sistem bez samoregulacije.

Na osnovu ovog istraživanja i istraživanja koja su se provela u Prvomajskoj Raša na predmetu rezanja različitog materijala i promjera, došlo je do realizacije programa strojeva sa pozitivnim pritiskom i samoregulacijom. Naredni zadatak je da u budućim radovima ispitamo utjecaj promjene temperature hidrauličkog ulja na navedene karakteristične parametre odrezivanja.

8. Oznake

t - vrijeme odrezivanja u minutama

U - učin odrezivanja u m²/min

N - broj rezova

A - ukupna odrezana površina u m²

9. Literatura

[1] Istraživanje horizontalnog tračnog piljenja, Laboratorij za obradu i eksploataciju obradnih sistema, Tehnički fakultet Rijeka, 1979.

[2] D.Reng, Leistungssteigernde Massnahmen beim Metall-Bandsägen, Maschinenmarkt, 82, 1986/8.

21. SAVETOVANJE PROIZVODNOG STROJARSTVA JUGOSLAVIJE, OPATIJA, 1987.

MODELIRANJE PROCESA GLODANJA U CILJU IDENTIFIKACIJE LOMA ALATA ZA
VREME REZANJA
MODELING MILLING PROCESS TO THE DETECTION OF TOOL BREAKAGE AND CHIPPING
OF THE CUTTING PROCESS

M. Dimitrić

Tehnički fakultet "Mihajlo Pupin"
23000 ZRENJANIN.

Ključne reči: SAŽETAK: U radu je dat kratak prikaz
Rezanje uprošćenog algoritma praćenja i identifikacije loma
Sile rezanja alata za vreme procesa rezanja, pomoćnu komponenti
Adaptivno up- sile rezanja. Koristeći senzor za identifikaciju ka-
ravljanje rakteristika promena, moguće je zaustaviti koračne
 motore pre nego što odlomljena ivica sečiva alata
 ponovo počne rezanje.

Key words: ABSTRACT: The paper describes a rather simple and
Cutting efficient algorithm for processing the milling force
Cutting force signal to detect cutter breakage. Using force sensors
Adaptive control to identify the characteristic change, it should be
 possible to stop the feed motion before the broken
 tool starts to dig into the workpiece.

i. Uvod

Signali za komponente sile rezanja mogu se koristiti u sistemu adaptivnog upravljanja za identifikaciju loma, krzanja i habanja alata za vreme procesa rezanja.

Komponente sile rezanja i momenti kod glodanja imaju periodični karakter promena zbog promenljivog broja zuba u zahvaću, promene debljine strugotine duž reznog luka, stalnog izlaska i ulazka zuba u zahvat i td. Prvi pokušaji modeliranja ovakvih procesa su bili modeli sa dinamičkom promenom sile i momenta u procesu u vremenskom domenu. Praćenje promena komponenti sila i momenata je vršeno preko dinamometara u vidu mernih platformi, dinamometara u vidu mernog trna, promene jačine struje motora na glavnom vretenu itd. Signali su modelirani kao diskretan autoregresivni model gde se pojedini parametri ocenjuju pojedinačno i kao takvi koriste se u adaptivnom algoritmu.

Automatsko otkrivanje loma reznog alata u procesu rezanja je veoma važno za bezbedan i normalan rad mašine. U cilju preventivnog obezbedjenja od mogućih posledica na radnom predmetu i mašini usled loma alata od senzo-

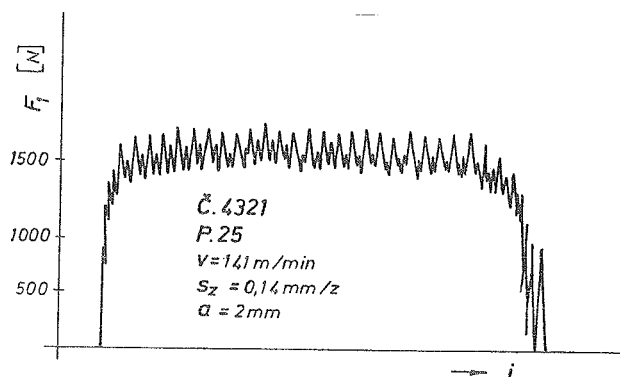
rske tehnike se zahteva brzo i pouzdano reagovanje na neočekivane lomove. Od izvedenih istraživanja koja uključuju kontrolu sile rezanja, struje motora, zvučne emisije i td, najveći broj slučajeva razvijan je za operacije struganja gde se radi o kontinualnom jednosečnom rezanju.

2. Modeliranje procesa za identifikaciju loma alata na primeru čeonog glodanja.

Za slučaj višesečnog rezanja, gde se glodanje može uzeti kao jedno od složenijih operacija s obzirom da se radi o višesečnim alatima čiji zubi periodično ulaze i izlaze iz zahvata, gde se nalazi više zuba u zahvatu, debljina strugotine se menja duž reznog luka i td., modeliranje praćenja procesa je mnogo teže.

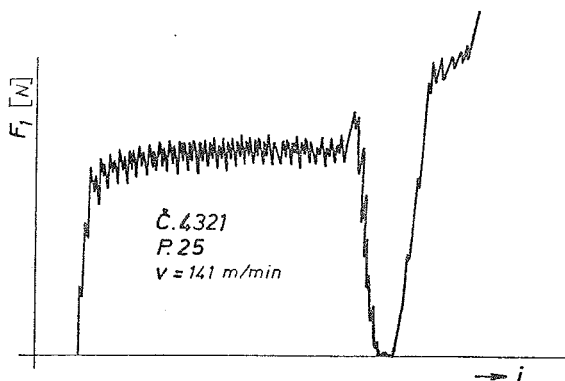
Zbog stohastičke prirode procesa rezanja, AR/PPAR (AR-autoregresija/PPAR - promenljiva prosečna autoregresija), modeli sa podacima za silu rezanja u vremenskom domenu mogu se veoma uspešno koristiti za obradu podataka u širokom spektru obrade rezanjem i problemima u proizvodnom mašinstvu. Međutim, primena ovih modela za praćenje procesa zahteva dosta merne opreme a obradjeni signali se koriste za Off-line identifikacioni algoritam. Na osnovu vršenih ispitivanja dobijani su vrlo karakteristični signali za promene komponenti sile rezanja, kao što je prikazano na slici 1. za glavni otpor rezanja (F_1).

