

I N S T I T U T Z A A L A T N E S T R O J E V E
ZAGREB, Đure Salaja 1, tel. 512-464, 511-606

ZBORNIK SAOPĆENJA
VI SAVJETOVANJA O PROIZVODNOM STROJARSTVU
OPATIJA, 14. i 15. V 1970.

I knjiga - OBRADA DEFORMACIJOM

ZAGREB 1970

INICIJATOR SAVJETOVANJA:

Zajednica jugoslavenskih naučnoistraživačkih institucija
proizvodnog strojarstva

ORGANIZATORI SAVJETOVANJA:

Institut za alatne strojeve /IAS/, Zagreb
Fakultet strojarstva i brodogradnje u Zagrebu
Strojarski fakultet u Rijeci

ORGANIZACIONI ODBOR:

Berić Josip, dipl.ing., izv.profesor, dekan Strojarskog
fakulteta u Rijeci

Orneka Antun, dipl.ing., viši stručni suradnik, direktor
Instituta za alatne strojeve, Zagreb

Horvat Zvonimir, dipl.ing., viši asistent Instituta za
alatne strojeve, Zagreb

Margić Slavko, dipl.ing., viši predavač Strojarskog
fakulteta u Rijeci

Taboršak Drago, dipl.ing., izv. profesor, dekan Fakulteta
strojarstva i brodogradnje u Zagrebu

U okviru Zajednice jugoslavenskih naučnoistraživačkih institucija proizvodnog strojarstva zadetak organizacije VI SAVJETOVANJA O PROIZVODNOM STROJARSTVU pripao je Institutu za alatne strojeve u Zagrebu. Institut je pozvao da mu se kao organizatori ovog Savjetovanja priključe Fakultet strojarstva i brodogradnje u Zagrebu i Strojarski fakultet u Rijeci, što su ove visokoškolske ustanove i prihvatile. Time je VI savjetovanju dat određeni prošireni značaj.

Za VI savjetovanje iz triju tretiranih područja

- obrada deformacijom
- tehnoloških procesa i
- organizacije proizvodnje,

pripremljeno je ukupno četrdeset i pet referata iz instituta, fakulteta i privrednih organizacija. Ovi referati objavljuju se unaprijed u dvije knjige, time da će prva knjiga sadržavati referate iz područja obrade deformacijom, a druge referate iz tehnoloških procesa i organizacije proizvodnje. Po završetku Savjetovanja svi sudionici istoga primit će i treću knjigu saopćenja, u kojoj će biti objavljeni referati glavnih referenata, te pripremljeni koreferati i izvodi iz diskusije.

Iz područja obrade deformacijom pripremljeno je šestnaest referata, od kojih su tri s Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu, po dva s Tehničkog fakulteta u Nišu, Zavoda za alatne mašine, alate i mjernu tehniku u Sarajevu i Odsjeljenje Mašinskog fakulteta u Kragujevcu, te po jedan iz Instituta za naučnoistraživački rad "Đuro Đaković" u Slavonskom Brodu, tvornice "Gorica" iz Zagreba, Instituta za strojništvo u Ljubljani, Industrije hidraulike i pneumatike "Prva Petoletka" iz Trstenika, Instituta za alatne mašine i alate u Beogradu, tvornice OKI iz Zagreba i Instituta za alatne strojeve u Zagrebu.

Od ukupno petnaest saopćenja iz oblasti tehnoloških procesa, sedam ih je iz Instituta za alatne mašine i alate u Beogradu, tri iz Instituta za alatne strojeve u Zagrebu, dva iz tvornice "Ervomajske" iz Zagreba, te po jedan iz Industrije hidraulike i pneumatike "Prva Petoletka" iz Trstenika, Odeljenja Mešinskog fakulteta u Kragujevcu i Instituta za naučnoistraživački rad "Đuro Đaković", Slavonski Brod.

Organizacija proizvodnje zastupljena je s četrnaest referata, od kojih su četiri iz Instituta za alatne mašine i alate u Beogradu, dva individualna, a po jedan s Tehničkog fakulteta u Nišu, iz Tvornice olova u Zagreb, Zajednice zavoda za zaštitu na radu u Nišu, Instituta mašinskog fakulteta u Novom Sadu, tvornice "Rade Končar" iz Zagreba, Industrije hidraulike i pneumatike "Prva Petoletka" u Trsteniku, Instituta za alatne strojeve u Zagrebu, te iz Zavoda "Crvena zastava" u Kragujevcu.

Nakon pet dosada uspješno održanih savjetovanja /I u Beogradu 1965., II u Zagrebu 1966., III u Ljubljani 1967., IV u Sarajevu 1968. i V u Kragujevcu 1969./ danas već možemo govoriti o tradicionalnom okupljanju jugoslovenskih stručnjaka s područja strojarne proizvodnje na ovim savjetovanjima. Organizacioni odbor je uvjeren da će VI savjetovanje dati daljnji prilog afirmaciji ovakve razmjene iskustava i novih spoznaja na području razvoja proizvodnog strojarstva.

Zagreb, travnja 1970.

ORGANIZACIONI ODBOR VI SAVJETOVANJA

I KNJIGA

S A D R Ź A J

OBRADA DEFORMACIJOM /OD/	Strana
P. Popović: PRILOG ANALIZI PROŠIRENJA DOMENA PRIME- NE UNIFICIRANOG POGONSKOG MEHANIZMA MEHANIČKIH KRIVAJNIH PRESA	OD. 1.1
V. Stoiljković: UTJECAJ PROMENE DOHVATA NA ELASTI- ČNE DEFORMACIJE I TEŽINU TELA PRESE OTVORENOG TIPA	OD. 2.1
I. Čatić: UTJECAJ SUSTAVA ZA INJEKCIONO PRESANJE TERMOPLASTA NA STACIONARNOST PROCESA	OD. 3.1
V. Mitković: IDEALIZIRANI NAPON IZVLAČENJA U FUNK- CIJI ODNOSA DEFORMACIJA	OD. 4.1
M. Đikić: PRILOG ODREĐIVANJU GLAVNIH NAPONA KOD PRVE OPERACIJE DUBOKOG IZVLAČENJA BEZ PROMJENE DEBLJINE LIMA	OD. 5.1
B. Devedžić: FORMIRANJE KORELACIONOG POKAZATELJA INDUSTRIJSKE OBRADIVOSTI MATERIJALA DEFORMACIJOM	OD. 6.1
B. Devedžić: UTJECAJ BRZINE DEFORMACIJE NA STEPEN DEFORMACIONOG OJAČANJA MALOUGLJENIČNOG ČELI- ČNOG LIMA	OD. 7.1
A. Mulc, F. Kovačiček: ODREĐIVANJE KOEFICIJENTA KONTAKTNOG TRENJA METODOM UTISKIVANJA ŽIGA U METAL	OD. 8.1
J. Matin: PRIMJENA PLASTIČNE DEFORMACIJE EKSPLOZI- JOM /IZRADA DANACA ZA SUDOVE POD PRITISKOM/.....	OD. 9.1
D. Rudelić: PROBLEM MAZIVA I PODMAZIVANJA PRI PRO- CESIMA DUBOKOG IZVLAČENJA	OD.10.1
K. Kuzman: O NEKATERIH PROBLEMIMA PRI OSVAJANJU TEHNOLOGIJE KOVASKEGA VALJANJA	OD.11.1
Ž. Čajetinac, S. Marković: NEKI TEHNOEKONOMSKI EFE- KTI RAZVOJA TEHNOLOGIJE NA PROIZVODNJI HIDRAULI- ČKIH RADNIH CILINDARA	OD.12.1
D. Mandić: OSVRT NA IDEJE I RADOVE PROF.Dr ING. PAVLA STANKOVIĆA U OBLASTI PLASTIČNE DEFORMACIJE	OD.13.1
J. Hribar: SILE I DEFORMACIJE KOD DUBOKOG VUČENJA TANKOSTJENE LIMENE ROBE	OD.14.1

- J. Indof: OBRADA ČELIKA DEFORMACIJOM U HLADNOM STANJU /HLADNO UTISKIVANJE/ PRIMIJENJENA U PROIZVODNJI KALUPA ZA PRERADU POLIPLASTA OD.15.1
- V. Vujović: NAPONI I DEFORMACIJE PRI HLADNOM ROTACIONOM KOVANJU CJEVASTIH PROIZVODA OD.16.1

P. P o p o v i ć x)

PRILOG ANALIZI PROŠIRENJA DOMENA PRIMENE UNIFICIRANOG
POGONSKOG MEHANIZMA MEHANIČKIH KRIVAJNIH PRESA xx)

1. Uvod

U radu: "Prilog unifikaciji pogonskog mehanizma mehaničkih presa" - TEHNIKA br. 10 od 1965.god. analizirana je primena unificiranog pogonskog mehanizma na čitavom nizu mehaničkih krivajnih presa - različitih po njihovim performansama - i na osnovu tih rasmatranja lako se dolazi do domena primene ovakvog mehanizma s obzirom na promenu:

- veličine presovanja i
- dijapazona promene broja radnih hodova pritiskivača u jedinici vremena.

Na osnovu ovog principa u fabrici mašina "Ivo Lola Ribar" - Železnik, projektovana je familija ekscentarskih presa od 63, 80 i 100 Mp pritiska sa mogućnošću promene broja radnih hodova pritiskivača od $50 \div 120$ [min⁻¹], i to u varijantama: stabilnoj, nagibnoj, sa pokretnim radnim stolom, sa prednapregnutim vijcima i radnim stolom u obliku trna.

U ovom radu rasmatran je i tretiran slučaj t.zv. "delimično" unificiranog pogonskog mehanizma, tj. mehanizma u kome se unapred predviđa mogućnost ugradnje različitih elektromotora.

Odredjeni unificirani pogonski mehanizam, kome je između ostalog definisan i elektromotor karakterizira performanse familije presa u kojima se primenjuje. Ako se izvrši zamena elektromotora, menjaju se i karakteristike presa, pa su u vezi sa ovim rasmatrana tri slučaja, i to:

x) Predrag Popović, dipl.maš.ing., docent Tehničkog fakulteta Univerziteta u Nišu.

xx) Saopštenje sa Katedre za mašinsku obradu i mašine alatke Tehničkog fakulteta u Nišu.

1. Izvrši se zamena prvobitnog elektromotora - motorom veće snage, a istog broja obrtaja, tj.:

$$- P_{mi} \neq P_m, \text{ odnosno: } P_{mi} = n \cdot P_m \quad i$$

$$- n_{mi} = n \cdot n_m = n_m = \text{const.} \quad / m = 1 /$$

gde su: n - koeficijent odnosa snage novog i starog elektromotora,

m - koeficijent odnosa broja obrtaja novog i starog elektromotora,

P_m/P_{mi} - snaga prvobitnog /novog/ elektromotora u [kW] i

n_m/n_{mi} - broj obrtaja starog /novog/ elektromotora u [min⁻¹].

2. Zamenjuje se prvobitni elektromotor novim motorom iste snage, ali većeg broja obrtaja u jedinici vremena, tj.:

$$- P_{mi} = n \cdot P_m = P_m = \text{const.} \quad / n = 1 / \quad i$$

$$- n_{mi} \neq n_m, \text{ odnosno: } n_{mi} = m \cdot n_m.$$

3. Novi elektromotor u odnosu na stari ima veću snagu i veći broj obrtaja u jedinici vremena, tj.:

$$- P_{mi} \neq P_m, \text{ odnosno: } P_{mi} = n \cdot P_m \quad i$$

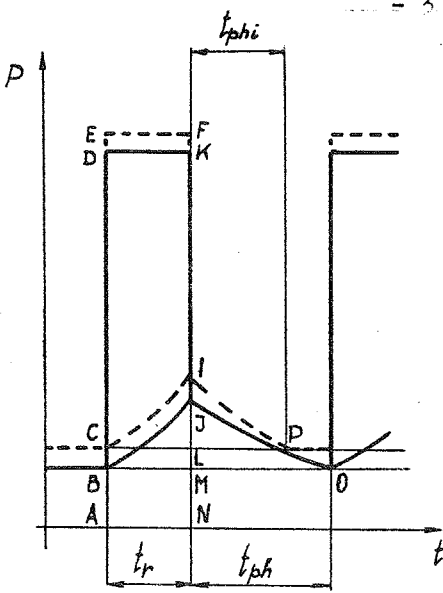
$$- n_{mi} \neq n_m, \text{ odnosno: } n_{mi} = m \cdot n_m.$$

I slučaj

Ovaj slučaj je definisan, kao što je već izneto, uslovima da je: $P_{mi} = n \cdot P_m$ i $n_{mi} = m \cdot n_m = n_m = \text{const.}$, gde su: $n > 1$ i $m = 1$.

Ako se posmatra idealizirani radni dijagram mehaničke krivajne prese za rafalni režim rada (slika 1) u pravougloj koordinatnoj sistemu, gde su: na ordinati nanosena snaga P , a na apscisi vreme t , tada sledeće površine predstavljaju:

- ADKN - ukupni rad $/A_u/$ starog elektrozamajnog pogona;
- AEFN - ukupni rad $/A_{ui}/$ novog elektrozamajnog pogona;
- BDKJ - rad zamajca $/A_z/$ starog elektrozamajnog pogona;
- CEFI - rad zamajca $/A_{zi}/$ novog elektrozamajnog pogona;



Slika 1

- ABJK - rad prvobitnog elektromotora / A_m / u radnom periodu radnog ciklusa / t_r /;
- ACIN - rad novog elektromotora / A_{mi} / u radnom periodu / t_r /;
- JMO - energija koju prvobitni motor preda zamajcu / A_{mph} / za vreme praznog hoda / t_{ph} / i
- ILP - energija koju novi elektromotor preda zamajcu / A_{mphi} / za vreme / t_{ph} /.

Iz dijagrama na slici 1 se vidi da je:

$$A_u = A_z + A_m \dots\dots\dots(1)$$

i

$$A_{ui} = A_{zi} + A_{mi} \dots\dots\dots(2)$$

Kako zamajac nije izmenjen pod pretpostavkom istog dozvoljenog pada broja njegovih obrtaja:

$$\delta = \delta_i = \text{const.}$$

Za vreme radnog perioda jednog radnog ciklusa / t_r / u oba slučaja, i površine BDKJ i CEFI, su medjusobno jednake, pa je:

$$A_z = A_{zi} \dots\dots\dots(3)$$

a pošto je: $A_{mi} > A_m$, to je i: $A_{ui} > A_u$.

Površine BDKJ i JMO, odnosno CEFI i ILP moraju medjusobno biti jednake, jer elektromotor za vreme praznog hoda / t_{ph} / jednog radnog ciklusa mora nadoknaditi izgubljenju energiju zamajcu u periodu / t_r /, odnosno:

$$A_z = A_{mph} \dots\dots\dots(4)$$

i

$$A_{zi} = A_{mphi} \dots\dots\dots(5)$$

gde su: A_{mph}/A_{mphi} - energija koju prvobitni /novi/ elektromotor preda zamajcu za vreme praznog hoda $/t_{ph}/$.

Ako se kriva pada snage elektromotora JO zameni pravom linijom, a čine se čini praktično zanemarljivo mala greška, tada se može napisati da je:

$$A_{mph} = \frac{1 + \lambda}{2} \cdot 102 \cdot P_m \cdot t_{ph} \quad [kpm] \quad \dots\dots\dots(6)$$

gde je: λ - koeficijent preopterećenja elektromotora za vreme radnog perioda radnog ciklusa i čija se vrednost kreće u granicama $\lambda = 1,7 \div 2,2$.

Analogno je i:

$$A_{mphi} = \frac{1 + \lambda}{2} \cdot 102 \cdot P_{mi} \cdot t_{phi} \quad [kpm] \quad \dots\dots\dots(7)$$

Kako je:

$$P_{mi} = n \cdot P_m \quad \dots\dots\dots(8)$$

te zamenom vrednosti za P_{mi} iz jednačine (8) u jednačinu (7) dobija se:

$$A_{mphi} = \frac{1 + \lambda}{2} \cdot 102 \cdot P_m \cdot n \cdot t_{phi} \quad [kpm] \quad \dots\dots\dots(9)$$

Ako se obeleži sa:

$$C_1 = \frac{1 + \lambda}{2} \cdot 102 \cdot P_m$$

tada se jednačine (6) i (9) mogu napisati u obliku:

$$A_{mph} = C_1 \cdot t_{ph} \quad [kpm] \quad \dots\dots\dots(10)$$

$$i \quad A_{mphi} = C_1 \cdot n \cdot t_{phi} \quad [kpm] \quad \dots\dots\dots(11)$$

S druge strane je rad zamajca:

$$A_z = A_{zi} = \frac{GD_z^2 \cdot \int \cdot n^2}{3600} \quad [kpm] \quad \dots\dots\dots(12)$$

gde su: GD_Z^2 - zamajni moment zamajca u $[kpm^2]$;

δ - pad broja obrtaja zamajca za vreme radnog perioda radnog ciklusa i

n_Z - broj obrtaja zamajca u $[min^{-1}]$,

pa ako se uvede zamena:

$$C_2 = \frac{GD_Z^2 \cdot \delta}{3600}$$

izraz (12) za rad zamajca dobija oblik:

$$A_Z = C_2 \cdot n_Z^2 \quad [kpm] \quad \dots\dots\dots(13)$$

Na osnovu uslova datih izrazima (4) i (5) i zamenom vrednosti za A_{mph} , A_{mphi} i A_Z iz jednačina (10), (11) i (12) dobija se:

$$C_1 \cdot t_{ph} = C_2 \cdot n_Z^2$$

$$\text{i } C_1 \cdot n \cdot t_{phi} = C_2 \cdot n_Z^2$$

odnosno:

$$C_1 \cdot t_{ph} = C_1 \cdot n \cdot t_{phi}$$

a odavde:

$$t_{phi} = \frac{t_{ph}}{n} \quad \dots\dots\dots(14)$$

tj. vreme u kome novi elektromotor nadoknadi izgubljenu energiju zamacu $/t_{phi}/$ je $1/n$ puta manje od vremena $/t_{ph}/$ u kome stari elektromotor nadoknadi izgubljenu energiju zamajca.

Znači, sa novim motorom, pod ostalim istovetnim uslovima, a to su da je: $\delta = const.$, $n_Z = const.$ i $GD_Z^2 = const.$, vreme regeneracije energije zamajca je kraće, a time se automatski može dozvoliti veći broj radnih hodova pritiskivača u jedinici vremena, čine se u familiji presa dobija brzohodija mašina - odnosno produktivnija - sa istom količinom raspoloživog rada.

Ova promena radnih hodova pritiskivača može se izvršiti na dva načina:

1. Promenom prenosnog odnosa od zamajca do kolenastog ili ekscentarskog vratila, tj. promenom prenosnog odnosa reduktora $/i_r/$.