U trenutku kada dodje do loma ili krzanja alata, uslovi rezanja se naglo menjaju i u prvom trenutku dolazi do rasterećenja alata, opterećenje pada na nulu posle 2-3 μ s



Sl. 1. Promena glavnog otpora rezanja kod glodanja

usled nastalog zazora izmedju alata i radnog predmeta zbog odlomljenog dela alata. Kako alat i dalje kontinualno vrši kretanje približava se radnom predmetu poništavajući nastali zazor pri čemu otpori ponovo, naglo rastu preko normalne vrednosti (Sl.2).



Sl. 2. Promena glavnog otpora pri odlomljenom vrhu alata.

Koristeći senzor za komponente sile rezanja i mikroprocesor za identifikaciju karakteristika promena, porasta i pada na nulu sila rezanja, moguće je zaustaviti koračne motore pre nego što odlomljena ivica sečiva alata ponovo počne rezanje, čime se sprečava dalje razaranje alata i sve druge posledice koje se mogu pojaviti na radnom predmetu i mašini. Od više poznatih izraza za sračunavanje sile rezanja, u cilju određivanja graničnih vrednosti, u praksi se najčešće koristi

$$F_i = \delta \cdot b \cdot k_s \cdot k_y \cdot k_v \cdot z_i \left(\frac{h_s r}{c} + 1 \right)$$

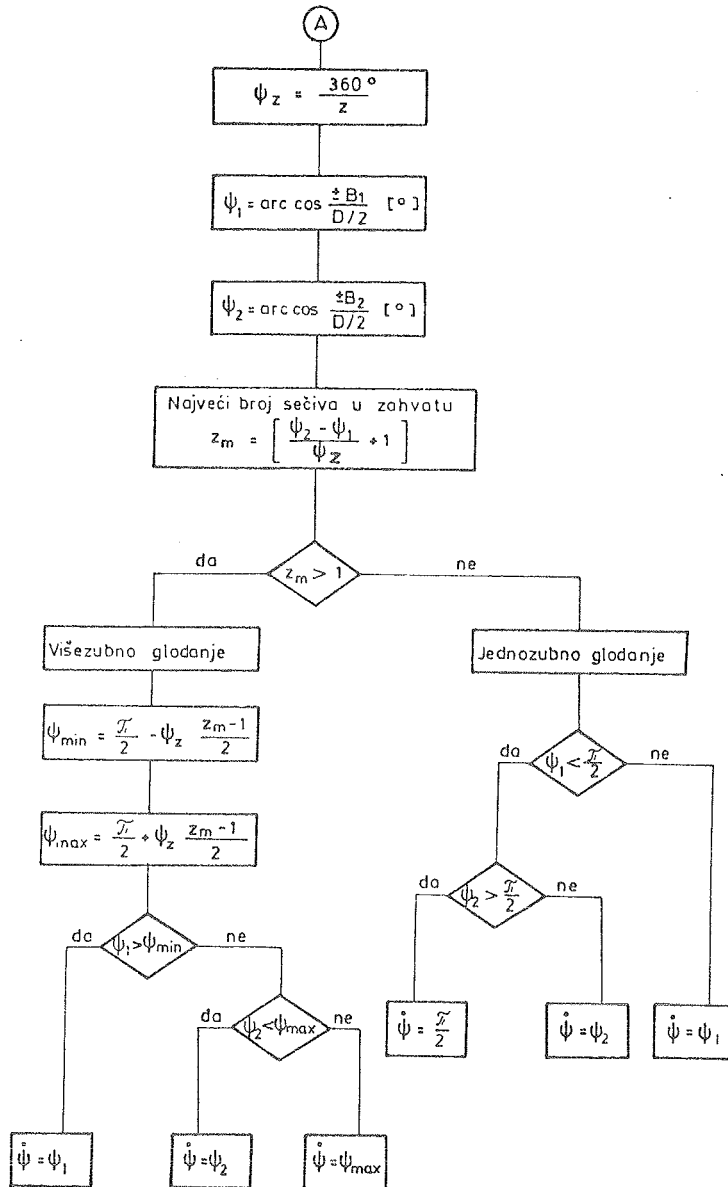
Transformacijom komponenti sile rezanja F_1 , F_2 i F_3 u koordinatni sistem mašine u pravcu ose x , y i z dobijaju se kao

$$F_y(\psi) = F_1(\psi) \cos \psi + F_3(\psi) \sin \psi$$

$$F_x(\psi) = F_1(\psi) \sin \psi - F_3(\psi) \cos \psi$$

$$F_z(\psi) = -F_2(\psi)$$

Iz jednačine (2) se vidi da komponente sile rezanja rastu sa porastom ugla zahvatanja (ψ), pri čemu se maksimalne vrednosti pojavljuju za



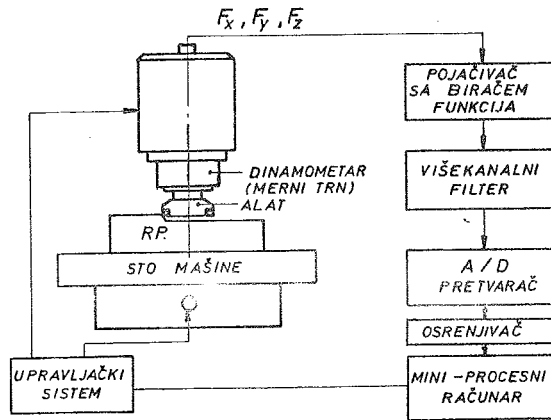
Sl.3. Dijagram toka za određivanje ugaonog položaja .

$\gamma = 90^\circ$, da bi posle toga opet opale. Sa povećanjem broja zuba glodala, izjednačava se tok promena sila, ali je i pored toga moguće konstatovati jasno oscilovanje kao i obrazovanje maksimalne sile i momenata.

Pri utvrđivanju položaja maksimalnih vrednosti sila pri više-zubnom glodanju nije se pošlo od maksimalne sume sinusnih vrednosti, već je to uradjeno na osnovu dijagrama toka odlučivanja (Sl.3).

Većina do sada izvedenih aplikacija koristi uglavnom dosta mernih uređaja koji izmerene vrednosti u toku vremena obradjuju i tako obradjene koriste za Off-line identifikacioni algoritam.

Za slučaj On-line praćenja loma i habanja alata i za slučaj višesečnih alata kao baza se uzimaju PPAR-modeli pri čemu se koriste amplitudni signali iz procesa. Za ocenu i uporedjenje rezultata iz procesa sa zadat-



Sl. 4. Praćenje komponenti sile rezanja kod čeonog glodanja.

im vrednostima, potrebno je i neophodno obraditi i analizirati rezultate u toku 2-3 obrtaja alata.