Zato je:

$$t_{ph} = \frac{\alpha_{ph}}{6 \cdot n_e} \text{ sec.} \dots\dots\dots(15)$$

$$i \quad t_{phi} = \frac{\alpha_{ph}}{6 \cdot n_{ei}} \text{ sec.} \dots\dots\dots(16)$$

gde su: α_{ph} - ugao koji prebrise krivaja u praznom hodu u stepenima i
 n_e/n_{ei} - broj obrtaja kolenastog ili ekscentarskog vratila u $[\text{min}^{-1}]$ sa prvobitnim /novim/ elektromotorom,
pa zamalom vrednosti za t_{ph} i t_{phi} iz jednačina (15) i (16) u jednačinu (14) dobija se:

$$n_{ei} = n \cdot n_e \dots\dots\dots(17)$$

odnosno umesto starog prenosnog odnosa:

$$i_r = \frac{n_E}{n_e}$$

reduktor mora imati novi prenosni odnos:

$$i_{ri} = \frac{n_E}{n_{ei}} = \frac{1}{n} \cdot \frac{n_E}{n_e} = \frac{i_r}{n} \dots\dots\dots(18)$$

2. Promenom prenosnog odnosa elektromotor-zamajac, odnosno da je novi prenosni odnos i_{mzi} veći od starog i_{mz} , tj.:

$$i_{mzi} > i_{mz}$$

$$i \quad n_{ei} = n \cdot n_e$$

U ovom slučaju je broj obrtaja zamajca:

$$n_{zi} = \frac{n_m}{i_{mzi}} > n_z = \frac{n_m}{i_{mz}}$$

pa iz uslova definisanog izrazom (3) dobija se:

$$\frac{GD_z^2 \cdot \delta_i \cdot n_{zi}^2}{3600} = \frac{GD_z^2 \cdot \delta \cdot n_z^2}{3600}$$

odnosno:

$$\delta_i = \delta \cdot \frac{n_z^2}{n_{zi}^2} \dots\dots\dots(19)$$

tj. da je novi pad broja obrtaja zamajca δ_i manji od starog δ čime novi elektromotor radi pod povoljnijim režimom.

Ovde treba napomenuti da postoji mogućnost delimičnog smanjenja prenosnog odnosa i_{mzi} , i to tako da je:

$$n_e < n_{ei} < n \cdot n_e$$

s tim da pad broja obrtaja δ ostane konstantan. U ovom slučaju je:

$$A_{zi} > A_z$$

$$i_{n_{ei}} > n_e$$

tj. dobija se brzohodija presa sa uvećanim raspoloživim radom.

II slučaj

U ovom slučaju je:

$$-P_{mi} = n \cdot P_m = P_m = \text{const. } i$$

$$-n_{mi} = m \cdot n_m \neq n_m$$

gde su: $n = 1$ i $m \neq 1$, odnosno: $m > 1$.

Posmatrajući i u ovom slučaju idealizirani radni dijagram (slika 2) dolazi se do sledećeg:

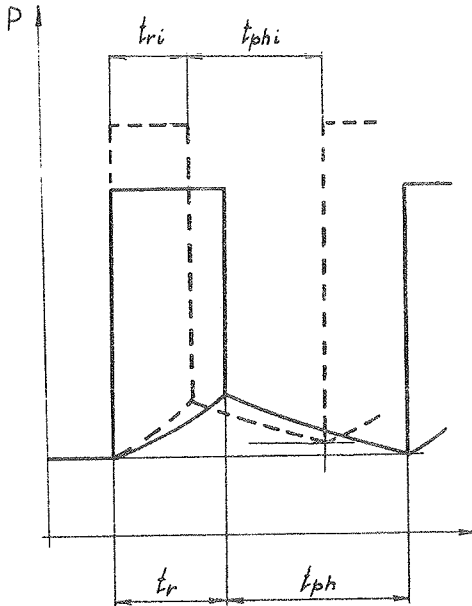
Vreme radnog ciklusa je umanjeno m puta, tj.:

$$t_{ri} = \frac{\alpha_r}{6 \cdot m \cdot n_e} < t_r$$

a takodje i vreme praznog hoda:

~ /

što znači da elektromotor nije u stanju da nadoknađi izgubljenu



energiju zamajcu u vremenu prostornog hoda, pogotovu što za isti pad broja obrtaja zamajca / δ nova raspoloživa energija zamajca je veća, jer nu je veći broj obrtaja u jedinici vremena / $n_z = m \cdot n_z > n_z$ /.

Da bi se ovo sprecilo menja se prenosni odnos reduktora / i_r /.

Kako je:

$$A_{zi} = \frac{GD_z^2 \cdot \delta \cdot m^2 \cdot n_z^2}{3600} = C_2 \cdot m^2 \cdot n_z^2$$

i:

$$A_{zphi} = \frac{1 + \lambda}{2} \cdot 102 \cdot P_m \cdot t_{phi} = C_1 \cdot t_{phi}$$

Slika 2

to na osnovu uslova (5) dobija

se:

$$t_{phi} = \frac{C_2 \cdot m^2 \cdot n_z^2}{C_1} \dots \dots \dots (20)$$

Zamenom ove vrednosti za t_{phi} iz izraza (20) u jednačinu (16) i rešavanjem iste po n_{ei} dobija se:

$$n_{ei} = \frac{\alpha_{ph} \cdot C_1}{6 \cdot C_2 \cdot m^2 \cdot n_z^2} \dots \dots \dots (21)$$

pa novi prenosni odnos reduktora treba da bude:

$$i_{ri} = \frac{n_{zi}}{n_{ei}} = \frac{6 \cdot C_2 \cdot m^3 \cdot n_z^3}{\alpha_{ph} \cdot C_1} \dots \dots \dots (22)$$

Iz ovog se izvlači zaključak da se u ovom slučaju dobija sprohodija presa sa uvećanim raspoloživim radom, tj. presa po-

godna za tehnološke procese koji se vrše pri manjim brzinama pritiskivača ali zahtevaju veću količinu rada.

III slučaj

Najzad, ovaj slučaj je definisan sa:

$$- P_{ni} = n \cdot P_m$$

$$i \quad - n_{ni} = m \cdot n_m$$

gde su: $i \neq 1$ i $m \neq 1$, tj.: $m > 1$ i $n > 1$.

Na osnovu izloženog se može napisati:

$$A_{mphi} = C_1 \cdot n \cdot t_{phi}$$

$$i \quad A_{zi} = C_2 \cdot m^2 \cdot n_z^2$$

pa iz uslova da ovi radovi moraju biti medjusobno jednaki dobija se vreme praznog hoda:

$$t_{phi} = \frac{C_2 \cdot m^2 \cdot n_z^2}{C_1 \cdot n} \dots\dots\dots(23)$$

odnosno broj obrtaja ekscentarskog ili kolenastog vratila prese sa novim elektromotorom:

$$n_{ei} = \frac{\alpha_{ph}}{6 \cdot t_{phi}} = \frac{\alpha_{ph} \cdot C_1 \cdot n}{6 \cdot C_2 \cdot m^2 \cdot n_z^2} \dots\dots\dots(24)$$

i konačno prenosni odnos reduktora:

$$i_{ri} = \frac{n_{zi}}{n_{ei}} = \frac{6 \cdot C_2 \cdot m^3 \cdot n_z^3}{\alpha_{ph} \cdot C_1 \cdot n} \dots\dots\dots(25)$$

Upoređujući izraze (22) i (25), odnosno izraze (21) i (24), vidi se da je prenosni odnos reduktora u trećem slučaju naniži od prenosnog odnosa istog u drugom slučaju, tj. da u trećem slučaju presa ima povećani broj obrtaja ekscentarskog ili kolenastog vratila u odnosu na drugi slučaj.

U ovom slučaju dobijaju se prese sa uvećanim brojem obrtaja i uvećanim raspoloživim radom.

Zaključak

Iz izloženog se vidi da se raznim kombinacijama promene elektromotora može proširiti i upotpuniti vrlo uspešno polje primene unificiranog pogonskog mehanizma krivajnih presa i time dobiti čitav niz presa veoma različitih performansi.

Literatura

- [1] P.Popović, A.Djunković, Prilog unifikaciji pogonskog mehanizma mehaničkih presa, Tehnika, 1965, br.10
- [2] V.P.Mehanik, Rasčrt nahovičnogo privoda kuznječno-presovih mašin, Kuznječno-štamovočnoje proizvodstvo, 1959, br.5.
- [3] H.Mäkelt, Die Mechanischen Pressen, 1961, München

P. P o p o v i ć

CONTRIBUTION OF THE ANALYSES OF USAGE OF STANDARDIZED DRIVE MECHANISMS OF MECHANICAL PRESSES

This article analyses usage enlargement of standardized drive mechanisms by foreseeing possibility of incorporation of different electromotors in stage of project.

Three cases are analysed:

1. Incorporation of motor, with the same power and higher velocity (r.p.m.), instead of the normal one.
2. Use of motor with the same velocity and higher power.
3. Use of the motor, with higher both: power and velocity.

VI SAVETOVANJE O PROIZVODNOM STROJARSTVU, OPATIJA, 1970.

V. Stoiljković x)

UTICAJ PROMENE DOHVATA NA ELASTIČNE DEFORMACIJE I TEŽINU
TELA PRESE OTVORENOG TIPA xx)

1. Uvod

Vek alata ^{kvalitet} i izradjenih komada pri obradi materijala deformacijom na ekscentarskim presama otvorenog tipa zavisan je, između ostalog, i od elastičnih deformacija tela presa. U ovom radu tretirana je zavisnost elastičnih deformacija od dimenzija i oblika poprečnih preseka tela, kao i od dohvata. Uporedo sa ovim data je i promena težine tela prese, što omogućuje da se izvuku i zaključci o ekonomskoj računici.

Težnja je bila da rezultati rada budu najopštijeg karaktera. Međutim, morala su da se uvedu neka ograničenja. Račun je sproveden sa silom pritiska $F = 100 \text{ Mp}$. Sve sile nisu mogle odjednom da se obuhvate, jer su područja promena dohvata različita za različite sile, te ovaj rad predstavlja deo studija ovog problema koji se vrši na Katedri za mašinsku obradu i mašine alatke Tehničkog fakulteta u Nišu.

Drugo ograničenje je konstantan gabarit prese koji je odredjen u funkciji sile presovanja.

Rezultati rada dati su dijagramski što omogućuje jednostavno korišćenje.

2. Izbor potrebnih veličina

Telo ekscentarske prese otvorenog tipa radi se od livenog gvoždja i od čeličnog lima.

x) Vojislav Stoiljković, dipl.maš.ing., asistent Tehničkog fakulteta u Nišu, Niš, IX brigade 47v/2.

xx) Saopštenje sa Katedre za mašinsku obradu i mašine alatke Tehničkog fakulteta Mašinskog odseka Univerziteta u Nišu.

Varena konstrukcija i čelični lim imaju prednosti nad livenom konstrukcijom, a te su:

- 1) Čelični lim ima bolja mehanička svojstva od livenog gvoždja, što znači da će telo prese izradjeno od ovakvog materijala biti lakše odliveno za isti dohvat i ugib.
- 2) Pri istim naponima u poprečnim presecima tela prese od čeličnog lima dobijaju se manji ugibi u odnosu na liveno telo zbog većeg modula elastičnosti.
- 3) U novije vreme zavarivanje je do te mere usavršeno, tako da je postalo efikasniji način izrade tela prese nego livenje i to kako u pojedinačnoj tako i u serijskoj proizvodnji.
- 4) Telo prese izradjeno od čeličnog lima omogućuje primenu dizajnerstva. Na taj način možemo doći vrlo elegantna i estetski lepo oblikovane prese.

Zbog pomenutih prednosti za materijal tela prese je usvojen čelični lim. Dozvoljeno naprezanje na savijanje za ovaj materijal kreće se u granicama $\sigma = 500 - 800 \text{ (Kp/cm}^2\text{)}$.

Područje promene napona u ovom radu uzeto je od 100 do 380 sa skokom $\Delta\sigma = 20 \text{ (Kp/cm}^2\text{)}$.

Pored napona i načina izrade tela prese usvojena je i sila presovanja od $F = 100 \text{ Mp}$ pritiska.

Promena dohvata

Veličina dohvata D , za presu određenog pritiska, varira u intervalu. Zavisno od tog intervala postoje prese sa:

- a) malim dohvatom,
- b) srednjim dohvatom i
- c) velikim dohvatom.

Pri izboru veličine dohvata mora da se vodi računa o dobrim i negativnim posledicama povećanja dohvata.

- Dobra strana je što omogućuje da se izvrši ugradnja velikih alata u presu, pa s tim u vezi i izrada krupnih elemenata,

a

- Negativna strana je ta šta nastaje problem ukrućenja prese, tj. zadržavanja zahtevane veličine otvaranja prese pri radu.

Pošto se u ovom radu promena ugiba i težine funkcija dohvata, to je uzeto celokupno područje dohvata na osnovu preporuka iz časopisa (3), prošireno za po 20 mm na krajevima.

Ta promena dohvata za navedenu silu pritiska iznosi:

$$D = (26 - 42) \text{ cm.}$$

Maksimalna visina potkovice tela prese (L)

I pri izboru ove veličine korišćen je dijagram iz časopisa (3). U njemu je dato maksimalno rastojanje od stola do pritiskivača. Veličina koja je obeležena na sl.1. je nešto veća od L_m i iznosi

$$L = 450 \text{ mm.}$$

Ostale karakteristike

Pri određivanju visine radnog stola, širine radnog stola i dužine prese korišćena je tabela data u knjizi (4). Ove veličine iznose:

- visina radnog stola 75 cm
- širina prese 90 cm
- dužina prese $80+2D$ cm
- visina tela prese na kome je ugradjen pogonski mehanizam iznosi

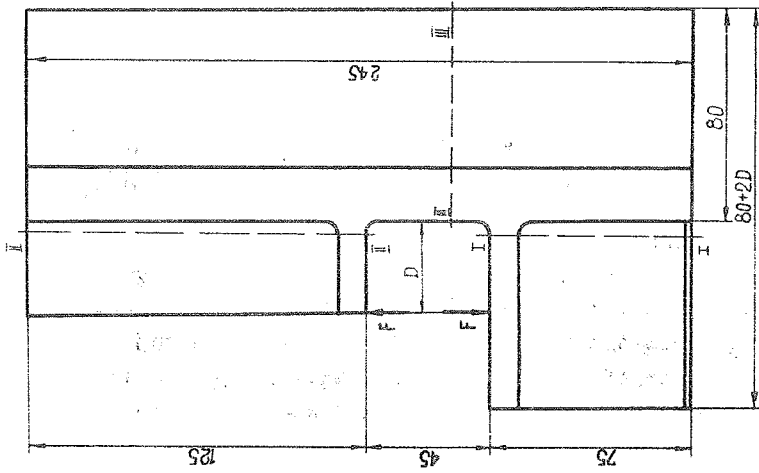
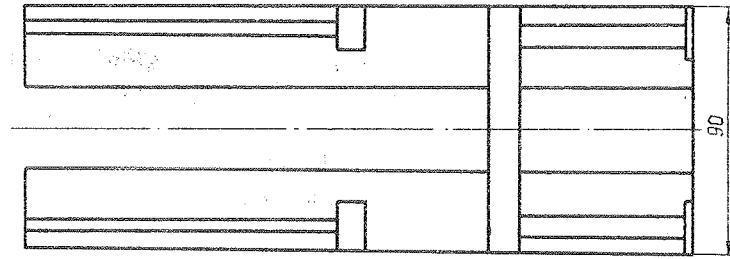
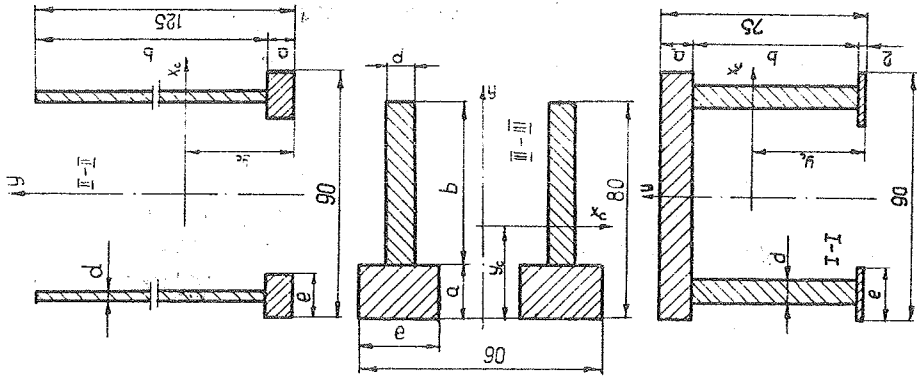
$$H = 125 \text{ cm.}$$

Telo prese i preseći

Na osnovu usvojenih podataka može da se da izgled tela prese kao na sl. 1. Na njoj su obeleženi kritični preseći.

P r e s e c i

Pri izboru preseka tela prese vodile se računa da su oni preporučivani u literaturi i isprobani u praksi. U knjizi (5) dato je nekoliko preseka od kojih je za ovaj rad usvojen najbolji. Gabariti preseka su definisani gabaritom tela prese, dok se debljine zidova kreću u određenim intervalima.



SL.I. TELO PRESE / PRESECI

Diapazon promene nezavisno promenljivih veličina

Presek I	Presek II	Presek III
a E(1,2 - 10 cm)	a E (3 - 6) cm	a E(4-35)cm
b = 73-a	b = 125-a	b = 80-a
d E (0,5 - 16) cm	d E (1 - 7) cm	d E (3 - 25) cm
e E (18 - 28) cm	e E (4 - 22) cm	e E (20 - 45) cm

Obrasci za izračunavanje preseka I

Površina $S = 90 \times a + 2 \times (b \times d + 2 \times e)$

Težište preseka

$$y_c = \frac{90 \times a (75-a/2) + (b \times d(2+b/2) + 2 \times e) \times 2}{S}$$

Moment inercije

$$I_x = \frac{90 \times a^3}{12} + 90 \times a(75-a/2 - y_c)^2 + 2 \times \left(\frac{d \times b^3}{12} + d \times b \times (y_c - b/2 - 2)^2 + \frac{e \times 2^3}{12} + 2 \times e(y_c - 1)^2 \right)$$

Otporni moment $W_x = I_x / y_c$

Naprezanje na savijanje $\sigma_f = M_f / W_x$

Ugi b $f = \frac{F \times D^3}{3 \times E \times I_x}$

Težina $G = S \times D \times \gamma$

Obrasci za izračunavanje preseka II

Površina $S = 2 \times (a \times e + b \times d)$

Težište preseka

$$y_c = \frac{2 \times (a^2 \times e/2 + b \times d(125 - b/2))}{S}$$

Moment inercije

$$I_x = 2 \left(\frac{e \times a^3}{12} + a \times e(y_c - a/2)^2 + \frac{d \times b^3}{12} + d \times b(125 - b/2 - y_c)^2 \right)$$

Otporni moment $W_x = I_x / (125 - Y_c)$

Naprežanje na savijanje $G_f = M_f / W_x$

Ugib $f = \frac{F \times D^3}{3 \times E \times I_x}$

Težina $G = S \times D \times \gamma$

Obrasci za izračunavanje preseka III

Površina

$$S = 2 \times (a \times e + b \times d)$$

Težište preseka

$$Y_c = \frac{2 \times (a^2 \times e/2 + b \times d(80 - b/2))}{S}$$

Moment inercije

$$I_x = 2 \left(\frac{e \times a^3}{12} + a \times e(Y_c - a/2)^2 + \frac{d \times b^3}{12} + d \times b(80 - b/2 - Y_c)^2 \right)$$

Otporni moment $W_{x1} = I_x / Y_c$; $W_{x2} = I_x / (80 - Y_c)$

Moment savijanja $M_f = (D + Y_c) \times F$

Naprežanje na savijanje

$$G_{f1} = \frac{M_f}{W_{x1}} + \frac{F}{S} \quad G_{f2} = - \frac{M_f}{W_{x2}} + \frac{F}{S}$$

Ugib

$$\alpha = \beta = \frac{M \times (120 - Y_{c1} + Y_{c2})}{2 \times E \times I_x}$$

$$f_1 = (D + Y_c) \times \alpha$$

$$\Delta l = \frac{F \times (120 - Y_{c1} + Y_{c2})}{E \times S}$$

$$f = 2 \times f_1 + \Delta l$$

Težina $G = 245 \times S \times \gamma$

3. Proračun

Pošto su usvojene sve potrebne veličine sproveden je proračun po napred datim formulama. Kako parametri, koji definišu preseke, variraju u širokom dijapazonu da bi se dobio optimalni presek za određeni napon i dohvat, proračun je urađjen na elektronskom računaru IBM 1130 u Računskom centru Elektronskog fakulteta u Nišu.