Eksperimentalna šema za slučaj procesa glodanja prikazana je na slici 4. Eksperimenti su izvodjeni na univerzalnoj glodalici PGU 400/VI (Prvomajska, Zagreb).

Komponente sile rezanja merenje su KISTLER-ovim dinamometrom. Signali za komponente sile rezanja su analizirani u intervalima od 10 ms i obradjivani na miniračunaru.

Lom alata nije se mogao lako uočiti direktno na signalu sile rezanja. Međutim, jednoznačniji podaci o ovim signalima dobijani su adaptivnim filtriranjem sa instaliranom opremom sa AR modelom u povratnoj sprezi.

Za dobijanje pouzdanih rezultata, potrebne su analize rezultata za dvatri obrtaja alata. U izvedenim ispitivanjima analize su vršene za 15 obrtaja.

3. Literatura

- /1/ DIMITRIĆ, M., Provera pouzdanosti metode za indirektno praćenje habanja višesečnih alata za vreme rezanja, IV stručno-naučni skup LOLA, februar 1986, Beograd, str.4101 - 4110.
- /2/ DIMITRIĆ, M., Stojsavljević, S., Razvoj senzora za sistem adaptivnog upravljanja kod alatnih mašina za obradu rezanjem, Peti Jugoslovenski simpozijum (JUPITER), Cavtat, 1986, str. 284.291.
- /3/ DIMITRIĆ, M., Pouzdanost alata domaće proizvodnje pri obradi čelika za automate, Elaborat br. 814/86, Beograd, LOLA-INSTITUT, 1986.
- /4/ ŠOLAJA, V., DIMITRIĆ, M., LUKIĆ, Lj., On the Two Cases Yugoslav Attempts in ACC, II International Conference on Manufacturing Science Technology and Systems of the Future, Ljubljana 1985.
- /5/ DIMITRIĆ, M., SALETA, D., GAJIĆ, S., Istraživanje i razvoj reznih pločica na bazi silicijum nitrida, Trinaesta JUPITER konferencija, Cavtat, 9-13, februara 1987, str. 139-145.
- /6/ Tlusty, J., Andrews, G.C., A Critical Review of Sensors for Unmanned Machining, Annals of the CIRP Vol. 32/2/1983, 563-572.

21. SAVJETOVANJE PROIZVODNOG STROJARSTVA JUGOSLAVIJE, OPATIJA, 1987.

MOGUĆNOST pouzdanog PREDVIĐJANJA KVALITETA OBRADJENE POVRŠINE

THE POSSIBILITY OF RELIABLE PREDICTION THE TREATED SURFACE
QUALITY

S. Ekinović Mašinski fakultet u Zenici, Univerzitet u Sarajevu
12. aprila 1, 72000 Zenica, Jugoslavija

Ključne riječi: REZIME: Rad ima za cilj da da teorijske osnove proračuna, na osnovu kojeg se može pouzdano predvidjeti kvalitet obradjene površine. Naime, mnogo bi značila činjenica da se sa sigurnošću može predvidjeti, da u određenoj seriji proizvodnje određenih dijelova neće biti niti jednog dijela koji nije u granicama propisanih tolerancija, ili pak mogućnost da se može kalkulirati sa brojem škart-dijelova unaprijed propisanim mijenjanjem uslova obrade. Znači, u graničnom slučaju, na osnovu datog proračuna može se tvrditi da u određenoj seriji proizvodnje neće biti škarta. Na osnovu statističke obrade date su raspodjele izmjerenih vrijednosti visina neravnina, kako dozvoljenih tako i nedozvoljenih. Osnovu proračuna čini upoređivanje navedenih raspodjela.

Key words:
Prediction
Quality
Surface

ABSTRACT: The purpose of this work is to present the theoretical foundation of calculation which gives the possibility of reliable prediction the treated surface quality. Namely, it is of the great importance that it can be known, with security, that in some batch of machined elements there will be none without the limits of tolerances or if we can change, to our mind, the number of scrap by varying machining conditions. That means, in the limit case, that it can be affirmed, after some calculation, there will not be scrap in some batch of machined.

In this work, on the base of statistics calculation, the distributions of measured values of surface roughness, allowed as well as not allowed, are given.

The comparison of these distributions makes the base of calculation.

1. Teoretske osnove

Hrapavost obradjene površine je jedan od izlaznih parametara procesa obrade. Cilj je da se ulaznim parametrima tako definišu uslovi obrade, kako bi se na kraju imali što bolji izlazni parametri.

Ograničavajući se na visinu neravnine obradjene površine R_z kao pokazatelj hrapavosti, može se konstatovati njena funkcionalna zavisnost od niza

faktora:

$i_z = f(s, v, t, \text{geometrija reznog dijela alata, veličina pohabano-}$
 $\text{nosti alata, način hladjenja, način odvodjenja strugotine,}$
 $\text{materijala obratka, materijala alata, ...),}$

gdje su s, v, t , posmak, brzina rezanja i dubina rezanja.

Za iste uslove obrade kod određenog broja izradaka, pojaviće se različite vrijednosti hrapavosti. Znači, postoji rasipanje pojave veličine vrijednosti R_z , koje se može predstaviti funkcijom gustine $f(R_z)$. Za različite uslove obrade a, b, \dots, i, \dots, r , brojevi obradaka koji se obraduju su $y_{za}, y_{zb}, \dots, y_{zi}, \dots, y_{zr}$, sa relativnim učestanostima $\varphi_a = y_{za}/y_z$, $\varphi_b = y_{zb}/y_z$, \dots , $\varphi_r = y_{zr}/y_z$, gdje je y_z ukupan broj izradaka na kojima se mjerila hrapavost.

Broj izradaka iz svake skupine koji će imati neku određenu vrijednost visine neravnine R_z (slika 1) biće (za različite uslove obrade):

$$y_a = f_a y_{za}$$

$$y_b = f_b y_{zb}$$

$$y_r = f_r y_{zr}$$

tako da je ukupan broj izradaka koji imaju određenu vrijednost R_z :

$$y_{R_z} = y_a + y_b + \dots + y_i + \dots + y_r$$

Podijelivši ovaj broj sa ukupnim brojem izradaka y_z dobije se relativno učešće svih vrijednosti visina neravnina R_z po svim spektrima uslova obrade, tj.

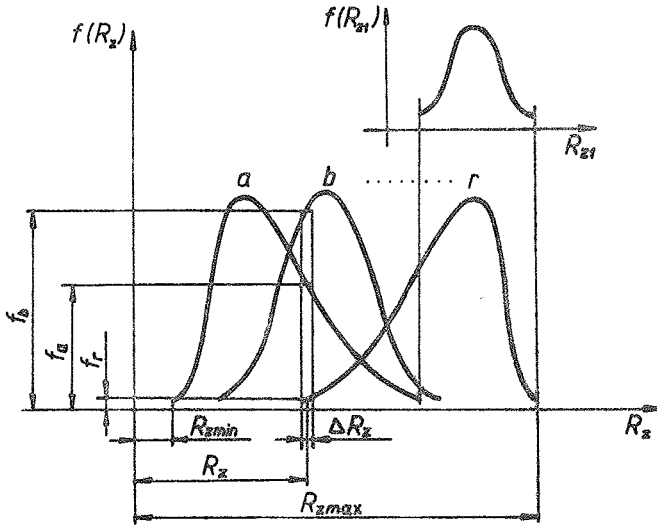
$$f_{(R_{zZ})} = \frac{y_{R_z}}{y_z} = \frac{f_a y_{za} + \dots + f_i y_{zi} + \dots + f_r y_{zr}}{y_z} =$$

$$= f_a \varphi_a + \dots + f_i \varphi_i + \dots + f_r \varphi_r$$

$$f_{(R_z)} = \sum_{i=a}^r f_i \varphi_i, \quad \text{što predstavlja jednačinu zbirnog, odnosno rezultujućeg spektra.}$$

Međutim, s aspekta predviđanja kvaliteta, najpogodnija je upotreba raspodjele najvećih visina neravnina $f(R_{z1})$, koja je prikazana na slici 1,

pri čemu je $R_{z1 \min}$ minimalna vrijednost najvećih visina neravnina, a $R_{z1 \max}$ maksimalna vrijednost najvećih visina neravnina.



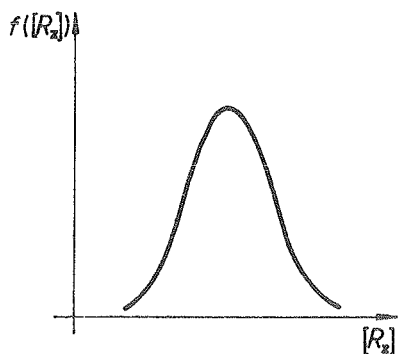
Slika 1. Odredjivanje zbirnog spektra

Prema tome, za dalji proračun uzete se raspodjela za najveće vrijednosti pokazatelja $f(R_{z1})$.

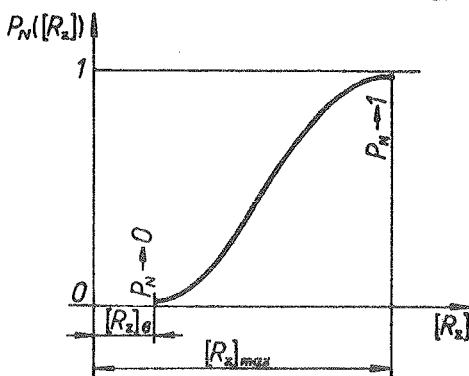
Dijelovi koji imaju hrapavost veću od dozvoljene predstavljaju škart-dijelove. Neka je sa $[R_z]_G$ obilježena granična, odnosno dozvoljena vrijednost visine neravnine. Naravno, kod svih dijelova koji ne zadovoljavaju u pogledu tačnosti, ova vrijednost neće biti ista, nego različita, pa prema tome, može se formirati raspodjela nedozvoljene visine neravnina, odnosno raspodjela kritičnih stanja $f([R_z])$ što je prikazano na slici 2. Međutim, bolji uvid u raspodjelu nedozvoljenih vrijednosti $[R_z]$ daje zbirna funkcija gustine vjerovatnoće pojave nedozvoljenih vrijednosti visina neravnina $P_N([R_z])$ koja je prikazana na slici 3, pri čemu ona teži nuli ($P_N \rightarrow 0$) za graničnu, odnosno dozvoljenu vrijednost visine neravnine $[R_z]_G$, a jedinici ($P_N \rightarrow 1$) za maksimalno moguću vrijednost visine neravnine $[R_z]_{\max}$.

I ovdje će za različite uslove obrade a, b, ..., i, ..., r biti različite funkcije $P_N([R_z])$, pa analogno malopredjašnjem, može se dobiti

$$P_N = \sum_{i=a}^r P_{Ni} \varphi_i \cdot$$



Slika 2. Raspodjela nedozvoljenih visina neravnina



Slika 3. Zbirna funkcija gustine vjerovatnoće pojave nedozvoljenih visina neravnina

2. Mogući slučajevi odnosa raspodjela dozvoljenih i nedozvoljenih vrijednosti visina neravnina

Na slici 4 je prikazan slučaj gdje se sa potpunom sigurnošću može tvrditi da će svi dijelovi biti u granicama propisanih tolerancija. U tom slučaju neće doći do pojave vrijednosti visine neravnina $R_{z1 \max}$ koja je veća od dozvoljene $[R_z]$. Prema tome, ovom analizom se može doći do podataka o uslovima obrade^G (posmak, brzina rezanja, dubina i dr.) pri kojima će broj škart-dijelovi praktički biti jednak nuli.

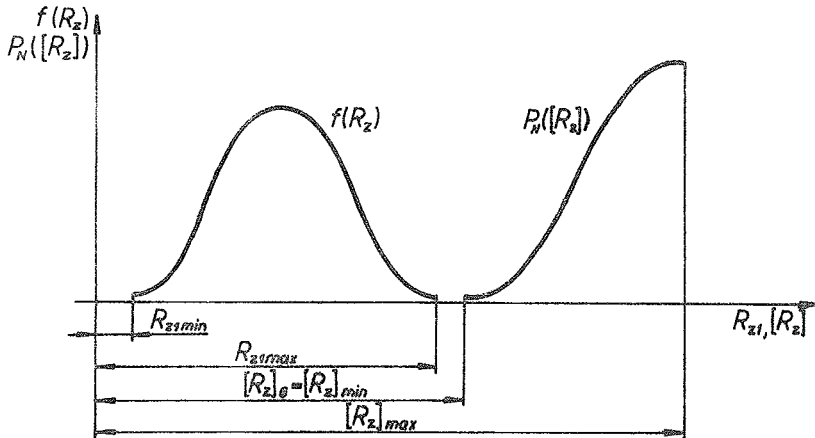
Medjutim u uslovima velikoserijske i masovne proizvodnje gdje je "dozvoljen" određen broj škart-dijelova može se manipulacijom uslova obrade dobiti manji ili veći broj takvih dijelova. Takav slučaj je prikazan na slici 5.