Dobijeni rezultati su idealni za dati priraštaj parametara preseka (priraštaj parametara nije kontinualan), jer je od svih mogućih kombinacija parametara usvojena ona koja za određeni napon i dohvata daje minimalnu površinu preseka. Rezultati su dobiveni tablično. Na osnovu njih su urađeni dijagrami.

4. Promena ugiba i težine u funkciji dohvata pri konstantnom naponu

a) Promena ugiba

Vrednosti dobijene u tablicama pregledno su prikazane u dijagramima. Dijagram DOHVAT (D) - UGIB (f) ima za apscisu dohvata a za ordinatu ugib. On je dat za konstantni napon i pruža mogućnost da se izvuku sledeći zaključci:

1. Promena ugiba u funkciji dohvata je linearna
2. Sa povećanjem dohvata povećava se i ugib
3. Za manje vrednosti napona dobijaju se manje vrednosti ugiba
4. Povećanje ugiba sa porastom dohvata je veće za veće vrednosti napona, što ima za posledicu zrakast izgled pravih u dijagramu,
5. Za vrednosti napona bliže dozvoljenom, ugib osetnije raste i obično prelazi vrednosti usloveljene tolerancijom predmeta rada, što znači da su tela presa obično dimenzionisana sa manjim vrednostima napona, odnosno predimenzionisana s obzirom na opterećenja.

b) Promena težine

Dijagram DOHVAT (D) - TEŽINA (G) dobijen je korišćenjem rezultata sredjenih u tablicama. Apscisa je dohvata a ordinata težina. Krive u dijagramu odgovaraju konstantnom naponu. Ovaj dijagram pruža mogućnost da se izvuku sledeći zaključci:

1. Promena težine u funkciji dohvata je linearna
2. Sa povećanjem dohvata povećava se i težina
3. Za veće vrednosti napona dobijaju se manje težine za tela prese

4. Povećanje težine sa porastom dohvata je daleko veće za manje vrednosti napona, nego što je to bilo sa ugibom za veće vrednosti napona,
5. Za vrlo male vrednosti napona, težina vrlo brzo raste sa porastom dohvata tako da sa takva tela prese neekonomična i treba ih izbegavati. Ovako osetan porast težine je posledica jezgra preseka. Naime, iz otpornosti materijala je poznato da jezgro preseka doprinosi malim momentom inercije. Kako su u ovom radu gabariti preseka konstantni dobijen je moment inercije na račun povećanja debljine zidova, ali samo sa unutrašnje strane. Zbog toga što jezgro preseka slabije doprinosi momentu inercije, osetnije rasla površina poprečnog preseka tela za isto povećanje momenta inercije, što se odrazilo na težinu. U slučaju da se radi sa malim naponom bolje je pri tome povećati gabarite preseka.

Završna razmatranja

Za projektovanje jedne prese potrebno je izmedju ostalog da se zna:

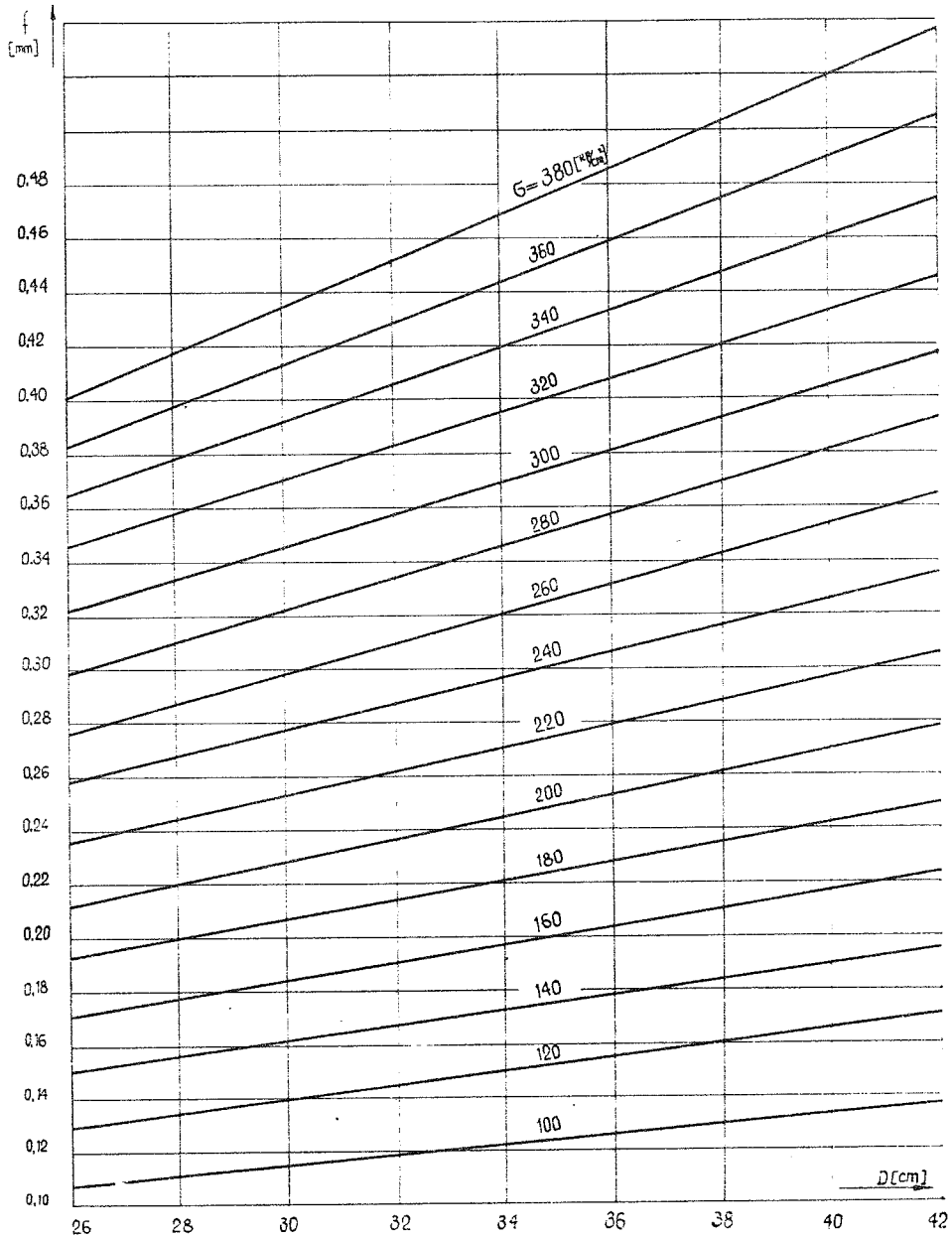
1. Veličina predmeta koji će se izradjivati na njoj
2. Zahtevane tolerancije izrade predmeta rada.

Veličina predmeta rada, odnosno dimenzije najvećeg elementa za koji se izradjuje presa definišu, izmedju ostalog i veličinu dohvata.

Tolerancija (dozvoljeno odstupanje) izrade predmeta rada omogućuje da se odredi maksimalan ugib prese.

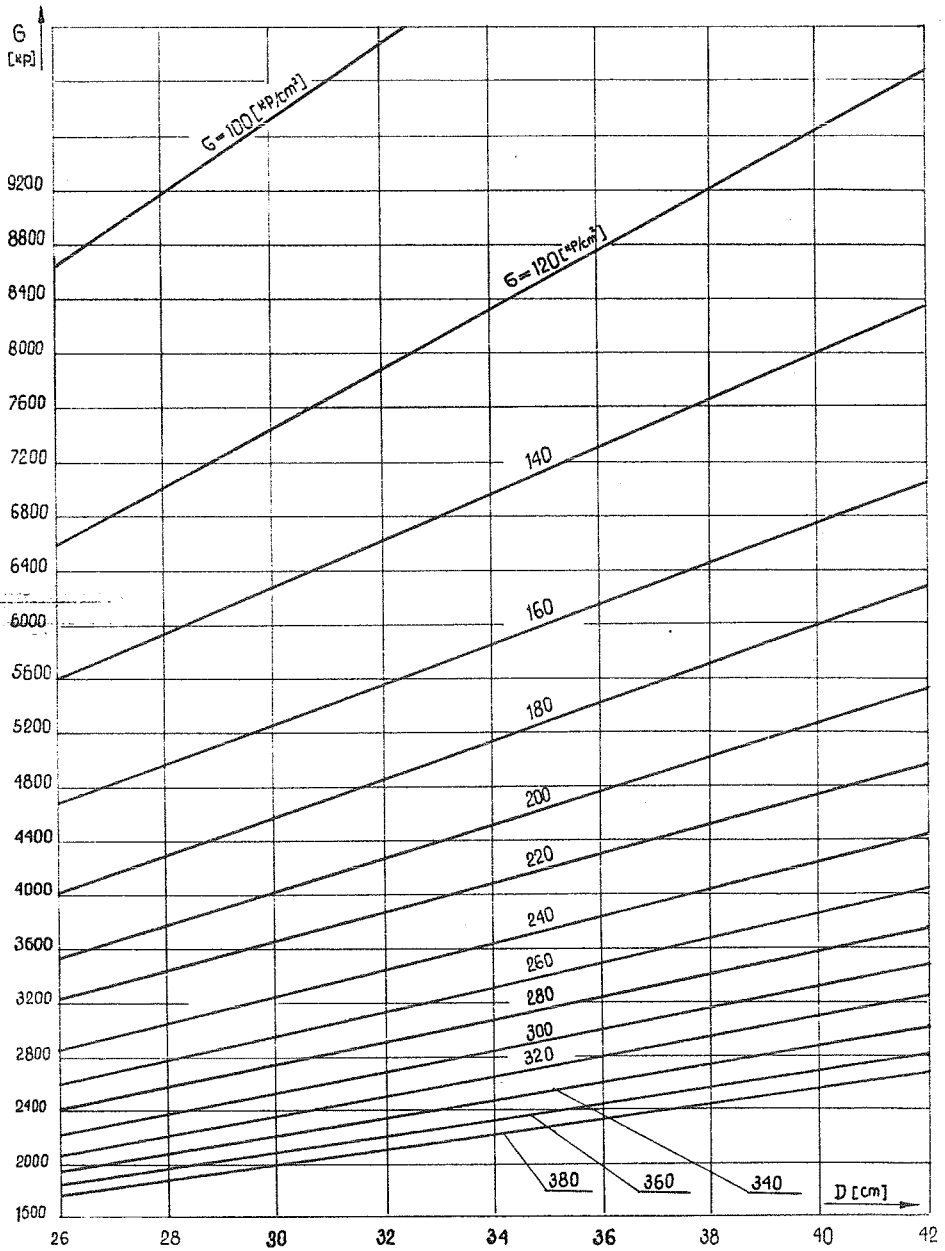
Sa ovim veličinama, dohvatom i ugibom prese, za silu presovanja $F = l \cdot o \cdot t$, i varenu konstrukciju iz dijagrama se vrlo lako odredjuje iskorišćenje napona u kritičnim presecima kao i težina prese. Ako se još raspolaže tablicama, koje nisu priložene u ovom radu, zbog ograničenja prostora, može odmah da se dobije kompletno proračunato telo prese sa svim potrebnim veličinama i parametrima preseka.

Prema tome dijagrami UGIB-DOHVAT i TEŽINA-DOHVAT kao i tablice omogućuju odredjivanje optimalno dimenzionisanje prese uz osetno skraćenje proračuna.



DIJAGRAM UGIB (f) - DOHVAT (D)

00.1.1.2



DIJAGRAM TEŽINA (G) - DOHVAT (D)

GD.2.10

5. Promena naprezanja i težine u funkciji dohvata pri konstantnom ugibu

a) Promena napona

Na osnovu dijagrama $f - D$ za konstantan napon nacrtan je dijagram $NAPON - DOHVAT$ za $f = const$. Iz ovog dijagrama proističu sledeći zaključci:

- 1) Promena napona u funkciji dohvata pri $f=const$ je izražena krivom linijom,
- 2) Sa povećanjem dohvata opada napon,
- 3) Za veće vrednosti ugiba, interval napona u kome se kreću krive je veći nego za manje ugibe, što znači da su krive strmije.

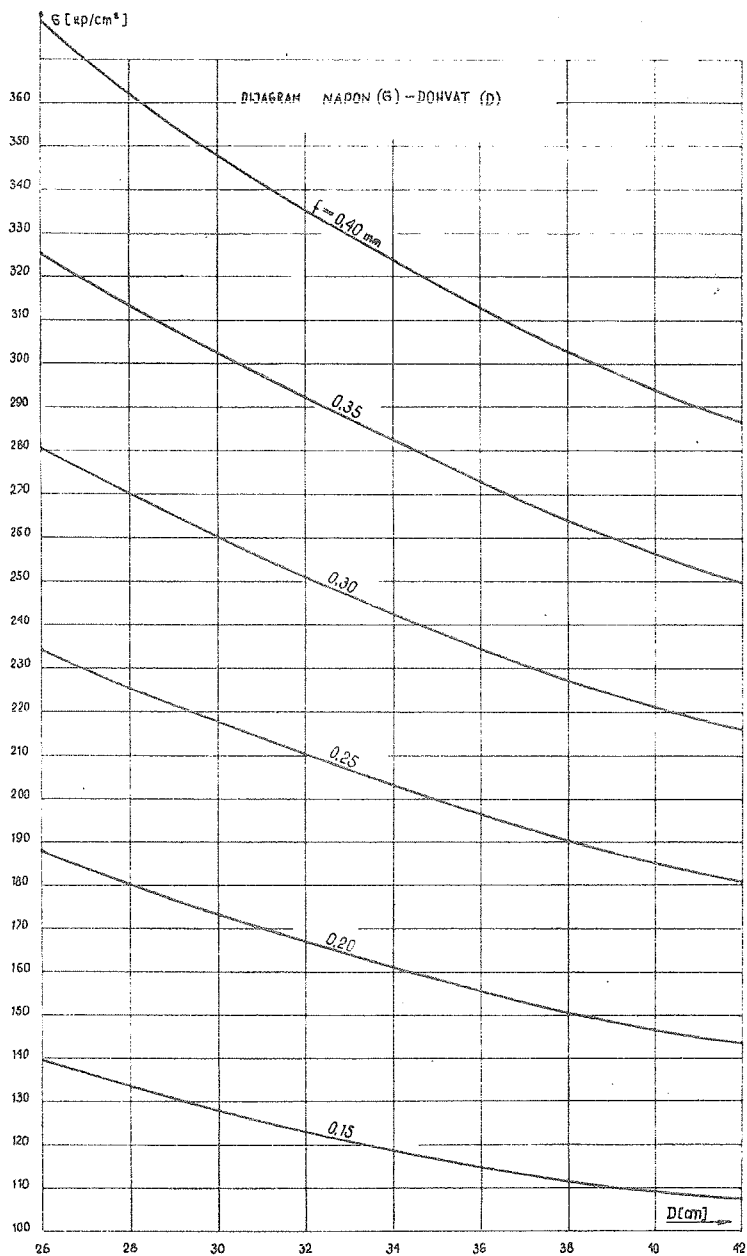
b) Promena težine

Na osnovu dijagrama $G-D$ i $F - D$ za $G = const$ nacrtan je dijagram $TEŽINA - DOHVAT$ za $f = const$. Iz dijagrama mogu da se izvuku sledeći zaključci:

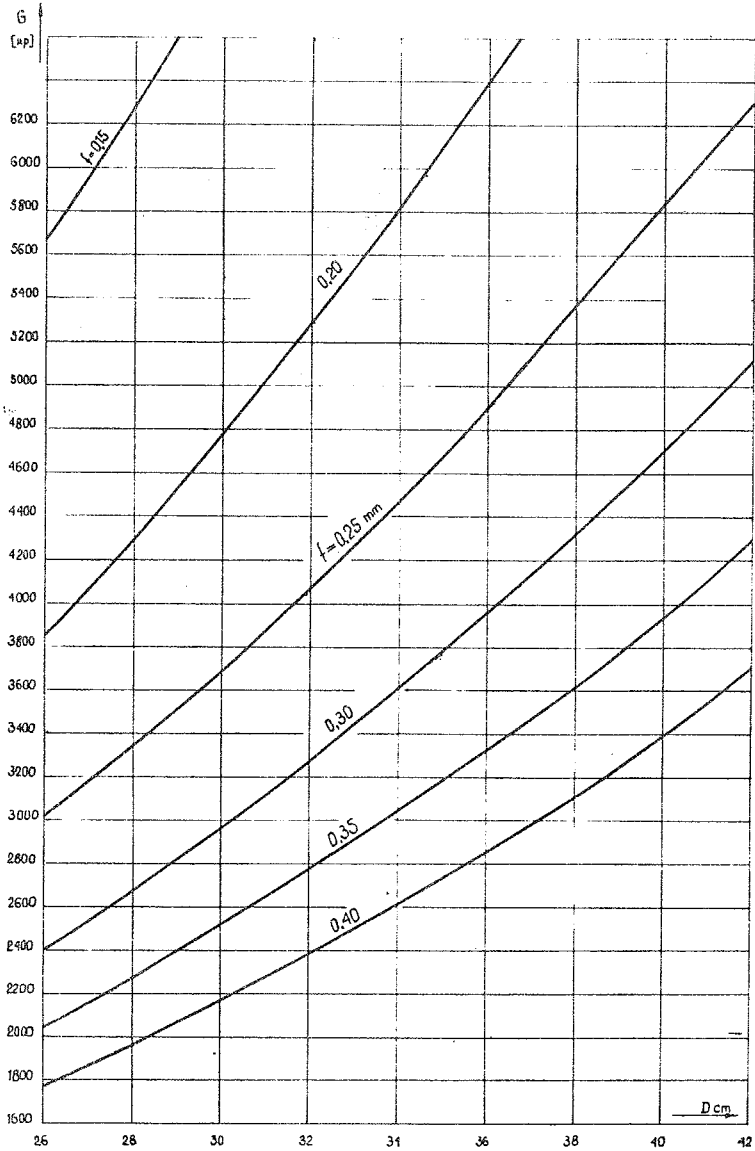
- 1) Promena težine u funkciji dohvata je izražena krivom linijom,
- 2) Sa porastom dohvata raste težina,
- 3) Porast težine je veći za manje vrednosti ugiba. Zato treba izbegavati vrlo male ugibe ako nisu neophodni, ili ih pak ostvariti sa većim gabaritima preseka, ili uticati na njihovo smanjenje primenom prednapregnutih vijaka.

I ova dva dijagrama, kao i prethodna dva, mogu da posluže, ako se zna doхват i ugib prese, za određivanje napona sa kojim treba dimenzionisati telo prese.

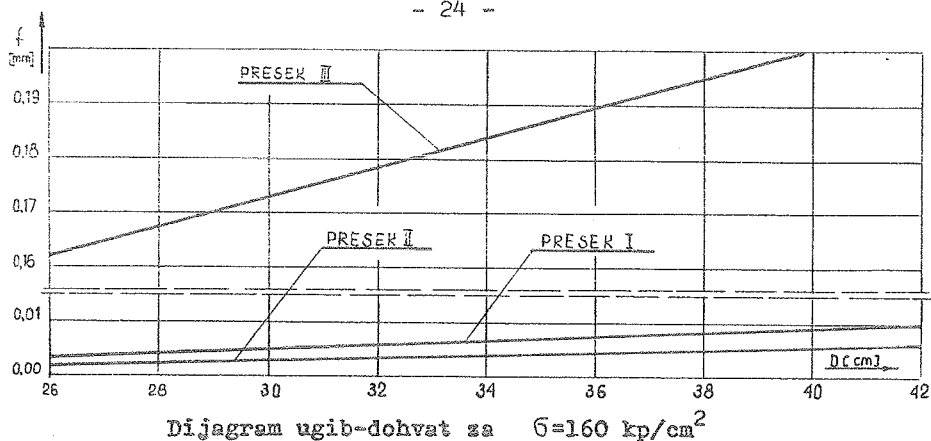
Uticao pojedinih preseka na promenu ugiba pri porastu dohvata
Sa priloženog dijagrama $UGIB - DOHVAT$ za $G = 160 \text{ (kp/cm}^2\text{)}$ vidi se da je presek III najznačajniji za ugib. Preseci I i II su zanemarljivi. To znači, da ukoliko se želi da smanji ili poveća ugib za određeni doхват, treba oslabiti ili ojačati presek III. Ovo znači da se mogu, jednom izračunati preseci I i II da kombinuju sa različitim presecima III i da se dobiju različiti ugibi.



OD.2.12



DIJAGRAM TEŽINA (G) - DOHVAT (D)



Literatura:

- [1] Dr. prof. Danilo Rasković, Statika, Naučna knjiga 1960
- [2] Dr. prof. Danilo Rasković, Otpornost materijala, Naučna knjiga, 1961
- [3] P. Popović, Izbor nekih veličina pri projektovanju ekcentar presa, Mašinstvo, Beograd, 1968, br. 8.
- [4] H. Akelt, Die mechanischen Pressen, München, 1961
- [5] B. N. Lanskoj, A. N. Banketov, Elementy rasčeta detaljev i uslov krivosipnyh presov, Masinstroenie, Moskva, 1966.

V. Stoiljković

DER EINFLUSS DER AUSKRAGUNGSÄNDERUNG AUF DIE DEFORMATIONEN UND DIE GEWICHT DES KÖRPERS BEI DEN PRESSEN DES OFFENEN TYP

Die Lebensdauer der Werkzeuge und die Qualität der Werkstücke bei der Materialbearbeitung durch die Deformation auf den Exzenterpressen des offenen Typs sind, unter anderem, von den elastischen Deformationen des Pressekörpers abhängig. In dieser Arbeit wird es über die Abhängigkeit der elastischen Deformationen von Abmassen und Querschnittsform des Körpers und von der Auskrägung gesprochen. Die Gewichtsänderung ist auch gleichzeitig gegeben womit ermöglicht ist, einige Schlüsse über den ökonomischen Preis hervorzuziehen.

Es wurde gestrebt diesen Ergebnissen einen allgemeinen Charakter zu geben. Man musste aber einige Beschränkungen ein-
GD.2.14

führen. Es wurde mit der Druckkraft $p = 100 \text{ Mp}$ gerechnet. Es war nicht möglich alle Kräfte umzufassen, weil die Bereiche der Auskrümmungsänderungen für verschiedene Kräfte verschiedene sind.

Diese Arbeit stellt einen Teil des Studiums über das Problem dar, auf dem man zur Zeit an dem Lehrstuhl für Metallbearbeitung und Werkzeugmaschinen an der technischen Fakultät in Nis arbeitet.

Zweite Beschränkung kommt wegen der konstanten Abmassen der Presse vor, die durch die Funktion der Pressenkraft festgesetzt sind.

Die Ergebnisse sind durch Diagrammen gegeben, was eine einfache Benutzung ermöglicht,

I. ČATIĆ*)

UTJECAJ SUSTAVA ZA INJEKCIONO PREŠANJE TERMOPLASTA NA
STACIONARNOST PROCESA **)

Uvod

U proteklih pola stoljeća injekciono prešanje termoplasta postalo je jednim od temeljnih postupaka prerade plastičnih masa. Potpuno je opravdana pretpostavka da će taj postupak i u narednom razdoblju zadržati svoje mjesto među najvažnijim postupcima prerade uopće. Stoga valja stalno unapređivati i usavršavati saznanja o tom postupku.

Za pravilno odvijanje postupka injekcionog prešanja termoplasta, valja raspolagati radnim mjestom kojeg sačinjavaju najmanje tri elementa: ubrizgavalica, kalup i uređaj za regulaciju temperature kalupa [1,2] .

Do sada su navedena tri elementa proizvodila u pravilu tri različita proizvodjača. Takvo rješenje dovelo je do toga da se injekcionom prešanju termoplasta pristupalo obično samo sa stajališta jednog od proizvodjača potrebne opreme za radno mjesto. Valja posebno naglasiti i izuzetno važnu činjenicu da su najbrojnija istraživanja postupka injekciono prešanje obavljena pod okriljem proizvodjača poliplasta. Upravo toj činjenici valja pripisati to da se tek nedavno započelo govoriti o radnom mjestu potrebnom za odvijanje postupka injekcionog prešanja.

*) Igor ČATIĆ, dipl.inž. strojarstva, asistent pri "Katedri za nauku o metalima" Fakulteta strojarstva i brodogradnje, Zagreb, Đure Salaja 1,

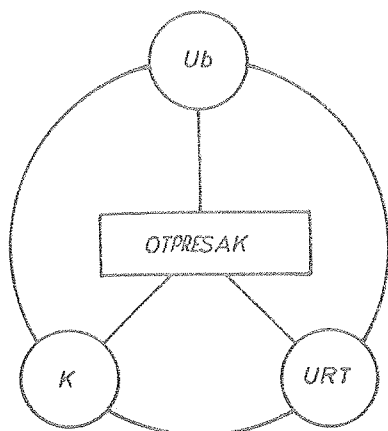
***) Saopćenje iz Instituta za proizvodnju Fakulteta strojarstva i brodogradnje, Zagreb, v.d.direktora: prof.inž.Niko Malešević.

Slijedeći zakonitosti kibernetičkog pristupa analizi sustava, definiran je sustav za injekciono prešanje termoplasta [3].

Definicija sustava za injekciono prešanje glasi [1, 2].

" Za izradu otpresaka injekcionim prešanjem termoplasta potrebno je radno mjesto koje se sastoji od tri osnovna elementa: ubrizgavalice, kalupa i uređaja za regulaciju temperature".

Sustav za injekciono prešanje termoplasta prikazan je slikom 1.



Definicija sustava za injekciono prešanje temelji se na ranijem radu autora [4] u kojem je dokazano međusobno djelovanje elemenata sustava. To međusobno djelovanje naziva se interakcija. Određivanje interakcija omogućeno je primjenom potpunog kvantitativnog faktorskog plana pokusa i analizom varijance [1, 2, 4, 5].

Slika 1: Sustav za injekciono prešanje termoplasta

Potreban dokaz koji omogućuje da se prihvati definicija sustava za injekciono prešanje, opširno je naveden u [1, 2]. Stoga se u ovom radu polazi od pretpostavke da je sustav za injekciono prešanje termoplasta prihvaćen kao pojam.

Zadatak ovog rada je upoznavanje sa strukturom sustava za injekciono prešanje termoplasta.

Poznavanje strukture sustava za injekciono prešanje termoplasta omogućuje ispitivanje vrste procesa a time i pe-

boljšanje postupka.

Analiza struktura procesa injekcionog prešanja termoplasta

Na slici 1., sustav za injekciono prešanje pred-
čen je kao zatvoreni sustav, bez veza s okolinom. Sustav o
kojem je riječ, moguće je promatrati kao realni i relativno
izdvojeni sustav, što znači da su međusobne veze između
elemenata sustava jače od onih s okolinom.

Zadatak sustava za injekciono prešanje je proizvo-
dna otpresaka, stoga valja upoznati i veze sustava s okoli-
nom. U tom slučaju promatrat će se kao otvoreni sustav koji
je preko ulaza i izlaza povezan s okolinom.

Bit će razmotren utjecaj strukture sustava na odvi-
janje procesa i tok informacija u procesu.

Općenito o strukturi

Struktura sustava data je elementima koji ga sači-
njavaju te njihovim rasporedom, tj. njihovim odnosima ili ve-
zama.

Valja uočiti da su u ovom slučaju elementi sustava i
sami najčešće veoma složeni sustavi, posebno ubrizgavalica.

Raspored elemenata sustava omogućuje da se ustanove
njihovi ulazni ili izlazni elementi.

Strukturu sustava omogućuje je predočiti matricom ve-
za.

U matricama veza simbolom "1" bit će označeno po-
stojanje veza a sa "0" njeno nepostojanje. Značenje simbola
"1" može se također smatrati kao prijelaz iz jednog stanja u
drugo stanje, a "0" kao mirovanje.

Sustav za injekciono prešanje termoplasta sačinjava-
ju tri elementa. Za prikazivanje ulaza i izlaza potrebna su

dva stupaca i retka u matrici veza. Opći tip matrice za prikazivanje procesa injekcionog prešanja i toka informacija ima oblik:

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{21} & a_{31} & a_{41} & a_{51} \\ a_{12} & a_{22} & a_{32} & a_{42} & a_{52} \\ a_{13} & a_{23} & a_{33} & a_{43} & a_{53} \\ a_{14} & a_{24} & a_{34} & a_{44} & a_{54} \\ a_{15} & a_{25} & a_{35} & a_{45} & a_{55} \end{pmatrix}$$

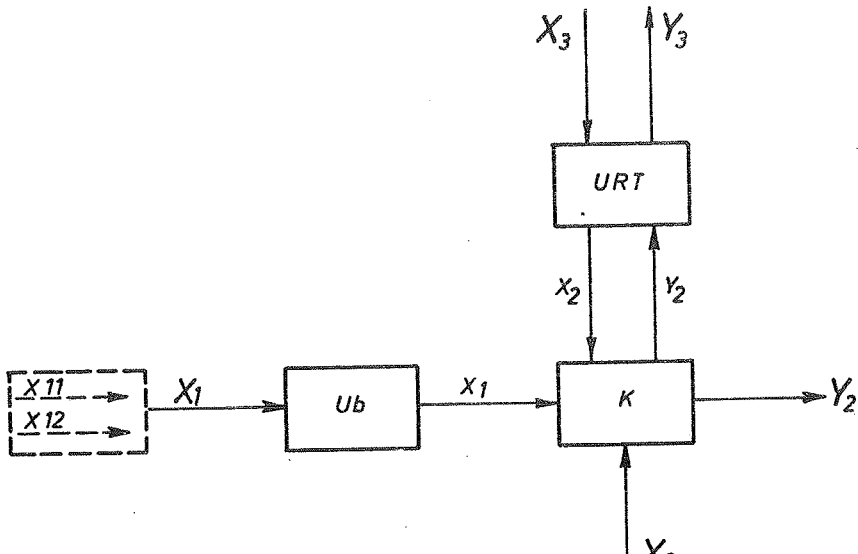
Bit će razmotrena tri slučaja primjene matrica veza na proces injekcionog prešanja i tok informacija.

1. Postojeći način provedbe procesa injekcionog prešanja

1.1 Matrica procesa

U sadašnjem trenutku preradivači upotrebljavaju sustav za injekciono prešanje termoplasta kao jednostavni zbroj triju elemenata, nabavljenih najčešće iz triju različitih izvora.

Veze u procesu predočene su shematski slikom 2.



Značenje simbola je ovo:

U_b = ubrizgavalica

K = kalup

URT = uređaj za regulaciju temperature kalupa.

Kao što je iz slike vidljivo, sva tri elementa sustava su ujedno i ulazni elementi.

U ubrizgavalicu ulazi poliplast (X_{11}) i energija potrebna za preradu (toplina i mehanička - X_{12}).

U nastavku razmatranja bit će ova dva ulaza (X_{11} i X_{12}) promatrani kao agregat ulaza u ubrizgavalicu (X_1).

Kao ulaz u kalup smatra se oblik i kompleksna masivnost otpreska (X_2). Potrebna energija za zagrijavanje i hlađenje kalupa predstavljena je trećim ulazom u sustav (X_3).

Izlazni elementi iz sustava su kalup i uređaj za regulaciju temperature kalupa. Iz kalupa izlazi proizvod - otpresak (Y_2), a iz uređaja za regulaciju temperature kalupa toplina odvedena otpresku tokom hlađenja (Y_3).

Sada valja razmotriti unutarnje veze između elemenata sustava.

Ubrizgavanje rastaljenog poliplasta u kalupnu šupljinu predočeno je vezom x_1 . Dovođenje potrebne topline kalupu ili kasnije rashladnog sredstva, koje potječe iz zatvorenog toka u uređaju za regulaciju temperature kalupa, obilježeno je sa x_2 . Odvođenje topline iz kalupa predočeno je vezom y_2 .

Matrica veza procesa ima oblik

	U	U_b	K	URT	I
U	0	1	1	1	0
U_b	0	0	1	0	0
K	0	0	0	1	1
URT	0	0	1	0	1
I	0	0	0	0	1

U = ulaz
I = izlaz

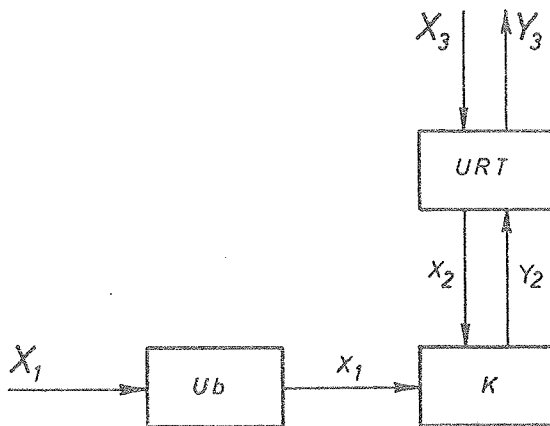
(Primjedba : podebljani okvir prikazuje matricu veza između elemenata sustava, zatvoreni sustav).

Jedinice u matrici znače serijsku vezu dvaju elemenata kakva postoji između ubrizgavalice i kalupa i uređaja za regulaciju temperature kalupa.

Dvije jedinice u simetričnom poretku oko glavne dijagonale (URT i K) pokazuju da se radi o neposrednoj povratnoj vezi kalupa i uređaja za regulaciju temperature kalupa.

1.2 Matrica informacija

Shema toka informacija razlikuje se od one procesa a predočena je slikom 3.



Slika 3: Shema toka informacija

Ulaz informacija u ubrizgavalicu (X_1) označuje podešavanje uvjeta prerade: temperature komore za taljenje, pritiska ubrizgavanja i naknadnog pritiska, protupritiska, podešavanje pužnog vijka, svih vremena, itd. Podešavanje temperature medija u uređaju za regulaciju temperature kalupa i njegove brzine, označuje ulaz informacija u ure-

djaj za regulaciju temperature (X_3).

Unutrašnje veze toka informacija između elemenata sustava za injekciono prešanje su utjecaj temperature taline na temperaturu kalupa (x_1) i ulaz sredstvava za zagrijavanje (x_2) koje utječe na temperaturu kalupa. Izlaz informacija je povrat sredstava za izmjenu topline (y_3) koje djeluje na re-lej. Izlaz informacije iz uređjaja za regulaciju temperature kalupa (Y_3) je djelovanje na središnji sustav za izmjenu topline.

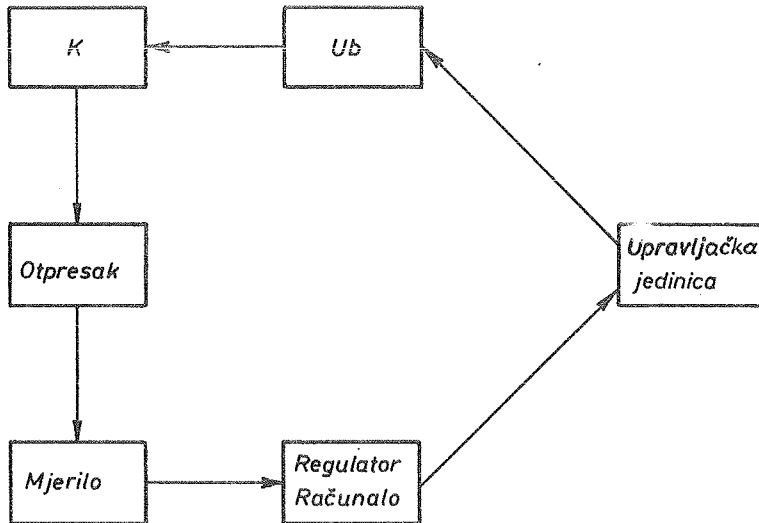
Matrica veza toka informacija ima oblik

	U	Ub	K	URT	I
U	0	1	0	1	0
Ub	0	0	1	0	0
K	0	0	0	1	0
URT	0	0	1	0	1
I	0	0	0	0	0

2. Izvedba procesa injekcionog prešanja ubrizgavalicom Fellow 250 RS

Tvrtka Fellow Gear Shaper Co. konstruirala je 1968. godine prvu ubrizgavalicu upravljšanu elektroničkim računalom. Opis ubrizgavalice dat je u većem broju svjetskih časopisa, a za ova razmatran iskorišten je onaj objavljen u [6]. Na slici 4 shematski je prikazan proces injekcionog prešanja uz primjenu ubrizgavalice Fellow 250 RS.

Rad ubrizgavalice odvija se ovako. Podese se uvjeti prerade na komandnom pultu i izradi se otpresak. Pomoću mjernog uređjaja izmjere se dimenzije otpreska a zatim se ti podaci stave u regulator- elektroničko računalo, gdje se prora-



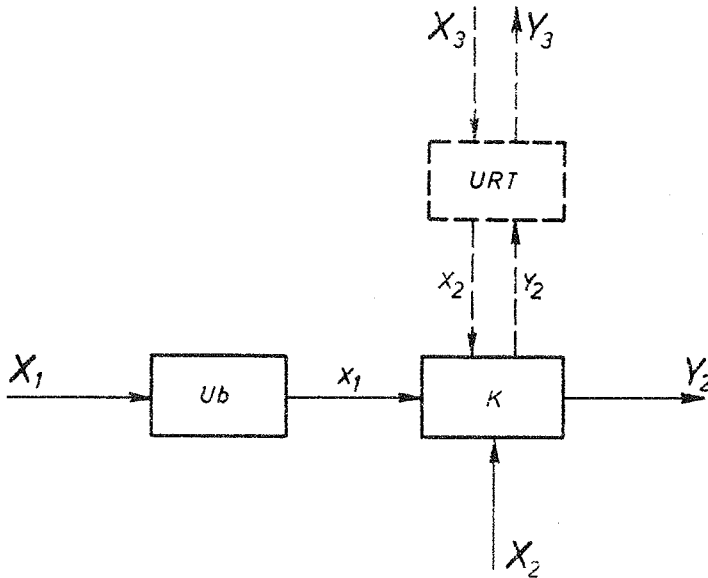
Slika 4: rad ubrizgavalice Fellow 250 RS

čunavaju parametri i dostavljaju komandnom pultu. U komandnom pultu se zatim izvrši korekcija uvjeta prerade.

Primijenjeno računalo je PSD 8/S Digital Equipment Corp. sa ugrađenom memorijom od 4096 riječi.