Ako se na primjer u nekoj seriji izrade određenih dijelova pri obradi sa režimima obrade RO_1 dobije vrijeme izrade svih dijelova T_1 , bez ijednog škart-dijela, analizirajući slučaj na slici 5 moguće je, uz rizik pojave škart-dijelova, vršiti obradu sa režimima RO_2 pri čemu će vrijeme T_2 biti manje od T_1 . To znači da će i proizvodnja u ovom drugom slučaju biti jeftinija bez obzira na pojavu određenog broja škart-dijelova.

Ovaj proračun omogućava kalkulaciju u predviđanju škart-dijelova tako što se predviđanje broja škart-dijelova svodi na proračun vjerovatnoće pojave nedozvoljene vrijednosti visina neravnina i to na sljedeći način. Predstavivši funkcije $f(R_{z1})$ i $P_N([R_z])$ u stepenastom obliku, za prvi, j-ti, interval preklapanja vrijednosti navedenih funkcija su $f_j(R_{z1})$, odnosno $P_{Nj}([R_z])$, u i-tom intervalu $f_{j-1+i}(R_{z1})$ i $P_{Ni}([R_z])$ i u posljednjem, k-tom $f_k(R_{z1})$ i $P_{Nk-1+1}([R_z])$.

Broj dijelova sa vrijednošću visine neravnine R_{z1j} u prvom intervalu je $\sum f_j(R_{z1})$. Od ovog broja izvjestan broj će imati i nedozvoljenu vrijed-

post $[R_{z1}]$. Broj dijelova sa tom nedozvoljenom vrijednošću je $y_x f_j(R_{z1}) \cdot P_{Ni}([R_{z1}])$, odnosno, ovo je broj očekivanih škart-dijelova za prvi (j-ti) interval.



Slika 4. Uslovi obrade koji obezbjedjuju proizvodnju bez škart-dijelova

Ako se ovo ponovi za sve intervale, onda se sabiranjem dobije ukupan broj dijelova koji će imati vrijednost nedozvoljene hrapavosti, odnosno broj škart-dijelova

$$y_{\text{q}} = y_x \sum_{i=1}^{k-j-1} f_{j-1+i}(R_{z1}) P_{Ni}([R_z]).$$

Ako se ovaj broj podijeli sa ukupnim brojem dijelova, dobije se vjerovatnoća pojave škart-dijelova

$$Q = \sum_{i=1}^{k-j-1} f_{j-1+i}(R_{z1}) P_{Ni}([R_z]),$$

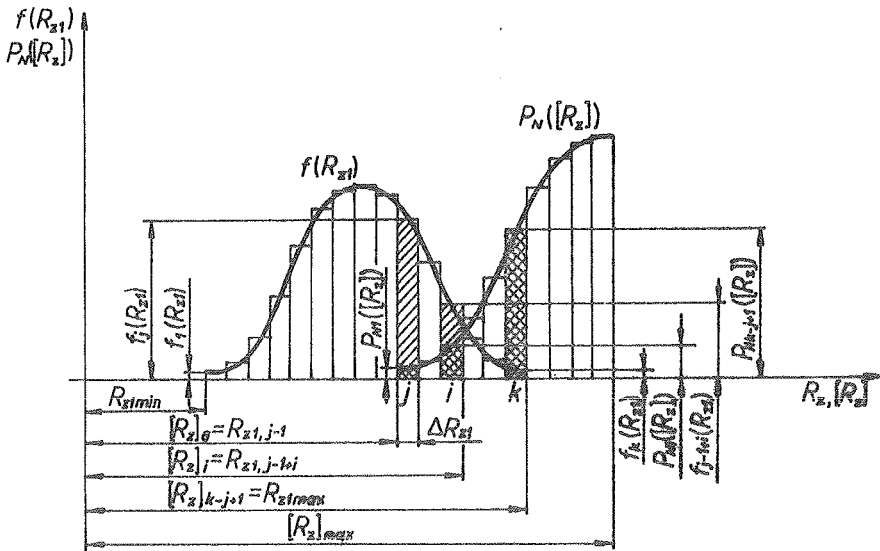
odnosno u kontinuiranom obliku funkcija $f(R_{z1})$ i $P_N([R_z])$

$$Q = \int_{[R_z]_G}^{R_{z1max}} f(R_{z1}) P_N(R_{z1}) dR_{z1},$$

jer je u području preklapanja $R_{z1} = [R_z]$.

Na osnovu ovoga, broj tačno obradjenih dijelova, odnosno dijelova obradjenih u granicama tolerancija je

$$R = 1 - Q.$$



Slika 5. Uslovi obrade pri kojima se javljaju škart-dijelovi

3. Primjer

Ne ulazeći u analizu matematičke obrade, primjera radi, neka je na jednoj seriji izradaka ustanovljena normalna raspodjela vrijednosti R_z , sa srednjom vrijednošću $\mu_{R_z} = 30 \mu m$, i sa standardnom devijacijom $\sigma_{R_z} = 3 \mu m$. Ako se i nedozvoljene vrijednosti $[R_z]$ pokoravaju normalnoj raspodjeli, sa $\mu_{[R_z]} = 40 \mu m$ i $\sigma_{[R_z]} = 4 \mu m$ onda se vjerovatnoća pojave tačnih dijelova dobije na slijedeći način.

Donja granica standardizovane slučajno promjenljive je

$$z = - \frac{\mu_{[R_z]} - \mu_{R_z}}{\sqrt{\sigma_{[R_z]}^2 + \sigma_{R_z}^2}} = - \frac{40 - 30}{\sqrt{4^2 + 3^2}} = -2$$

Korišćenjem statističke tabele dobija se da je odgovarajuća komulativna vjerovatnoća ravna 0,0228 i to za vrijednost $z = 2$, što znači da se ista vrijednost ostvaruje i za $z = -2$, samo u ovom slučaju to je vjerovatnoća da će slučajno promjenljiva imati vrijednost manju od -2 . Prema tome, koristeći poznati izraz dobije se vjerovatnoća pojave tačnih dijelova, odnosno dijelova obradjenih u granicama tolerancija:

$$P = 1 - \Phi(z) = 1 - 0,0228 = 0,9772,$$

odnosno 97,72 % dijelova su "dobri", a 2,28 % su škart.