Ovdje se zbog ugrađene memorije radi o zatvorenom sustavu.

Iz slike 4 je vidljivo da Fellow Gear Shaper Co. svoju ubrizgavalicu promatra kao sustav, uključivši jasno u razmatranje i kalup. Pod pretpostavkom da je predviđena primjena uređaja za regulaciju temperature (crtkano) shema procesa ima izgled kao na slici 5.



Slika 5: Shema procesa

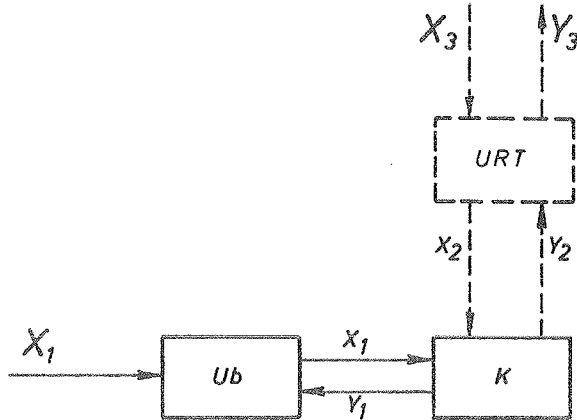
Shema procesa identična je onoj ranijoj, predočenoj slikom 3.

Međutim shema informacija se razlikuje od prethodnog slučaja.

2.1 Matrica veza toka informacija

Shema toka informacija ima izgled prikazan slikom 6.

Ovdje se javlja nova veza (y_1). To je povrat informacije iz kalupa u ubrizgavalicu, pomoću mjernog uređaja. U tom slučaju matrica toka informacija ima oblik



Slika 6: Tok informacija

	U	Ub	K	URT	I
U	0	1	0	1	0
Ub	0	0	1	0	0
K	0	1	0	1	0
URT	0	0	1	0	1
I	0	0	0	0	0

3. Struktura sustava za injekciono prešanje

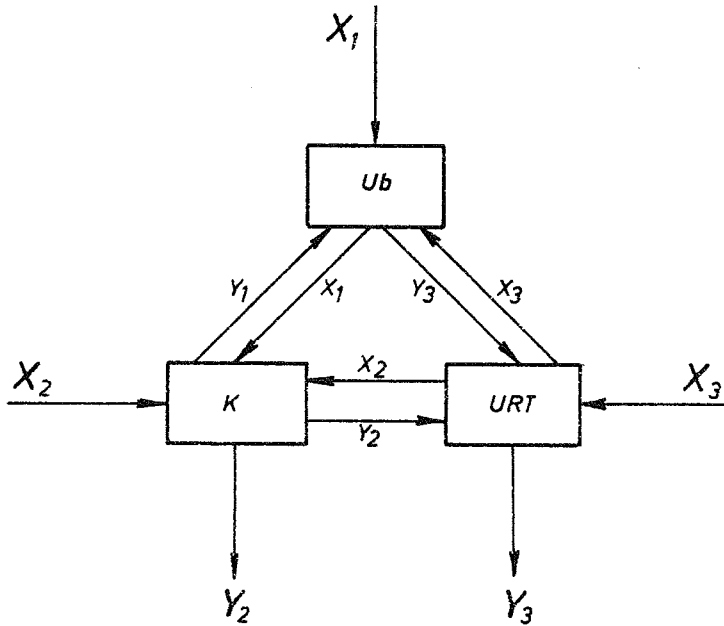
U oba do sada razmatrana slučaja za pravilno odvijanje procesa, uzeta su u obzir sva tri elementa koja sačinjavaju sustav za injekciono prešanje, ali elementi koji su međusobno nezavisni i nepovezani. Broj unutrašnjih veza između elemenata nije u procesu injekcionog prešanja bio veći od tri a kod informacija četiri.

Zbog dokazanog prisustva interakcija između sva tri elementa, nužno je da broj veza između elemenata bude maksimalni to jest šest. Stoga ubrizgavalica, kalup i uređaj za regulaciju temperature sjedinjeni u sustav imaju drugačije veze, nego što je to do sada bio slučaj. Po prvi puta je predložena

primjena matrica procesa i toka informacija za analizu rada sustava za injekciono prešanje u [3] .

3.1 Matrica procesa

Shema procesa prikazana je slikom 7



Slika 7: Shema procesa

Ovdje se javljaju dvije nove veze između ubrizgavalice i uređaja za regulaciju temperature kalupa, inače neposredno povratne (x_2, y_2), kao i povratna veza između ubrizgavalice i kalupa (y_1).

Uspostavljanje veze (y_1) zahtijeva postojanje brojnih interakcija između ubrizgavalice i kalupa [1,2] .

Potpuno je nov zahtjev da se uspostave veze (x_2, y_2). Ovaj zahtjev izravan je rezultat provedenih istraživanja i opisanih u [4] .

Postoje dvije interakcije izazane istovremenim

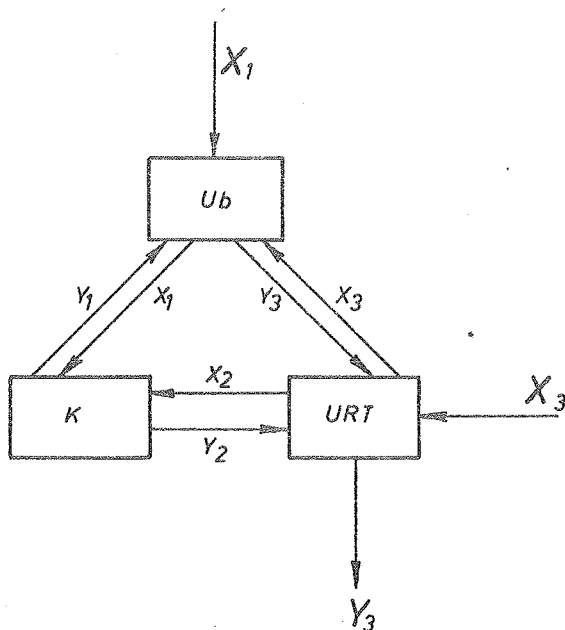
djelovanjem ubrizgavalice i uređaja za regulaciju temperature na dimenzije i svojstva otpreska.

Matrica procesa ima oblik

	U	Ub	K	URT	I
U	0	1	1	1	0
Ub	0	0	1	1	0
K	0	1	0	1	1
URT	0	1	1	0	1
I	0	0	0	0	1

3.2 Matrica toka informacija

Tok informacija u slučaju sustava za injekciono prešanje moguće je shematski prikazati slikom 8.



Slika 8: Tok informacija

Značenje simbola je isto kao i u do sada objašnjenim slučajevima. Valja samo razmotriti nove veze.

Veza (y_1) označuje potrebu da se stalno mjeri temperatura kalupa i tu informaciju valja stalno uzimati u obzir kod određivanja optimalnih uvjeta. To je novost, jer se

sada temperatura kalupa mjeri na početku procesa, a tek povremeno u toku proizvodnje.

Veza između ubrizgavalice i uređaja za regulaciju temperature kalupa je nužna iz ranije navedenih razloga (x_2). Povratni tok informacija (y_2) ukazuje na potrebu da se mjeri temperatura rashladnog sredstva i njegova brzina.

Matrica toka informacija ima oblik

	U	Ub	K	URT	I
U	0	1	0	1	0
Ub	0	0	1	1	0
K	0	1	0	1	0
URT	0	1	1	0	1
I	0	0	0	0	0

Ispitivanje vrste procesa primjenom simboličkih matrica

Analiza strukture sustava za injekciono prešanje termoplasta simboličkim matricama izvršena je sa zadatkom da se omogući ispitivanje vrste procesa.

Želi se ustanoviti da li se ovdje radi o stacionarnom ili nestacionarnom procesu.

Ispitivanje se provodi potenciranjem matrica.

Ako je moguće dokazati da u matrici poslije n potenciranja postoje cijeli brojevi [7] radi se o stacionarnom procesu. Stalno prisustvo nula u potenciranoj matrici ukazuje na nestacionarnost procesa.

Iz svojstava matrica moguće je zaključiti da u sva tri analizirana slučaja, promjena bilo kojeg ulaza dovodi do trajne promjene svojstava otpreska. Radi se dakle o nestacionarnom procesu, kojeg odlikuje stalno prisustvo nula u potenciranoj matrici.

Znatno je međutim važnije uočiti vrst procesa između elemenata sustava za injekciono prešanje.

U prva dva opisana slučaja, susreću se stupci ispunjeni nulama, što znači da se radi o nestacionarnim procesima. Izuzetak je matrica toka informacija kod procesa koji primjenjuje ubrizgavalica Fellows 250 RS. U toj su matrici prisutne jedinice u recima i stupcima, ali zbog simetričnog položaja, ponovno se javljaju stalno nule, dakle nestacionarni proces.

To je ujedno dokaz tvrdnje da je ubrizgavalica Fellow 250 RS regulirana kao zatvoreni sustav s ugrađenom memorijom i da regulacija u toku procesa nije moguća.

Naprotiv matrice sustava za injekciono prešanje već u prvoj potenciji imaju sve pozitivne vrijednosti. To znači da je proces stacionaran i da samo povezivanje svih elemenata u jedan sustav omogućuje postizavanje stacionarnog procesa.

Zaključak

Suvremene metode naučno istraživačkog rada (planiranje pokusa, višestruka analiza varijance) omogućile se da se dokaže osnovni uvjet za postojanje jednog sustava, interakcije.

Definiranjem sustava za injekciono prešanje termoplasta, učinjen je jedan kvalitativni napredak u promatranju procesa, jer se zahtijeva istovremeno promatranje svih elemenata sustava i ulaza u sustav, što do sada nije bio slučaj.

Poznavanje strukture sustava za injekciono prešanje termoplasta omogućuje da se ustanovi vrst procesa, a to je osnova za kasniju regulaciju procesa.

Kao logični nastavak analize sustava za injekciono prešanje termoplasta je promatranje njegova ponašanja i pouzdanosti. Problem ponašanja sustava je riješen [2] a radi se na problemima pouzdanosti o čemu će biti govora na jednom od narednih savjetovanja.

Zahvala

Zahvaljujem se prof. dr inž. A. Djuraševiću i asistentu Zvonku Bijanu dipl.inž. na veoma korisnim savjetima u toku rada na ovom problemu.

Literatura

- [1] Čatić, I.: Sustav za injekciono prešanje termoplasta, Kemija u industriji, u tisku,
- [2] Čatić, I.: Utjecaj postupka injekcionog prešanja termoplasta na izbor čelika za izradu dijelova kalupne šupljine, magistarski rad (u toku),
- [3] Čatić, I.: Einführung in die Systemanalyse beim Spritzgiessen, predavanje održano na Kolokviju "Lehrstuhl und Institut für Kunststoffverarbeitung"-TH Aachen, 20.lipanj 1969. godine,
- [4] Čatić, I.: Klärung des Einflusses wichtiger Verarbeitungsparameter des Spritzgiessverfahrens auf massgebende Formteileigenschaften, unter Verweendung der faktoriellen Varianzanalyse, Kunststoffe, (u tisku),
- [5] Čatić, I.: Utjecaj ispitivalice i ispitivača na određivanje mehaničkih svojstava uzorka, Strojstvo, 11 (1969) 141-147,
- [6] Currie, R.: La premier presse à injecter commande par ordinateur, Plastiques modernes et élastomères, 20: 10 (1968),
- [7] Djurašević, A.: Unapređenje proizvodnje, predavanja, Zagreb 1967.

HOW THE INJECTION MOULDING SYSTEM INFLUENCED
THE STATIONARY PROCESS OF THE INJECTION MOULDING
OF THERMOPLASTICS

Three different types of the injection moulding process has been widely discussed. It has been found, by using the processes and informations matrixes, that only by using the injection moulding systems (IMS) a stationary process can be recieved.

V. MITKOVIĆ^{x)}

IDEALIZIRANI NAPON IZVLAČENJA U FUNKCIJI ODNOSA DEFORMACIJA^{xx)}

Radni napon dubokog izvlačenja (I-ve operacije) predstavljen je prema [4] i [5] izrazom:

$$\sigma_r = (\sigma_i + \sigma_T + \sigma_S) (1 + 1,6\mu) \dots \dots \dots (1)$$

U datom izrazu pojedini članovi predstavljaju:

σ_i deo radnog napona koji je potreban za plastično preoblikovanje venca ili prema [1] idealni napon dubokog izvlačenja

σ_T deo radnog napona koji je potreban za savladjivanje trenja držača lima

σ_S deo radnog napona utrošen za savladjivanje otpora usled saniranja na prelaznom radiusu prstena za izvlačenje.

Zbir pojedinih napona pritom se množi sa veličinom $(1 + 1,6\mu)$ koja obuhvata uticaj trenja na prelaznom radiusu prstena za izvlačenje.

Idealni napon dubokog izvlačenja, koji se dobija kao rezultat integracije diferencijalne jednačine ravnoteže [4], [5], može se predstaviti u obliku:

$$\sigma_i = \beta \int_r^R \frac{d\rho}{\rho} \dots \dots \dots (2)$$

S obzirom na to da se kod rešavanja pomenute diferencijalne jednačine ravnoteže kao dopunski uslov mora koristiti uslov plastičnog tečenja u obliku $\sigma_p - \sigma_0 = \beta K$, veličina β predstavlja koeficijent koji uzima u obzir veličinu srednjeg glavnog napona.

x) Mitković Vladimir, dipl.ing., asistent Mašinskog fakulteta u Sarajevu, saradnik Zavoda za alatne mašine, alate i mjernu tehniku.

xx) Saopštenje iz Zavoda za alatne mašine, alate i mjernu tehniku u Sarajevu.

Razni autori uzimaju različite vrednosti ovog koeficijenta, pa tako napr. prema [4] i [5] $\beta = 1.0$ a prema [2] i [6] $\beta = 1.1$.

Veličina K unutar integrala (2) predstavlja specifični deformacioni otpor koji je funkcija deformacije.

Kako je poznato [6], [4], [3] deformacija na vencu funkcija je geometrijskih parametara procesa dubokog izvlačenja i data je izrazom:

$$\varepsilon(\rho) = 1 - \frac{\rho}{\sqrt{R_0^2 - R^2 + \rho^2}}$$

Unutar izraza za deformaciju, kao što se to vidi iz sl. 1, figurišu veličine

R_0 poluprečnik platine

R tekući poluprečnik venca

ρ poluprečnik unutar venca

koji međjusobno u toku procesa stoje u odredjenom odnosu:

$$r \leq \rho \leq R \leq R_0$$

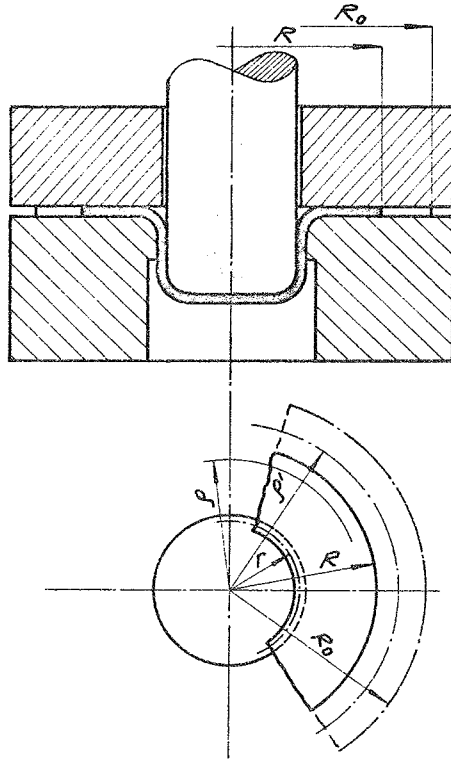
Zamenom vrednosti deformacije iz prethodnog izraza, unutar funkcionalne zavisnosti specifičnog deformacionog otpora po Gubkinu, dobijamo:

$$K = K_m \left(\frac{\psi}{\psi_m} \right)^n = K_m \left(\frac{\varepsilon(\rho)}{\psi_m} \right)^n = K_m \left(\frac{1}{\psi_m} \right)^n \left[1 - \frac{\rho}{\sqrt{R_0^2 - R^2 + \rho^2}} \right]^n$$

Unošenjem $K = f(\rho)$ u integral (2) dobijamo:

$$G_i = \beta K_m \left(\frac{1}{\psi_m} \right)^n \int_r^R \left[1 - \frac{\rho}{\sqrt{R_0^2 - R^2 + \rho^2}} \right]^n \frac{d\rho}{\rho} \dots \dots \dots (2')$$

Integral (2') ne može se rešiti u zatvorenom obliku tako da moramo vršiti razvijanje u red što daje približne, veoma komplikovane, izraze koji nisu pogodni za praktične svrhe.



Sl. 1

Da bi se uprostilo rešenje ovoga integrala, u posmatranom trenutku procesa koji definiše veličina tekućeg poluprečnika venca R , uzima se $K = \text{const}$ pa imamo da je:

$$G_i = A \int_r^R K \frac{d\rho}{\rho} \cong A K_{sr} \int_r^R \frac{d\rho}{\rho}$$

Prema [1] i [6] najbolji rezultati se postižu ako se vrednosti specifičnog deformacionog otpora uzimaju na osnovu srednje deformacije na vencu koja predstavlja aritmetičku sredinu deformacija na spoljašnjoj i unutrašnjoj ivici venca

$$\epsilon_{sr} = \frac{\epsilon_r + \epsilon_R}{2}$$

Drugi autori [4] uzimaju specifični deformacioni otpor na osnovu deformacije na spoljašnjoj ivici venca

$$\epsilon_r = 1 - \frac{R}{R_0}$$

gde R predstavlja tekući poluprečnik venca a R_0 poluprečnik platine.

Na osnovu srednje deformacije i deformacije na spoljašnjoj ivici venca idealni napon izvlačenja se može izraziti u obliku

$$G_i(\epsilon_{sr}) = BK(\epsilon_{sr}) \int_r^R \frac{d\rho}{\rho} \dots\dots\dots (3)$$

$$G_i(\epsilon_R) = BK(\epsilon_R) \int_r^R \frac{d\rho}{\rho} \dots\dots\dots (4)$$

Na osnovu onoga što je već rečeno, najtačnije vrednosti idealnog napona dubokog izvlačenja postižu se na osnovu srednje deformacije prema obrascu (3). Manje tačne vrednosti idealnog napona izvlačenja dobijaju se na osnovu deformacije na spoljašnjoj ivici venca (obrazac 4) ali su dobijeni izrazi, za razliku od prvog slučaja, znatno jednostavniji tako da se može dobiti čak i maksimum [4].

Da bismo utvrdili odstupanja izraza (3) u odnosu na (4) podelimo ih međusobno:

$$\frac{G_i(\epsilon_{sr})}{G_i(\epsilon_R)} = \frac{K(\epsilon_{sr})}{K(\epsilon_R)} = \int \dots\dots\dots (5)$$

Na taj način utvrdili smo da se odnos idealnih napona izvlačenja prema obrascima (3) i (4) svodi na odnos specifičnih otpora deformacije koje uzimamo u funkciji deformacija, koje su kako znamo parametri procesa.

Pošto je u opštem slučaju specifični otpor deformacije:

$$K = K_m \left(\frac{\psi}{\psi_m} \right)^n$$

Zamenom u jednačini (5) u funkciji od odgovarajuće deformacije imamo:

$$\xi = \frac{K(\epsilon_{sr})}{K(\epsilon_R)} = \frac{K_m \left(\frac{\epsilon_{sr}}{\psi_m} \right)^n}{K_m \left(\frac{\epsilon_R}{\psi_m} \right)^n} = \left(\frac{\epsilon_{sr}}{\epsilon_R} \right)^n = \left[\frac{1}{2} \left(1 + \frac{\epsilon_r}{\epsilon_R} \right) \right]^n \quad \dots\dots\dots (6)$$

Kao što je vidljivo iz (6) odnos idealnih napona izvlačenja sveli smo na funkcionalnu zavisnost od odnosa $\left(\frac{\epsilon_r}{\epsilon_R} \right)$ kao parametara procesa dubokog izvlačenja pri čemu je uticaj parametara materijala izražen preko eksponenta $n = \frac{\psi_m}{1-\psi_m}$

U daljem toku izlaganja izvršićemo analizu odnosa $\left(\frac{\epsilon_r}{\epsilon_R} \right)$ i njegovu zavisnost od uticajnih faktora.

Pošto je deformacija na unutrašnjoj ivici venca [3]

$$\epsilon_r = 1 - \frac{m}{\sqrt{1 - \left(\frac{R}{R_0} \right)^2 + m^2}}$$

gde je $m = \frac{r}{R_0}$ odnos izvlačenja, zamenom $\frac{R}{R_0} = 1 - \epsilon_R$ možemo je izraziti u funkciji deformacije na spoljašnjoj ivici venca pa imamo:

$$\epsilon_r = 1 - \frac{m}{\sqrt{\epsilon_R(2 - \epsilon_R) + m^2}} = \frac{\sqrt{\epsilon_R(2 - \epsilon_R) + m^2} - m}{\sqrt{\epsilon_R(2 - \epsilon_R) + m^2}}$$

Deobom sa ϵ_R dobijamo:

$$\frac{\epsilon_r}{\epsilon_R} = \frac{\sqrt{\epsilon_R(2 - \epsilon_R) + m^2} - m}{\epsilon_R \sqrt{\epsilon_R(2 - \epsilon_R) + m^2}} \quad \dots\dots\dots (7)$$

Na osnovu poznatih vrednosti deformacija na spoljašnjoj ivici venca koje se kreću u rasponu:

$$0 \leq \epsilon_R \leq (1 - m)$$

možemo analizom dobiti granice u kojima će se kretati odnos deformacija $(\frac{\epsilon_r}{\epsilon_R})$ prema izrazu (7).

Unošenjem vrednosti $\epsilon_R = 0$ u izraz (7) dobijamo neodređenost tipa $\frac{0}{0}$ tako da je granična vrednost (7):

$$\lim_{\epsilon_R \rightarrow 0} \left(\frac{\epsilon_r}{\epsilon_R} \right) = \lim_{\epsilon_R \rightarrow 0} \frac{(\sqrt{\epsilon_R(2-\epsilon_R)+m^2}-m)'}{(\epsilon_R \sqrt{\epsilon_R(2-\epsilon_R)+m^2})'} = \lim_{\epsilon_R \rightarrow 0} \frac{\frac{(1-\epsilon_R)}{\sqrt{\epsilon_R(2-\epsilon_R)+m^2}}}{\sqrt{\epsilon_R(2-\epsilon_R)+m^2} + \frac{\epsilon_R(1-\epsilon_R)}{\sqrt{\epsilon_R(2-\epsilon_R)+m^2}}} = \frac{1}{m^2}$$

S druge strane granična vrednost odnosa (7) kada $\epsilon_R \rightarrow (1-m)$ iznosi:

$$\lim_{\epsilon_R \rightarrow (1-m)} \left(\frac{\epsilon_r}{\epsilon_R} \right) = \lim_{\epsilon_R \rightarrow (1-m)} \frac{\sqrt{\epsilon_R(2-\epsilon_R)+m^2}-m}{\epsilon_R \sqrt{\epsilon_R(2-\epsilon_R)+m^2}} = 1$$

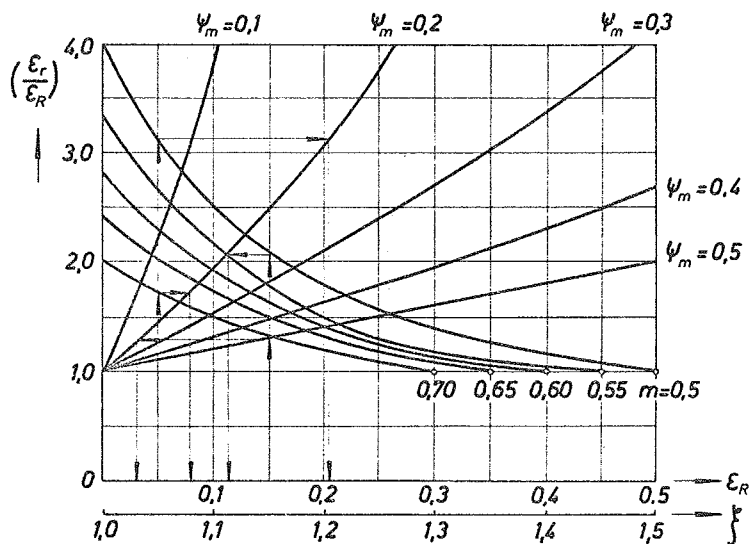
Na osnovu onog što smo izveli vidimo da se područje u kome se kreće odnos deformacija na unutrašnjoj i spoljašnjoj ivici venca nalazi u granicama:

$$1 \leq \left(\frac{\epsilon_r}{\epsilon_R} \right) \leq \frac{1}{m^2}$$

Sem toga vidimo da je odnos deformacija funkcija odnosa izvlačenja i da se menja u toku procesa izvlačenja.

Na sl. 2. grafički je prikazana zavisnost $\xi = f\left(\frac{\epsilon_r}{\epsilon_R}\right)$ u funkciji deformacije ϵ_R na spoljašnjoj ivici venca a za razne odnose izvlačenja i razne vrednosti ψ_m .

Iz primera na sl. 2 za odnos izvlačenja $m = 0.50$ i $\psi_m = 0.20$ vidimo da sa porastom deformacije ϵ_R na spoljašnjoj ivici venca brojčana vrednost ξ opada, što znači da je ista na početku procesa izvlačenja najveća a na kraju procesa $\xi = 1$. U istoj slici za odnos izvlačenja $m = 0.70$ i istu vrednost parametra materijala $\psi_m = 0.20$ i deformacije ϵ_R , vidimo da su vrednosti ξ znatno manje nego u prvom slučaju na osnovu čega možemo zaključiti da se povećanje odnosa izvlačenja odražava na smanjenje vrednosti ξ .



Sl. 2

Pošto \int predstavlja odnos idealnih napona izvlačenja prema (5) računatih na osnovu srednje deformacije i deformacije na spoljašnjoj ivici venca, njihova razlika je utoliko manja ukoliko su stepen izvlačenja i stepen deformacije veći.

Ako se vratimo sada na izraz (5) iz datog odnosa je:

$$G_1(\epsilon_{sr}) = K(\epsilon_R) \int \cdot \ln \frac{R}{r} \dots \dots \dots (8)$$

Iz (8) vidimo da se idealni napon izvlačenja računat na osnovu srednje deformacije može dobiti kao funkcija proizvoda specifičnog deformacionog otpora na osnovu deformacije na spoljašnjoj ivici venca $K(\epsilon_R)$, popravnog koeficijenta \int i veličine $\ln \frac{R}{r}$.

Pošto vrednosti $K(\epsilon_R)$ leže na krivoj očvršćavanja, pri čemu je merodavna deformacija na apscisnoj osi ϵ_R , istu je moguće

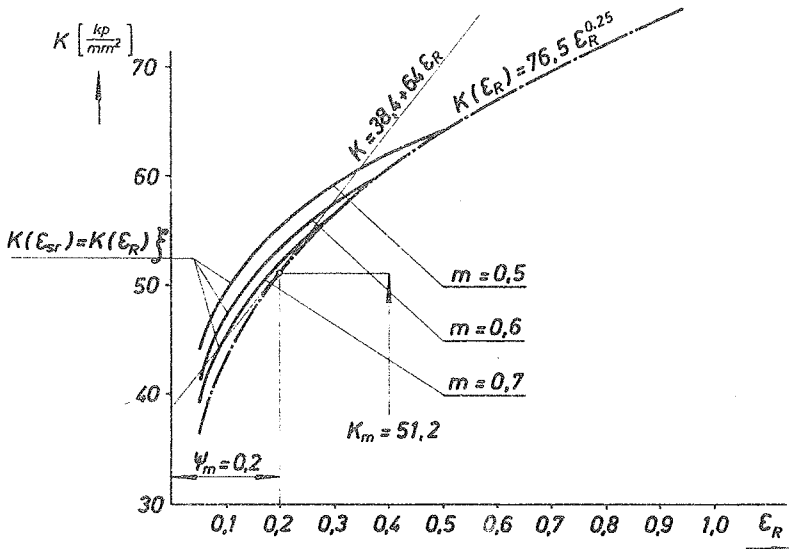
pomoću faktora f korigovati tako da korigovane vrednosti predstavljaju vrednosti specifičnog deformacionog otpora na osnovu srednje deformacije:

$$K(\epsilon_{sr}) = K(\epsilon_R) f. \dots\dots\dots(9)$$

Na sl. 3 nacrtana je kriva očvršćavanja $K(\epsilon_R)$ na osnovu parametara materijala $\psi_m = 0.2$ i $G_m = 41 \frac{kp}{cm^2}$. Na datu krivu u tački lokalizacije deformacije ($\psi_m = 0.2$) povučena je tangenta.

Pošto su kao merodavne deformacije na apscisnoj osi uzete deformacije na spoljašnjoj ivici venca, kriva očvršćavanja korigovana je pomoću faktora f za razne odnose izvlačenja ($m = 0,5; 0,6; 0,7$).

Kao što se vidi iz pomenute slike u zavisnosti od odnosa izvlačenja dobijaju se različite krive čije ordinate u razmeri predstavljaju specifične deformacione otpore prema izrazu (9).



Sl.3

Na osnovu onoga što je ranije izloženo kao i na osnovu sl.3 možemo zaključiti da merodavna deformacija na spoljašnjoj ivici venca u odnosu na srednju deformaciju daje utoliko veću grešku ukoliko je odnos izvlačenja manji.

Zamena krive očvršćavanja tangentom povučenom u tački lokalizacije deformacije ne daje takodje tačne rezultate za idealni napon izvlačenja jer se ona nalazi znatno niže od korišćenih krivih a i korekcija koju vršimo mora biti u zavisnosti od veličine odnosa izvlačenja za dotični proces.

Merodavnu deformaciju na spoljašnjoj ivici venca možemo koristiti u slučajevima proračuna idealnog napona izvlačenja sa velikim odnosom izvlačenja jer su u tom slučaju greške najmanje.

L I T E R A T U R A

- [1] GUBKIN S.I. Plastičeskaja deformacija metaliov. Metallurgizdat, Moskva 1961.
- [2] MUSAFIJA B. Obrada metala plastičnom deformacijom II dio. Univerzitet u Sarajevu, 1966.
- [3] MITKOVIĆ V. Analiza deformacije u I-voj operaciji dubokog izvlačenja rotacionih tela. Zbornik radova br. 1, Sarajevo, 1969.
- [4] POPOV E.A. Osnovi teoriji listovoj štamповki. Mašinstroenie, Moskva 1968.
- [5] STOROŽEV M.V., POPOV E.A. Teorija obrabotki metallov davleniem. Visšaja škola, Moskva 1963.
- [6] ŠOPHAN L.A. Teorija i rasčeti procesov holodnoj štamповki. Mašinstroenie, Moskva 1964.

Z U S A M M E N F A S S U N G

Die durchgeführten Analysen zeigten, dass eine funktionale Beziehung zwischen der idealen Tiefziehspannung, berechnet auf Grund der mittleren Vervormung und der Vervormung an der äusseren Kante des Kranzes besteht.

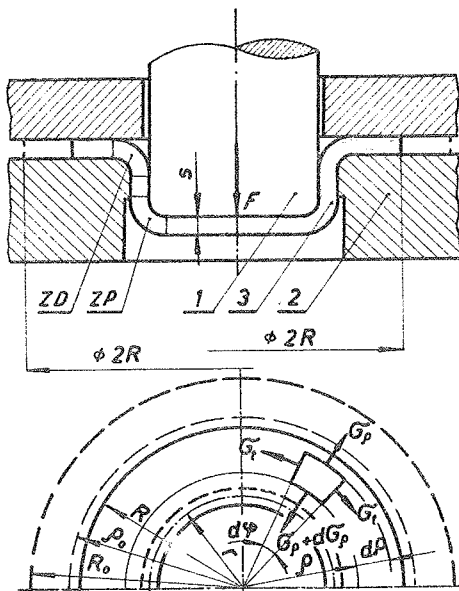
Auf Grund der erwähnten funktionallen Beziehung und des gegebenen Beispiels kam man zur Auffassung, dass man die mittlere Vervormung, anstatt der Verformung an der äusseren Kranzkante, ohne grösseren Fehler bei grossen Tiefziehverhältnissen anwenden kann.

M. D j i k i ć ^{x)}

PRILOG ODREĐJIVANJU GLAVNIH NAPONA KOD PRVE OPERACIJE
DUBOKOG IZVLAČENJA BEZ PROMJENE DEBLJINE LIMA

1. Uvod

Proces prve operacije dubokog izvlačenja bez promjene debljine lima šematski je prikazan na sl.1. Izvlakač 1 iz platine (poluprečnika R_0 i debljine s) izvlači u prstenu za izvlačenje 2 čanče srednjeg poluprečnika r . Proces izvlačenja je prikazan u trenutku kada vijenac čančeta 3 ima poluprečnik R .



Sl.1. Šema posmatranog procesa i dejstvo napona na elementarni dio vijenca čančeta

U toku samog procesa sila izvlačenja F prenosi se sa izvlakača na dno čančeta pa preko zone prenosa sile ZP na zonu deformacije materijala ZD , a preko nje i na vijenac čančeta. Usljed ovog prenosa sile javljaju se naponi u svim dijelovima materijala koji se izvlači.

Tek sa poznavanjem naponskog stanja može se odrediti sila potrebna za izvlačenje a sa njom i optimalna mašina za izvlačenje. Pored toga, poznavanje naponskog stanja omogućava pronalaženje optimalnog odnosa izvlačenja $m = \frac{r}{R_0}$,

a to znači izbor takvog tehnološkog postupka kod kojeg se vrši najmanje medjuoperacija od platine do konačnog proizvoda.

^{x)} Mahmud Djikić, dipl.ing., asistent Mašinskog fakulteta u Sarajevu, saradnik Zavoda za alatne mašine, alat i mjernu tehniku, Sarajevo.

2. Deformacija na vijencu čančeta

Da bi se našla funkcionalna zavisnost deformacije drugog reda ψ (poprečna kontrakcija ili deformacija presjeka) od parametara procesa potrebno je posmatrati deformaciju bilo kog poluprečnika ρ_0 . Ako se proces izvlačenja zaustavi u nekom trenutku (pri nekom vanjskom poluprečniku R vijenca, kao što je to na sl.1. prikazano) poluprečnik ρ_0 smanjit će se na poluprečnik ρ . Iz razlike površina na ta dva poluprečnika i iz jednakosti volumena dijela vijenca van tih poluprečnika dobija se zavisnost deformacije od trenutnog poluprečnika:

$$\pi(R_0^2 - \rho_0^2)s = \pi(R^2 - \rho^2)s \rightarrow \rho_0 = \sqrt{R_0^2 - R^2 + \rho^2}$$

$$\psi = \frac{2\pi\rho_0 s - 2\pi\rho s}{2\pi\rho_0 s} = 1 - \frac{\rho}{\rho_0} = 1 - \frac{\rho}{\sqrt{R_0^2 - R^2 + \rho^2}} = 1 - \frac{\rho}{\sqrt{P^2 + \rho^2}} \quad (1)$$

U ovom izrazu $P = \sqrt{R_0^2 - R^2}$ je univerzalni parametar jer on zavisi od trenutka u kojem se proces posmatra (od nestacionarnog poluprečnika R) a i od geometrije procesa (poluprečnika R_0).

3. Diferencijalna jednačina ravnotežnog stanja

Da bi se odstranili sporedni uticaji na naponsko stanje, potrebno je zanemariti napone koji se javljaju usljed pritiska držača lima na vijenac i usljed trenja izmedju prstena za izvlačenje, vijenca i držača lima. Posljedica ovoga je da je glavni napon koji je okomit na površinu vijenca jednak nuli i da su svi tangencijalni naponi smicanja jednaki nuli pa se dobija dvodimenzionalna naponska šema. Na svaki elementarni dio vijenca (prikazan na sl.1) zbog toga djeluju samo glavni naponi G_p i G_t (u radijalnom i tangencijalnom pravcu). Iz uslova ravnoteže, tj. iz sume svih sila koje djeluju na ovaj dio u pravcu njegove simetrale (poslije zamjene $\sin \frac{d\varphi}{2} \approx \frac{d\varphi}{2}$ dijeljenja sa $sd\varphi \neq 0$ i zanemarivanja veličine $dG_p d\rho$ kao infinitezimale višek reda) dobije se:

$$dG_p = -(G_p - G_t) \frac{d\rho}{\rho} \quad (2)$$

Prema hipotezi najveće deformacione energije utrošene na promjenu oblika [1], uslov plastičnog tečenja glasi:

OD.5.2

$$\bar{G}_1 - \bar{G}_2 = \bar{G}_{max} - \bar{G}_{min} = \bar{G}_p - \bar{G}_t = \beta k \quad (3)$$

gdje je k specifični deformacioni otpor, a β koeficijent koji se kreće u granicama $1 \leq \beta \leq \frac{2}{\sqrt{3}}$

Uvrštavajući (3) u (2) diferencijalna jednačina ravnotežnog stanja se veoma pojednostavljuje pa preostaje samo da se lijeva i desna strana integrale od ρ do R pri čemu treba imati u vidu da je $\bar{G}_p(R) = \bar{G}_r = 0$. Tako se dobije integral radijalnog napona koji se može riješiti tek kad se odredi veza između specifičnog deformacionog otpora i poluprečnika ρ :

$$\bar{G}_p = \int_{\rho}^R k \frac{d\rho}{\rho} \quad (4)$$

4. Analičko rješenje radijalnog napona

Kako je već poznata veza između deformacije i poluprečnika (1) potrebno je samo naći vezu između specifičnog deformacionog otpora k i deformacije drugog reda ψ . Ta zavisnost u koordinatnom sistemu ψ ok predstavljena je krivom očvršćavanja. Postoji više analitičkih izraza za tu zavisnost:

4.1. Deformacioni otpor je linearna funkcija deformacije

F.Körber [1] je predložio da se kriva očvršćavanja drugog reda $k=k(\psi)$ zamjeni tangentom povučenom u tački $M(\psi_m, k_m)$, tj. u momentu početka lokalne deformacije na probnoj epruveti. Tako se dobije linearna zavisnost:

$$k = k_m \frac{1 - 2\psi_m + \psi}{1 - \psi_m} \quad , \quad \text{tj.} \quad k = a + b\psi \quad (5)$$

Ako se (5) uvrsti u (4) i umjesto deformacije ψ uvrsti dobijeni izraz (1), integral napona dobija oblik:

$$\bar{G}_p = \beta \int_{\rho}^R (a + b\psi) \frac{d\rho}{\rho} = \beta(a+b) \int_{\rho}^R \frac{d\rho}{\rho} - \beta b \int_{\rho}^R \frac{d\rho}{\sqrt{R_0^2 - R^2 + \rho^2}}$$

$$\bar{G}_p = \beta \left[(a+b) \ln \frac{R}{\rho} - b \ln \frac{\rho + R_0}{\sqrt{R_0^2 - R^2 + \rho^2}} \right] \quad (6)$$