4. Zaključci

1. Na ovaj način se može pouzdano predvidjeti učesće škart-dijelova u nekoj seriji.
2. Proračun na ovaj način omogućuje i definisanje parametara obrade takvih da se na kraju kod svih dijelova hrapavost nalazi u granicama tolerancije.
3. U svrhu prvog i drugog zaključka potrebno je samo odrediti zavisnost režima obrade i vjerovatnoće pojave škart-dijelova, što onda omogućava da se promjenom uslova obrade, mijenja broj škart-dijelova.

L I T E R A T U R A

- /1/ Dhillon B.S., Singh C., Engineering Reliability-New Tehchiques and Applications, John Wiley & Sons, New York, 1981, prevod na ruski, Inženernie metodi obespočeniya nadežnosti sistem, Moskva, Mir, 1984.
- /2/ Dusman F., Stančec R., Odabrana poglavlja iz kontrole kvalitete, FSB Zagreb, 1983.
- /3/ Stanić J., Merenje i kvalitet obrade, II deo, Mašinski fakultet, Beograd, 1976.
- /4/ Savić Z., Mogućnosti i metode odredjivanja pouzdanosti mašinskih sistema u procesu konstruisanja, Mašinski fakultet, Beograd.
- /5/ Savić Z., Möglichkeiten und Methoden der bestimmung der sicherheit und der Zuverlässigkeit vou Elementen der Maschinensysteme, International conference on engineering design, Hamburg, 1985.

21. SAVJETOVANJE PROIZVODNOG STROJARSTVA JUGOSLAVIJE, OPATJA, 1987.

PRILOG ODREĐIVANJU STEPENA AUTOMATIZACIJE I TEHNOLOŠKIH NIVOA
SREDSTAVA RADA U METALOPRERADJIVAČKOJ INDUSTRIJI

V.Mečanin Mašinski fakultet Univerziteta "Džemal Bijedić"
u Mostaru, 88000 Mostar, Jugoslavia

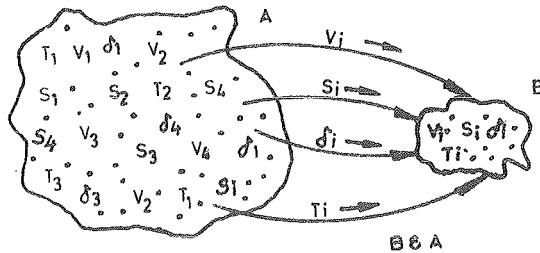
Ključne riječi: REZIME: Za istraživanje i razvoj proizvodnih sistema,
Mašina definisanje i optimiranje tehnoloških procesa, veoma
Stepen je značajno poznavanje stepena automatizacije i tehnoloških
Nivo nivoa sredstava za rad. Ove kategorije koje determinišu i limitiraju nivo tehnoloških procesa, nije jednostavno odrediti. Obzirom na to da ne postoje egzaktno definisani kriteriji za njihovo iznalaženje, u radu se razradjuje jedan od načina kao doprinos razrješenju ovog problema.

Key words: SUMMARY: It is of utmost importance to know the automation level and the technological level of means of production form investigation and development of production systems and for defining and optimization of technological processes. It is not simple to define these categories which determine and limit the level of technological processes. Considering the fact that there are no exactly defined criteria for their determination this paper presents one of the ways as a possible approach in solving this problem.

1. Definisavanje stepena automatizacije sredstava rada.

Iz teorije obrade metala rezanjem i deformisanjem, teorije projektovanja i optimizacije tehnoloških procesa i slično, poznato je da se tehnološki procesi mogu odvijati u područjima različitih nivoa automatizacije. Istraživanja pokazuju da se u zavisnosti od stepena razvijenosti pojedinih zemalja i njihovih fabrika, primjenjuju tehnološki procesi različitih nivoa počevši od onih manuelnih do "fabrika bez ljudi". Nivo tehnološke razvijenosti drastično varira unutar pojedinih zemalja i što je značajno, unutar pojedinih oblasti. Moglo bi se reći da je nivo tehnoloških procesa limitiran sa dvije grupe faktora: znanjem i materijalnim mogućnostima.

Prvi faktor, faktor znanja je možda mnogo uticajniji i značajniji, jer se i sa skromnijim materijalnim mogućnostima uz visok nivo znanja, mogu ostvariti dobri poslovni rezultati i obrnuto. Da bi se obradni procesi odvijali u prostoru optimalnih rješenja čija je geometrijska interpretacija prikazana na slici 1.1., potrebno je izvršiti proces optimizacije [2], [3].



Slika 1.1. Geometrijska interpretacija odvijanja obradnih i tehnoloških procesa

Ako prostor (B) označimo kao prostor optimalnih rješenja, a prostor (A) kao prostor mogućih rješenja, treba svakako učiniti sve da se obradni procesi odvijaju u prostoru optimalnih rješenja (B).

Odvijanje obradnih procesa prema slici 1.1. determinisano je samo parametrima obradnog procesa i ne govori ništa eksplicitnije o nivou automatizacije i tehnološkom nivou sredstava za rad (mašina i opreme). Znači, i ove veličine bi na neki način trebalo uzeti u obzir jer veoma utiču na nivo tehnološkog procesa. Ako nivo tehnološkog procesa označimo sa NTP, stepen automatizacije sredstava za rad sa A_i , tehnološki nivo sredstava za rad sa B_i i uticaj parametara obradnih procesa sa P_i , moguće je postaviti funkcionalnu zavisnost u obliku:

$$NTP = NTP (A_i, B_i, P_i) \quad (1.1.)$$

Jednačina (1.1.) važi za tehnološke procese proizvodnog sistema gdje se obradni procesi odvijaju na više različitih sredstava za rad (mašina). Radi toga slijede relacije:

$$A_i = A_i (a_1, a_2, a_3, \dots, a_i) \quad (1.2.)$$

$$B_i = B_i (b_1, b_2, b_3, \dots, b_i) \quad (1.3.)$$

$$P_i = P_i (p_1, p_2, p_3, \dots, p_i) \quad (1.4.)$$

Za rješenje jednačine (1.1.) potrebno je odrediti koeficijente (a_i), (b_i) i (p_i). Za određivanje parametara obradnih procesa pojedinih postupaka obrade, razvijene su analitičke i algoritamske metode i moglo bi se reći dovoljno istraživane. Optimiranje se izvodi na računaru i pri tome je moguće koristiti metode linearnih i nelinearnih optimizacija i ovdje o tim problemima neće biti govora. Biće govora samo o stepenu automatizacije (a_i) i nivou tehnološkog procesa (b_i).