4.2. Deformacioni otpor je stepena funkcija deformacije

Polazeći od pretpostavke da je k stepena funkcija deformacije ("parabola n -tog reda") Gubkin [2] je dobio funkciju:

$$k = k_m \left(\frac{\psi}{\psi_m} \right)^{1-\psi_m}, \text{ tj. } k = c \psi^n \quad (7)$$

Uvrštavajući (7) u integral radijalnog napona (4) i vršeći smjenu nezavisno promjenjive veličine $\rho = Pshx$ dobije se:

$$\psi = 1 - \frac{\rho}{\sqrt{\rho^2 + P^2}} = 1 - \frac{Pshx}{Pchx} = 1 - thx \quad (8)$$

$$G_p = \beta c \int_{x_1}^{x_2} (1-thx)^n \frac{Pchx dx}{Pshx} = \beta c \int_{x_1}^{x_2} \frac{(1-thx)^n}{thx} dx \quad (9)$$

a ako se uvrsti vrijednost za thx:

$$thx = \frac{e^{2x} - 1}{e^{2x} + 1} \quad \text{dobije se } G_p = 2^n \beta c \int_{x_1}^{x_2} \frac{(e^{2x} + 1)^{1-n}}{e^{2x} - 1} dx \quad (10)$$

pri čemu su granice integracije:

$$x_1 = x(\rho) = \text{Arsh } \frac{\rho}{P} = \ln \left(\frac{\rho}{P} + \sqrt{\frac{\rho^2}{P^2} + 1} \right) \quad (11)$$

$$x_2 = x(R) = \text{Arsh } \frac{R}{P} = \ln \left(\frac{R}{P} + \sqrt{\frac{R^2}{P^2} + 1} \right)$$

Sa novom smjenom $u = e^{2x} - 1$ integral (10) postaje:

$$G_p = 2^n \beta c \int_{u_1}^{u_2} \frac{(u+2)^{1-n}}{2u(u+1)} du = \frac{\beta c}{2^{1-n}} \left(\int_{u_1}^{u_2} \frac{(u+2)^{1-n}}{u} du - \int_{u_1}^{u_2} \frac{(u+2)^{1-n}}{u+1} du \right) \quad (12)$$

a nove granice integracije su:

$$u_1 = u(x_1) = e^{2 \text{Arsh } \frac{\rho}{P}} - 1 = \left(\frac{\rho}{P} + \sqrt{\frac{\rho^2}{P^2} + 1} \right)^2 - 1 \quad (13)$$

$$u_2 = u(x_2) = e^{2 \text{Arsh } \frac{R}{P}} - 1 = \left(\frac{R}{P} + \sqrt{\frac{R^2}{P^2} + 1} \right)^2 - 1$$

Uzimajući u obzir da je $1-n$ racionalan broj ($1 - \frac{\psi_m}{1-\psi_m}$ je racionalna funkcija racionalnog broja ψ_m) on se može prikazati u obliku razlomka, tj. $1-n = \frac{p}{q}$, gdje su p i q uzajamno prosti brojevi, a to znači da je moguće riješiti dobijene integrale (12) za svaki poseban slučaj (kada su poznati p i q) jer oni spadaju u binomne integrale druge vrste i po teoremi Čebiševa [3] mogu se riješiti smjenom $t = \sqrt[3]{u+2}$

Radijalni napon moguće je dobiti i u opštem slučaju. Da bi se to postiglo potrebno je (12) napisati u malo drukčijem vidu:

$$G_p = \frac{\beta c}{2^{1-n}} \left(\int_{u_1}^{u_2} \frac{u^{-n} \left(1 + \frac{2}{u}\right)^{1-n}}{u} du - \int_{u_1}^{u_2} \frac{u^{-n} \left(1 + \frac{2}{u}\right)^{1-n}}{u+1} du \right) \quad (12a)$$

Sađa se, polazeći od toga da je $r_{\min} = R_{\min} = 0,48 R_0$ (jer postoji fizičko ograničenje za poluprečnike $r \leq \rho \leq R \leq R_0$ a minimalni odnos izvlačenja je $m = 0,48$ [4]), može dokazati da je $(\frac{2}{u})_{\max} = 0,715$, a to znači da se faktor $(1 + \frac{2}{u})^{1-n}$ može razviti po Njutnovom binomnom obrascu u beskonačni alternativni red. Dokaz konvergencije se može izvesti iz Dalamberovog kriterija za proizvoljan red [5], odakle odmah slijedi da se članovi tog reda po apsolutnoj vrijednosti smanjuju. Za takve redove je, kod aproksimacije beskonačnog reda konačnim, suma ostatka tog reda manja od prvog člana ostatka. Pored toga, polazeći od dobijenih granica za $1-n$ može se dokazati da peti član reda ima maksimalnu vrijednost:

$$a_{5\max} = \left[\left(\frac{1-n}{4} \right) \left(\frac{2}{u} \right)^4 \right]_{\max} = 0,009$$

(za $(1-n)_{\min} = 0,57$ i $u_{\min} = 2,8$). Ovo znači da je greška, nastala aproksimirajući beskonačni red sa njegova prva četiri člana manja od 10^{-2} , što je sasvim zadovoljavajuće, Rješavajući na ovaj način dobijene integrale (12a) (u drugom pored toga treba izvršiti smjenu $t = u + 1$) i uvrštavajući granice integracije (13), za radijalni napon se dobije izraz:

$$\begin{aligned} \sigma_{\rho} = \frac{\beta c}{2^{1-n}} & \left\{ \frac{1}{1-n} \left[z^{1-n} (\rho_1 m_1)^{1-n} - (\rho_2 m_2)^{1-n} - m_1^{-2(1-n)} + m_2^{2(1-n)} \right] - \right. \\ & - \frac{2(1-n)}{n} \left[\frac{(\rho_1 m_1)^{-n} - (\rho_2 m_2)^{-n}}{2^n} - \frac{1}{2} (m_1^{-2n} - m_2^{-2n}) \right] + \\ & + \frac{2n(1-n)}{n+1} \left[\frac{(\rho_1 m_1)^{-n-1} - (\rho_2 m_2)^{-n-1}}{2^{n+1}} - \frac{1}{4} (m_1^{-2n-2} - m_2^{-2n-2}) \right] - \\ & \left. - \frac{4n(1-n)(1+n)}{3(n+2)} \left[\frac{(\rho_1 m_1)^{-n-2} - (\rho_2 m_2)^{-n-2}}{2^{n+2}} - \frac{1}{8} (m_1^{-2n-4} - m_2^{-2n-4}) \right] \right\} \end{aligned}$$

gdje su:

$$\rho_1 = \frac{R}{P} ; m_1 = \frac{R}{P} + \sqrt{\frac{R^2}{P^2} + 1} ; \rho_2 = \frac{\rho}{P} ; m_2 = \frac{\rho}{P} + \sqrt{\frac{\rho^2}{P^2} + 1}$$

Očigledno je da je ovaj izraz nepodesan za praktičnu primjenu pa zbog toga nije potpuno detaljno izveden.

5. Grafička metoda za određivanje radijalnog napona

5.1. Analiza problema

Ako se sada, poslije analitičkog razmatranja, pogleda zbog čega je otežano analitičko dobijanje tačnog izraza za radijalni napon može se zaključiti sljedeće:

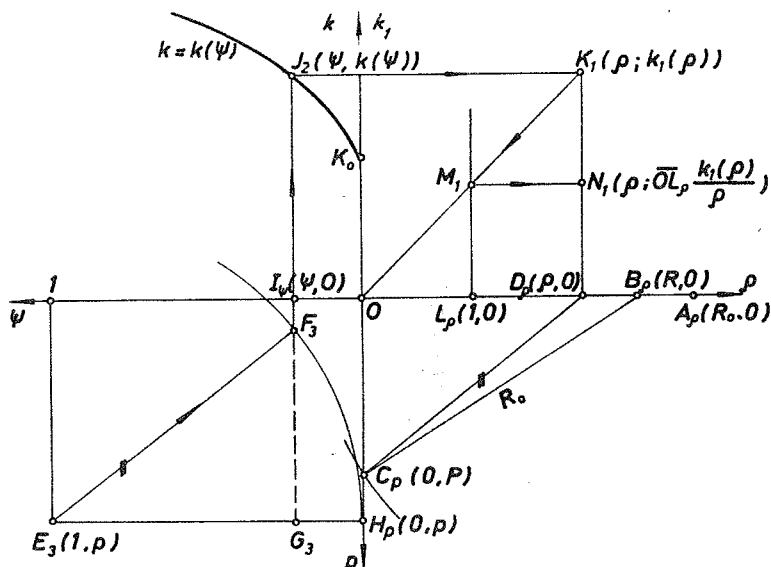
- dobijena diferencijalna jednačina je veoma jednostavna i rješenje se dobija samo jednom kvadraturom,
- deformacija je iracionalna funkcija poluprečnika (pa se može i grafički dobiti ako se poznaju parametri procesa),
- zavisnost specifičnog deformacionog otpora od poluprečnika je, kao složena funkcija $k=k(\psi) = k(\psi(\rho)) = k_1(\rho)$ jedne iracionalne i jedne stepene (ili eksponencijalne po B. Muskhelishvili [6]) funkcije, veoma nezgodna za analitičko izračunavanje integrale.

Ako se sve ovo uzme u razmatranje nameće se ideja da se rješenje diferencijalne jednačine potraži u grafičkoj konstrukciji podintegralne krive (funkcije). Grafički je lako dobiti grafik složene funkcije $k=k_1(\rho)$ ako su poznati grafici funkcija $k(\psi)$ i $\psi(\rho)$. Očigledno je da je tačan grafik funkcije $k(\psi)$ teško konstruisati, pa zbog toga u grafičkoj konstrukciji treba da sudjeluje već gotov (diskretnim nizom tačaka grafika analitički ili eksperimentalno dobijen) grafik krive očvršćavanja.

5.2. Konstrukcija

Konstrukciju pojednostavljuje činjenica da su sve veličine ρ , R , ψ , $k(\psi)$, $k_1(\rho)$ i $\frac{k_1(\rho)}{\rho}$ uvijek pozitivne pa se crtanje grafika može ograničiti samo na prve kvadrante. U uslovima višeosnog koordinatnog sistema treba zadržati uredjenost u označavanju koordinata pa, ako se zadrže nazivi apscisa i ordinata, treba svaku tačku označiti indeksom kvadranta kojem pripada. Tačke na osama treba označiti indeksom ose. Konstrukcija podintegralne krive data je na sl.2.

Da bi se izvršila konstrukcija treba smatrati poznatim poluprečnike R i R_0 . Na poluosi ρ odrede se tačke $A_\rho (R_0, 0)$ i $B_\rho (R, 0)$. Šestarom se uzme dužina $\overline{OA}_\rho = R_0$ i iz tačke B_ρ pre-



Sl.2. Grafička metoda za dobijanje podintegralne krive

siječe poluosa p tako da se dobije tačka $C_p(0, p)$. Konstruiše se tačka $E_3(1, p)$, koja ima proizvoljnu ordinatu, a u drugom kvadrantu nacrtta se kriva $k=k(\psi)$ analitički ili eksperimentalno dobijena. Iz bilo koje tačka $D_p(\rho, 0)$ iz intervala $[r, R]$ na poluosi ρ povuče se spojnicu $\overline{D_p C_p}$ i iz tačke E_3 paralela sa tom spojnicom do presjeka sa krugom poluprečnika l opisanim iz E_3 . Tako se dobija tačka F_3 . Iz nje se povuče vertikala do krive $k(\psi)$ (tačka I_ψ i J_2), pa horizontala do presjeka sa vertikalom u tački D_p (tačka K_1). Tačka K_1 spaja se sa centrom, presjek te spojnice sa vertikalom u tački $L_p(10^k, 0)$ ($k=0, 1, 2, \dots$) vraća na vertikalu $\overline{D_p K_1}$ i tako dobije tačka N_1 .

Ordinatu $\overline{D_p N_1}$ je vrijednost podintegralne funkcije u tački $D_p(\rho, 0)$ pomnožena sa veličinom apscise tačke L_p . Identičnim postupkom za niz tačaka $D_{p_i}(\rho_i, 0)$ dobija se niz tačaka grafika podintegralne funkcije.

5.3. Dokaz konstrukcije

Tačke $A_p, B_p,$ i D_p su izabrane tako da je $\overline{OA_p} = R_0, \overline{OB_p} = R$ i $\overline{OD_p} = \rho$. Konstrukcijom se dobija tačka C_p tako da je $\overline{D_p C_p} = R_0$.

Po Pitagorinom pravilu je: $\overline{OC}_p = \sqrt{\overline{D}_p \overline{C}_p^2 - \overline{OD}_p^2} = \sqrt{R_0^2 - R^2} = \rho$

Iz konstrukcije slijedi da su trouglovi $E_3 G_3 F_3$ i $D_p O C_p$ slični tako da je:

$$\overline{E}_3 \overline{G}_3 = \frac{\overline{OD}_p \cdot \overline{E}_3 \overline{F}_3}{\overline{C}_p \overline{D}_p} = \frac{\rho}{\sqrt{\rho^2 + \rho^2}} \quad \text{jer je: } \overline{D}_p \overline{C}_p = \sqrt{\rho^2 + \rho^2} \quad \text{jer je: } \overline{E}_3 \overline{F}_3 = 1$$

a to znači da je: $\overline{OI}_y = \overline{G}_3 \overline{H}_p = \overline{E}_3 \overline{H}_p - \overline{E}_3 \overline{G}_3 = 1 - \frac{\rho}{\sqrt{\rho^2 + \rho^2}} = \psi(\rho)$

Iz konstrukcije slijedi da je: $\overline{I}_y \overline{J}_2 = k(\overline{I}_y \overline{O})$ pa iz $\overline{I}_y \overline{O} = \psi(\rho)$

slijedi: $\overline{I}_y \overline{J}_2 = k(\overline{I}_y \overline{O}) = k(\psi(\rho)) = k_1(\rho) = \overline{K}_1 \overline{D}_p$

Na kraju iz sličnosti trouglova $\triangle K_1 D_p O \sim \triangle M_1 L_p O$

slijedi: $\overline{M}_1 \overline{L}_p = \frac{\overline{OL}_p \overline{K}_1 \overline{D}_p}{\overline{OD}_p} = \overline{OL}_p \frac{k_1(\rho)}{\rho} = \overline{N}_1 \overline{D}_p$

Time je konstrukcija dokazana.

5.4. Determinacija konstrukcije

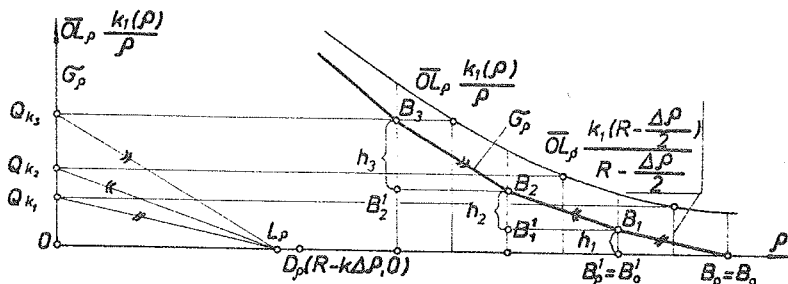
Krug poluprečnika R_0 iz tačke B_p zbog $R \leq R_0$ ima uvijek jednu presječnu (a za $R=R_0$ dodirnu) tačku sa poluosom p pa uvijek postoji tačka C_p . Koeficijent smjera pravca kroz tačke C_p i D_p je uvijek nenegativan pa paralele iz E_3 (kao centra kružnice moraju sjeći prikazani dio kružnice u samo jednoj tački (inače ne bi prolazile kroz centar). I ostali dio konstrukcije je jednoznačan, jer je funkcija $k=k(\psi)$ jednoznačna.

Prema tome, za čitavu konstrukciju postoji samo jedno rješenje.

U slučaju da je $R \approx R_0$ krug iz B_p siječe pod malim uglom ordinatu pa presjek nije tačno definisan. U tom slučaju se ordinata tačke C_p može naći i analitički: $P = \sqrt{R_0^2 - R^2}$

5.5. Grafička integracija

Dobijena podintegralna funkcija se može integraliti svim grafičkim i mehaničkim postupcima jer je moguće postići željenu gustoću tačaka grafika. Najpraktičnija je, međjutim, metoda grafičke integracije sa promjenjivom donjom granicom, jer se radi upravo o integralu kod koga se nezavisno promjenjiva nalazi na donjoj granici. Ova metoda prikazana je na sl.3. Polazeći od već dobijene krive $\overline{OL}_p \frac{k_1(\rho)}{\rho}$ i poznate tačke L_p dobija se kriva linija čije su ordinate upravo traženi integrali.



Sl.3. Prilog za grafičku integraciju

Konstrukcija: Interval $[\rho, R]$ na poluosi ρ se podijeli na n dijelova širine $\Delta\rho$. U sredinama dobijenih raznaka podignu se ordinate do presjeka sa krivom $\frac{\overline{OL}_\rho k_1(\rho)}{\rho}$ pa se iz dobijenih tačaka povuku horizontale do poluose k . Tačke presjeka Q_{ki} treba spojiti sa tačkom L_ρ . Iz tačke B_ρ vuče se paralela sa $\overline{Q_{ki}L_\rho}$ do presjeka sa vertikalom u tački $B_\rho^1 (R - \Delta\rho, 0)$. Tako se dobije tačka B^1 . Iz $B^1(R - \Delta\rho, h_1)$ vuče se paralela sa $\overline{Q_{k2}L_\rho}$ do tačke B^2 i postupak se nastavlja.

Dokaz: Iz $\Delta Q_{ki} OL_\rho \sim \Delta B_i B_{i-1} B_{i-1}^1$ pri čemu je $B_0 = B_\rho$ i $B_0^1 = B_\rho^1$ slijedi:

$$\frac{h_i}{\Delta\rho} = \frac{\overline{OQ_{ki}}}{\overline{OL}_\rho} = \frac{\overline{OL}_\rho \frac{k_1(R - (2i-1)\frac{\Delta\rho}{2})}{R - (2i-1)\frac{\Delta\rho}{2}}}{\overline{OL}_\rho} \Rightarrow h_i = \Delta\rho k_1(R - (2i-1)\frac{\Delta\rho}{2})$$

za svako $i = 1, 2, 3, \dots, n$.

Površina svakog elementarnog trapeza je (zbog guste podjele):

$$\int_{R-(i-1)\Delta\rho}^{R-i\Delta\rho} \frac{k_1(\rho)}{\rho} d\rho = \Delta\rho k_1(R - (2i-1)\frac{\Delta\rho}{2}) = h_i$$

Ukupna površina od ρ do R ispod podintegralne funkcije je:

$$\int_\rho^R \frac{k_1(\rho)}{\rho} d\rho = \sum_{i=1}^n \int_{R-(i-1)\Delta\rho}^{R-i\Delta\rho} \frac{k_1(\rho)}{\rho} d\rho = \sum_{i=1}^n h_i$$

a to je upravo konstrukcijom postignuto.