Stepen automatizacije neke mašine ili sredstava za rad moguće je prema [1], definisati izrazom:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^m n_{ai}}{n_u} \quad (1.5.)$$

u kojem su :

a - stepen automatizacije,

n_{ai} - broj automatiziranih zahvata mašine,

n_u - ukupni broj zahvata koje treba ostvariti na mašini.

Ako se broj automatiziranih zahvata nekog sredstva ili mašine približava ukupnom broju zahvata, onda se stepen automatizacije (a) približava jediniци i u tom slučaju imamo potpuno automatizovanu mašinu.

Postavlja se pitanje kako i na koji način odrediti broj potrebnih zahvata koje neko sredstvo ili mašina treba da posjeduje. Obzirom na to, da se razmatranja odnose uglavnom na obradu metala rezanjem, moguće je poći od pretpostavke da se broj zahvata (n) u obradnim procesima podijeli u tri osnovne skupine. To su zahvati za:

- upravljanje materijalom, pripremcima i strugotinom,
- upravljanje funkcijama sredstava za rad i
- upravljanje ciklusima obrade.

Ove tri grupe zahvata treba da obuhvate ustvari upravljanje tokovima: materijala, alata, energije i informacija na mašinama i obradnim i proizvodnim sistemima.

Pri definisanju broja zahvata postavlja se i problem specifičnosti pojedinih postupaka obradnih procesa, kao što su: struganje, bušenje, brušenje, glodanje, rezanje navoja, razvrtnje, provlačenje, elektroeroziona obrada i slično.

Bez obzira na probleme specifičnosti obrade, definisanjem potrebnih zahvata za područje obradnih procesa kao što je obarada rezanjem naprimjer, moguće je odrediti i stepen automatizacije. Pregled zahvata za određivanje stepena automatizacije prikazan je u tablici na slici 1.2.

PREGLED ZAHVATA ZA MAŠINU (SISTEM):			
		NAZIV ZAHVATA	STATUS
UPRAVLJANJE MATE- RIJALOM ILI PRIPR.	1	Doprema materijala u zonu posluživanja	
	2	Odmjeravanje materijala (graničenje)	
	3	Hranjenje pripremcima	
	4	Stezanje obradaka	
	5	Otpuštanje obradaka	
	6	Otprema obradjenih dijelova	
	7	Otprema krajeva materijala	
	8	Transport strugotine	
UPRAVLJANJE FUNKCIJAMA MAŠINE (SISTEMA)	9	Uključivanje mašine (sistema)	
	10	Uključivanje glavnog kretanja	
	11	Isključivanje glavnog kretanja	
	12	Varijacija brzina glavnog kretanja	
	13	Izmjena smjera okretanja glavnog vretena	
	14	Uključivanje pomoćnog kretanja	
	15	Isključivanje pomoćnog kretanja	
	16	Varijacija brzina pomoćnog kretanja	
	17	Izmjena smjera pomoćnog kretanja	
	18	Uključivanje sredstava za hladjenje	
	19	Isključivanje sredstava za hladjenje	
	20	Izmjena alata	
	21	Izmjena magacina alata	
	22	Izmjena obradaka	
	23	Orijentacija (okretanje) obradaka	
	24	Upravljanje transportom	
UPRAVLJANJE CIKLUSIMA OBRADE	25	Pozicioniranje alata (primicanje i odmicanje)	
	26	Programiranje radnih hodova	
	27	Programiranje kompenzacije	
	28	Programiranje brzine rezanja	
	29	Programiranje pomaka	
	30	Programiranje putanje alata (geometrija)	
	31	Programiranje dubine rezanja	
	32	Programiranje korekcije: pomaka	
	33	Mjerenje i kontrola dimenzija	
	34	Selekcija obradaka	
REZERVNI ZAHVATI	.		
	.		
	.		
	.		

1-automatski rad
0-manuelni rad

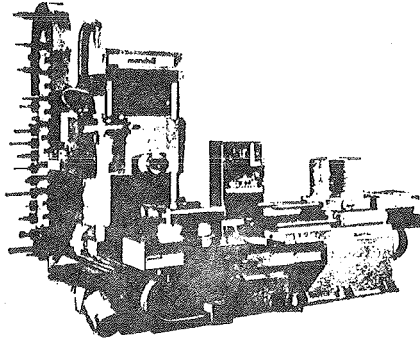
$$a = \sum_{i=1}^m n_{ai}/n_u$$

Slika 1.2. Pregled zahvata za određivanje stepena automatizacije

PREGLED ZAHVATA ZA MAŠINU (SISTEM): CNC strug			
		NAZIV ZAHVATA	STATUS
UPRAVLJANJE MATE- RIJALOM ILI PRIPR.	1	Doprema materijala u zonu posluživanja	0
	2	Odmjeravanje materijala (graničenje)	0
	3	Hranjenje pripremcima	0
	4	Stezanje obradaka	1
	5	Otpuštanje obradaka	1
	6	Otprema obradjenih dijelova	0
	7	Otprema krajeva materijala	0
	8	Transport strugotine	0
UPRAVLJANJE FUNKCIJAMA MAŠINE (SISTEMA)	9	Uključivanje mašine (sistema)	0
	10	Uključivanje glavnog kretanja	1
	11	Isključivanje glavnog kretanja	1
	12	Varijacija brzina glavnog kretanja	1
	13	Izmjena smjera okretanja glavnog vretena	1
	14	Uključivanje pomoćnog kretanja	1
	15	Isključivanje pomoćnog kretanja	1
	16	Varijacija brzina pomoćnog kretanja	1
	17	Izmjena smjera pomoćnog kretanja	1
	18	Uključivanje sredstava za hladjenje	1
	19	Isključivanje sredstava za hladjenje	1
	20	Izmjena alata	1
	21	Izmjena magacina alata	0
	22	Izmjena obradaka	0
	23	Orijentacija (okretanje) obradaka	0
	24	Upravljanje transportom	0
UPRAVLJANJE CIKLUSIMA OBRADE	25	Pozicioniranje alata (primicanje i odmicanje)	1
	26	Programiranje radnih hodova	1
	27	Programiranje kompenzacije	1
	28	Programiranje brzine rezanja	1
	29	Programiranje pomaka	1
	30	Programiranje putanje alata (geometrija)	1
	31	Programiranje dubine rezanja	1
	32	Programiranje korekcije pomaka	1
	33	Mjerenje i kontrola dimenzija	0
	34	Selekcija obradaka	0
REZERVNI ZAHVATI			
			21

$$a = \sum_{i=1}^m n_{ai}/n_u = 21/34 = 0,617$$

Slika 1.3. Primjeri iznalaženja stepena automatizacije za strug sa CNC upravljanjem



Slika 1.4. Obradni centar kao mašina sa visokim stepenom automatizacije

1.	Stepen automatizacije za strug sa klasičnim upravljanjem	$a_i = 0,086$
2.	Stepen automatizacije CNC struga	$a_i = 0,617$

Slika 1.5. Stepeni automatizacije strugova sa klasičnim i kompjuterskim upravljanjem.

Nakon odredjivanja stepena automatizacije za pojedine mašine preko broja zahvata, moguće je odrediti stepen automatizacije sistema koji predstavlja srednju vrijednost sume stepena automatizacije sredstava za rad i ima oblik:

$$A_S = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N a_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \frac{\sum_{i=1}^m n_{ai}}{n_u} \quad (1.6.)$$

U jednačini (1.6.) N predstavlja broj mašina u sistemu koje učestvuju u tehnološkom procesu, a a_i - stepen automatizacije određene mašine.

Poznavanjem stepena automatizacije sredstava rada ili sistema, moguće je vršiti daljnje analize u smislu tehno-ekonomskih efekata obradnih i proizvodnih procesa. To se prije svega odnosi na analize nivoa tehnoloških procesa, ekonomičnosti i proizvodnosti.

2. Definisavanje tehnoloških nivoa sredstava rada.

Osim stepena automatizacije sredstava rada kao najuticajnijeg faktora, veoma je važno poznavanje još jedne karakteristike koja govori o nivou izvršavanja tehnoloških zahtjeva u obradnim procesima. Ova osobina izražava tehnološko stanje sredstava za rad (mašina ili sistema) i koju smo u jednačini (1.1.) označili kao stepen tehnološkog nivoa sredstava za rad i označili sa (B_i). Stepen tehnološkog nivoa sredstava rada zavisi od: stepena automatizacije, kvaliteta izrade, pohabanosti sredstava za rad i

valjanosti tehnološkog procesa i može se izraziti u obliku:

$$B_i = B_i(a_i, k_i, p_i) \quad (2.1.)$$

gdje su:

a_i - stepen automatizacije sredstava za rad,

k_i - karakteristika kvaliteta i stanja sredstava za rad i

p_i - parametri tehnološkog procesa (v, s, d, T, \dots).

Stepen tehnološkog nivoa sredstava za rad (mašina ili sistema) treba da posluži kao faktor preko koga se vrši korekcija nivoa tehnološkog procesa NTP, jednačina (1.1.).

Naime, može se desiti da sredstva rada imaju isti stepen automatizacije, ali su im usljed upotrebe ili konstruktivnih rješenja tehnološke mogućnosti ipak različite. Uzmimo naprimjer univerzalne strugove sa klasičnim upravljanjem, gdje dvije mašine mogu imati isti broj automatiziranih zahvata ali različit broj brzina glavnog i pomoćnog kretanja i različitu pohabanost.

Jasno je, da će mašina sa većim brojem brzina i brojeva obrtaja i sa manjom dotrajalošću, imati veće tehnološke mogućnosti. Pri određivanju stepena tehnoloških karakteristika za koji ne postoje definisane jednačine, treba voditi računa, da se on mora kretati u granicama koje obezbjeđuju ekonomičnost primjene sredstava za rad. Stepen tehnoloških osobina moguće je odrediti po obrascu:

$$k_i = (1 - \alpha_i)$$

U kome je α_i koeficijent koji uzima u obzir tehnološke razlike i vrijeme upotrebe sredstava za rad (dotrajalost).

Koeficijent tehnoloških razlika (α_i) potrebno je na neki način odrediti za svako analizirano sredstvo za rad i on ne bi smio preći vrijednost od oko 0,10 ($\alpha_i \approx 0,10$). Poznavajući koeficijente tehnoloških razlika, moguće je izračunati stepen tehnoloških osobina (k_i), a zatim i stepen tehnološkog nivoa (B_i). Uvodeći izraze za stepen automatizacije (a_i) i stepen tehnoloških osobina (k_i) u jednačinu (2.1.), ista će poprimiti oblik:

$$B_i = a_i \cdot k_i = \frac{\sum_{i=1}^M n_{ai}}{n_u} \cdot (1 - \alpha_i) \quad (2.3.)$$

Uz pretpostavku da su parametri tehnoloških procesa (P_i) određeni optimizacionim putem i ne koriguju stepene tehnoloških nivoa sredstava rada, moguće je izračunati stepen tehnološkog nivoa proizvodnog sistema kao skupa sredstava rada, a time i nivo tehnološkog procesa sistema (NTP), prema jednačini koja ima oblik:

$$NTP = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N B_i = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N a_i \cdot k_i = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N \cdot \frac{\sum_{u=1}^N n_{ai}}{n_u} (1 - \alpha_i) \quad (2.4.)$$

U jednačini za izračunavanje nivoa tehnološkog procesa sistema (N) predstavlja broj mašina, odnosno sredstava rada koji učestvuje u tehnološkom procesu.

3. Zaključci

Na osnovu izlaganja u radu mogu se izvesti slijedeći zaključci:

- Da je za tehno-ekonomske analize tehnoloških procesa neophodno poznavanje nivoa tehnoloških procesa kako sredstava rada, tako i čitavog proizvodnog sistema.
- Poznavanjem nivoa tehnoloških procesa moguće je vršiti usporedbe uspjehnosti poslovanja dvaju ili više sistema analizom relevantnih parametara kao što su:
 - nivo iskorištenja sredstava rada,
 - proizvodnost
 - ekonomičnost
 - produktivnost
 - nivo iskorištenja materijala,
 - nivo škarta itd.
- Stepen automatizacije i nivo tehnološkog procesa treba da posluži kao objektivni faktor za analize uslova sticanja i raspodjele dohotka OOUR-a unutar radnih i složenih organizacija.
- Nivo tehnoloških procesa determiniše nivo razvijenosti određene sredine (regije, Republike ili zemlje) i treba da služi kao putokaz pri razvoju tehnoloških procesa i sredstava rada u metaloprerađivačkoj industriji i mašinogradnji.

4. Literatura:

- [1] Mečanin V. Automatske proizvodne linije, Mostar 1987.
- [2] Mečanin V. Teorijsko eksperimentalne podloge optimizacije obradnih procesa na fleksibilnim proizvodnim sistemima, BIAM '86., Zagreb 1986.
- [3] Himmelblau D.M., Applied Nonlinear programming, Mc GRAW-HILL New York 1972.