Kao što se iz dokaza vidi apscisa tačke L_p (zbog izbora iste tačke L_p za konstrukciju podintegralne funkcije i za grafičku integraciju) ne utiče na veličinu radijalnog napona pa se on dobija u mjerilu koje je već nanoseno na poluosi k (mjerila na poluosama ρ , ψ i k su proizvoljna dok je mjerilo na poluosi p , zbog uslova konstrukcije jednaka sa mjerilom poluose ρ).

6. Odredjivanje tangencijalnog napona

Da bi se potpuno odredilo naponsko stanje potrebno je još odrediti i glavni napon u pravcu tangente (tangencijalni napon). On se odredjuje na osnovu uslova plastičnog tečenja (3) i na osnovu već odredjenog radijalnog napona u funkciji poluprečnika (6) ili (14):

$$G_t(\rho) = G_p(\rho) - \beta k_1(\rho) \quad (15)$$

Kod analitičkog odredjivanja treba u (15) za funkciju očvršćavanja uzeti onu funkciju koja je upotrebljena za dobijanje radijalnog napona ((5) za (6) ili (7) za (14)).

U slučaju grafičkog odredjivanja radijalnog napona tangencijalni napon se dobija pomoću konstrukcije prikazane na sl.4. Iz tačke $P_k(0, 10^j)$ čija je ordinata proizvoljna (ali se radi lakše konstrukcije može uzeti 10^j $j=1, 2, \dots$) opiše se krug poluprečnika $10^j \cdot \beta$. Presjek tog kruga sa poluosom ψ (tačka S_ψ) spoji se sa P_k i tako dobije pravougli trougao $P_k O S_\psi$. Iz tačke K_1 povuče se paralela sa hipotenuzom tog trougla pa se dužina te paralele do presjeka sa osom ρ (tačka T_ρ) vertikalno oduzme od radijalnog napona kako je to na sl.4 prikazano.

Dokaz slijedi iz sličnosti trouglova:

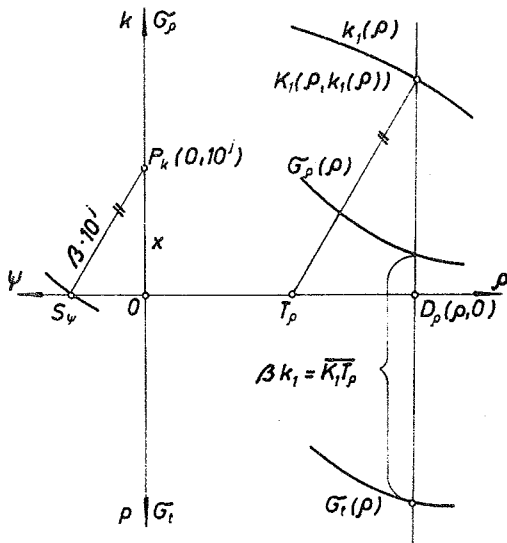
$$\Delta P_k O S_\psi \sim \Delta K_1 T_\rho D_\rho$$

$$\overline{P_k S_\psi} : \overline{O P_k} = \overline{K_1 T_\rho} : \overline{K_1 D_\rho}$$

$$tj. 10^j \beta : 10^j = \overline{K_1 T_\rho} : K_1(\rho)$$

$$\rightarrow \overline{K_1 T_\rho} = \beta k_1(\rho)$$

OD.5.10



Sl.4. Grafičko određivanje tangencijalnog napona.

niku $R_0 = 100$ mm izvlači se čanče poluprečnika $r = 55$ mm (debljina lima nije bitna za dobijanje glavnih napona). Konstrukcija je izvršena za moment kada je vanjski poluprečnik vijenca bio $R = 90$ mm. $\beta = 1.1$ je usvojeno prema [1] a kriva očvršćavanja prema [6].

8. Zaključak

U prethodnim poglavljima data su rješenja diferencijalne jednačine ravnotežnog naponskog stanja analitičkim i grafičkim putem. Na osnovu analize dobijenih rješenja može se dati slijedeći zaključak:

Naponska šema kod procesa dubokog izvlačenja bez promjene debljine lima dobijena grafičkim rješavanjem diferencijalne jednačine ravnotežnog stanja predstavlja teoretski jedno od najtačnijih rješenja koje se u praksi može najjednostavnije primijeniti.

Konstrukcija je jednoznačna jer je uvijek $\beta \geq 1$. Tačnost konstrukcije može biti vrlo velika jer, kao i kod svih datih konstrukcija, zavisi samo od mjerila konstrukcije.

7. Primjer

Radi potpunijeg sagledavanja ove nove grafičke metode za dobijanje glavnih napona u svakom momentu toka izvlačenja i u svakoj tački vijenca dat je jedan primjer:

Na sl.5. prikazano je grafičko dobijanje glavnih napona kod prve operacije dubokog izvlačenja bez promjene debljine lima za mesing Cu 58 ZnPb (Ms 58). Iz platine poluprečnika

L I T E R A T U R A

- [1] B.Musafia: - Obrada metala plastičnom deformacijom, I dio
Univerzitet u Sarajevu, Sarajevo (1966)
- [2] S.I.Gubkin: - Plastičeskaja deformacija metallov, Tom II,
Mašgiz, Moskva (1961)
- [3] I.N.Bronštejn, K.A.Semendjaev: Spravočnik po matematike,
Nauka, Moskva (1964)
- [4] B.Musafia: - Obrada metala plastičnom deformacijom, II
dio, Univerzitet u Sarajevu, Sarajevo (1966)
- [5] M.I.Vigodski: Priručnik više matematike, Gradjevinska
knjiga, Beograd (1966)
- [6] B.Musafia: - Analitički metod odredjivanja specifičnog
deformacionog otpora kao funkcije deforma-
cije, II savjetovanje o proizvodnom mašin-
stvu, Zagreb (1966).

Z U S A M M E N F A S S U N G

M.Djikić

Beilage zur Ermittlung der Hauptspannungen bei der ersten Tiefziehphase ohne der Wandstärkeänderung

In der vorstehenden Arbeit sind die Lösungen der Differentialgleichung der Spannungen im Gleichgewichtszustand in der ersten Tiefziehphase ohne der Wandstärkeänderung dargelegt. Die analytisch ermittelten Lösungen der Hauptspannungen sind entweder annähernd, weil die Verfestigungskurve mit einer Tangente ersetzt wird, oder genügend genau (der Fehler kleiner als 10^{-2}) aber viel zu kompliziert für die praktische Anwendung. Die Graphische Methode für die Ermittlung der Hauptspannungen (die Lösung der diff. Gleichung des Gleichgewichtszustandes) ist, im Gegenteil, theoretisch eine der genauesten und für die Praxis eine der anwendbarsten.

VI SAVJETOVANJE O PROIZVODNOM STROJARSTVU, OPATIJA, 1970.

B. D e v e d ž i ć^{*)}

FORNIRANJE KORELACIONOG POKAZATELJA INDUSTRIJSKE OBRADIVOSTI
MATERIJALA DEFORMACIJOM^{**)}

1. Uvod

Ispitivanje materijala u industriji ima najčešće rutinski karakter i svodi se na kontrolni postupak kojim se proverava da li se vrednosti pojedinih laboratorijskih karakteristika nalaze u dozvoljenoj oblasti. Ako na osnovu ovih karakteristika treba izvršiti, pored ostalog i ocenu tehnoloških kvaliteta materijala u smislu njegove pogodnosti za određenu obradu deformacijom, onda se, u opštem slučaju, mora računati i sa relativnom neizvesnošću u pogledu objektivnosti tako donešene ocene. Njeni uzroci mogu, u osnovi, biti dvojaki.

Prvo, ako se rezultati ispitivanja i nalaze u dozvoljenoj oblasti s obzirom na granične vrednosti (koje su u najvećem broju slučajeva iskustvene), onda bi se na osnovu toga mogao doneti samo uopšten zaključak o zadovoljavajućoj obradivosti materijala. Ostaje, međjutim, neizvesno u kojoj meri je ta obradivost izražena, nije li ona znatno iznad neophodnih iznosa (a time i neoptimalna, jer nepotrebno visok kvalitet materijala implicira neekonomičnu cenu istog), itd.

Drugo, korišćenjem pojedinačnih karakteristika i njihovim jednostavnim upoređenjem sa pomenutim graničnim vrednostima (datim u obliku tehničkih uslova, standardnih propisa i sl.) ignoriše se njihov kompleksan uticaj na kvalitet materijala. Tako, na primer, sama konstatacija da je vrednost neke karakteristike znatno

^{*)} Dr. Branislav Devedžić, dipl.ing., docent Odeljenja Mašinskog Fakulteta u Kragujevcu.

^{**)} Rad predstavlja dalju analizu, uopštavanje i ilustraciju ideje koju je autor već koristio u svojoj tezi: "Prethodna procena proizvodnih performansi karoserijskog lima pomoću kompleksnog laboratorijskog pokazatelja".

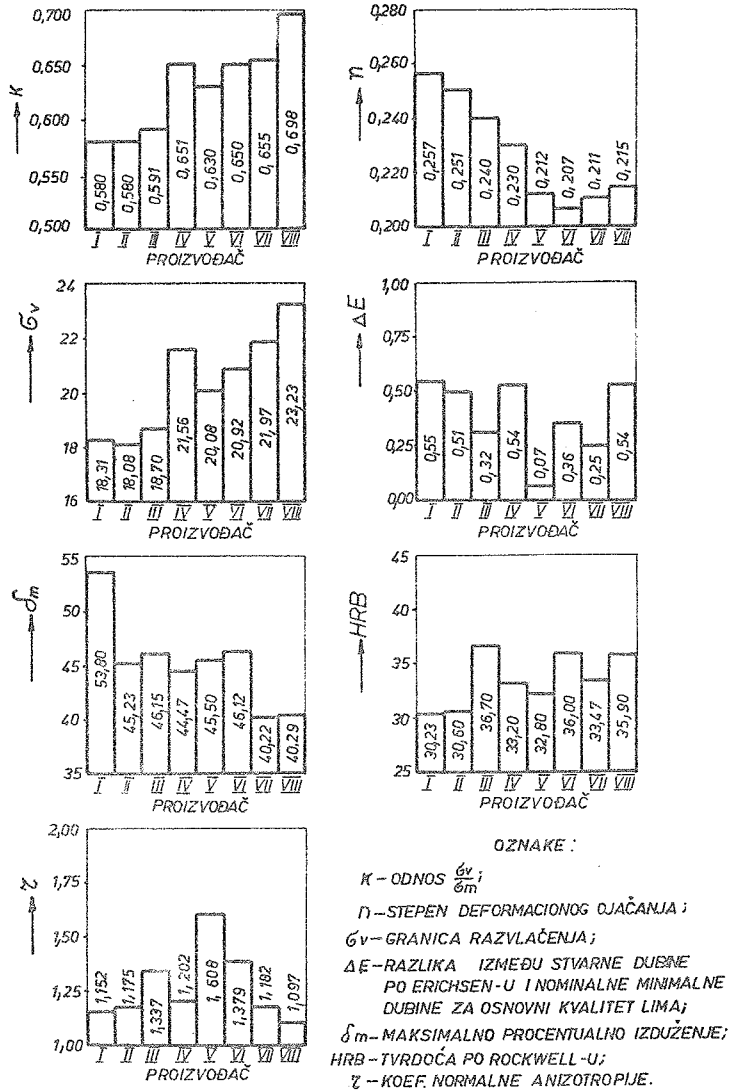
iznad očekivane, a druga ispod, još ništa ne govori o odgovarajućim reperkusijama takvog odnosa na obradivost materijala.

Ove okolnosti naročito dolaze do izražaja pri ispitivanju i oceni veće količine materijala namenjenog izradi raznovrsnih delova komplikovanog i nepravilnog oblika, kod kojih praktično nije moguće pouzdano odrediti sve parametre obrade i dovesti ih u jednoznačnu vezu sa laboratorijskim karakteristikama (mehaničko-tehnološkim i drugim). Ovome posebno doprinosi činjenica da u najvećem broju slučajeva nije opravdano podešavati tehnološki kvalitet materijala samo jednom jedinom delu, već je u konačnom efektu racionalnije od jedne vrste materijala izradjivati veći broj raznovrsnih delova.

Kao tipični primeri u ovom smislu mogu poslužiti komplikovani otpresci i otkovci, koji su uz to još i mnogobrojni a međusobno više ili manje različiti.

Radi ilustracije prednjeg navešće se rezultati opsežnih ispitivanja koje je autor vršio za potrebe Fabrike Automobila "Crvena Zastava" u Kragujevcu.

Ispitivani su kvalitetni karoserijski limovi, nominalno istog kvaliteta, ali proizvedeni od strane osam različitih proizvođača (u raznim zemljama). Ne navodeći ovom prilikom nazive proizvođača, oni su u priloženim grafičkim prikazima označeni simbolima: I, II, . . . , VIII. Ovaj redosled odgovara stvarnom tehnološkom rangu pojedinih vrsta limova, koji je ustanovljen korišćenjem kompleksnog pokazatelja (v.dalje stavove), kao i statističkim regostrovanjem parametara ponašanja limova u proizvodnji. Posle laboratorijskih ispitivanja i statističke obrade podataka, određene su srednje vrednosti nekoliko relevantnijih mehaničko-tehnoloških karakteristika materijala i prikazane grafički za svaku vrstu lima (sl.1.). Očigledno je da tehnološki rang dobijen prema pojedinačnim laboratorijskim karakteristikama ne bi odgovarao navedenom redosledu I - VIII. Osim toga, on bi se razlikovao za svaku od karakteristika, što bi onemogućilo donošenje jednoobraznih zaključaka. Takodje je očigledno da je različit stepen odstupanja od stvarnog redosleda (I, . . . , VIII) prvenstveno posledica različitih uticaja pojedinih karakteristika materijala na njegovu obradivost.



Sl. 1. Prosečne vrednosti pojedinih mehaničko-tehnoloških karakteristika u zavisnosti od vrste lima (proizvođača)

Zbog složenosti čitavog ovog problema, sva nastojanja da se on reši egzaktnom naponsko-deformacionom analizom procesa deformacije (zasnovanom na principima teorijske mehanike) dala su relativno skromne rezultate, a u nekim slučajevima nameće se i na čelno pitanje njihove celishodnosti. Ova konstatacija se, svakako, ne može sasvim generalisati, ali ako se pri razmatranju određenih problema utvrdi stohastički karakter nekih pojava, onda se ta okolnost mora prihvatiti kao realnost i smatrati kao polazište za rešavanje.

2. Kritički osvrt na neke oblike složenih pokazatelja

Prema Gubkinu [1] treba razlikovati pojmove plastičnosti i deformabilnosti. Pored toga i pojam deformabilnosti se može različito tumačiti, pa će se ovde pod njim podrazumevati tzv. "tehnološka deformabilnost", odn. obradivost nekom vrstom obrade deformacijom. Plastičnost, kao mera sposobnosti materijala da se deformiše, uzima u obzir uglavnom granične iznose promena dimenzija pri deformisanju, dok karakteristika deformabilnosti uzima u obzir još i karakter razaranja.

Kako se i jedan i drugi pokazatelj mogu formirati u vidu različitih karakteristika, uveden je pojam srednje plastičnosti

$$\eta_{sr} = \frac{d_1^I + d_2^I + \dots + d_n^I}{n}$$

gde su $d_1^I, d_2^I, \dots, d_n^I$ karakteristike jedinične plastičnosti određene različitim metodama ispitivanja, a n - broj različitih ispitivanja.

Jedna od najpogodnijih karakteristika jedinične plastičnosti je veličina relativne ravnomerne deformacije pri zatezanju ($\epsilon_m, \delta m, \Psi_m$), jer ne zavisi od veličine epruvete.

Na analogan način definiše se i srednja deformabilnost

$$D_{sr} = \frac{d_1^I + d_2^I + \dots + d_n^I}{n}$$

gde je $d^I = A \delta^I$ pokazatelj jedinične deformabilnosti; A - koeficijent koji uzima u obzir karakter razaranja; δ^I - pokazatelj

jedinične plastičnosti.

Ne ulazeći ovde u dalju analizu komponenata prednjih izraza, ukazuje se na njihov relativan nedostatak s obzirom da se svi vidovi jedinične deformabilnosti, odn. jedinične plastičnosti, koji ulaze u izraz, ravnopravno tretiraju, bez obzira na njihov stvarni uticaj na tako kompleksno svojstvo materijala kao što je obradivost deformacijom komplikovanih i raznovrsnih delova. Neosporno je da se ovo može u značajnoj meri ublažiti pri oceni deformabilnosti korišćenjem realnih vrednosti koeficijenata A, ali je van svake sumnje da se iznalaženje istih praktično ograničava na jednostavnije slučajeve.

Izvesne suštinske sličnosti sa prednjim pokazateljima imaju neke karakteristike pogodnosti materijala za presovanje lima, koje se mogu naći u literaturi [2], a koje su sastavljene iz više mehaničkih karakteristika materijala, kao na primer

$$\rho = \frac{\sigma_m}{\sigma_{vmin}} \cdot \bar{\sigma} \cdot r \quad \text{i dr.}$$

gde su: σ_m - zatezna čvrstoća; σ_{vmin} - jednoosno naprezanje u materijalu koje odgovara minimalnoj plastičnoj deformaciji u kritičnom trenutku oblikovanja (ako je ta deformacija jednaka nuli, ovo naprezanje biće jednako granici razvlačenja); $\bar{\sigma}$ - najveće ravnomerno izduženje; r - koeficijent normalne anizotropije materijala.

Medjutim, pretpostavka da će na obradivost podjednak uticaj imati promene na kojeg člana prednjeg izraza (ili sličnog) očigledno uslovljava samo grubu aproksimaciju stvarnih odnosa. Kao potvrda ovog stava mogu poslužiti koeficijenti korelacije između procenata neispravnih karoserijskih otpresaka i odnosa $\frac{\sigma_v}{\sigma_m}$, odn. koeficijenata anizotropije r , koje je autor dobio u okviru jednog ranijeg istraživanja [3]. U prvom slučaju koeficijent korelacije je bio 0,797, a u drugom -0,473, što nedvosmisleno govori o većem uticaju prve karakteristike na industrijsku obradivost u datim uslovima.

Ipak, korišćenje prednjeg pokazatelja i sa ovim nedostacima poseduje znatne prednosti u odnosu na klasične metode ocenjivanja (prema kojima svaka mehanička karakteristika posebno treba da

pruži podatak o obradivosti materijala, nezavisno od ostalih). Navedene okolnosti su potstakle autora na iznalaženje puteva za donošenje pouzdanije ocene kvaliteta materijala u prednjem smislu.

3. Formiranje opšteg kriterijuma industrijske obradivosti

Da bi mogli da se konkretizuju teorijski korelacioni odnosi neophodno je definisati pokazatelj obradivosti, pri čemu treba voditi računa da nije dovoljno da on samo po svojoj suštini odgovara pojmu obradivosti, već je takodje neophodno da bude pogodan i za eksperimentalno određivanje i kvantitativno izražavanje. Nesumnjivo je da se pri ovome može polaziti sa različiti - tih stanovišta. Na ovom mestu se neće razmatrati različite mogućnosti, već se samo, radi ilustracije, navodi jedna od njih. Naime, pri presovanju karoserijskih otpresaka (po pravilu kom - likovanih) može se kao pokazatelj pogodnosti za presovanje jedne partije limova koristiti procenat neispravnih otpresaka (odbačenih i onih koji se još mogu naknadno doraditi). Pri tome je potrebno da se ovaj procenat definiše i u negativnoj oblasti statističkog skupa (fiktivnoj) kao "negativan procenat", s ob - zirom da veoma dobri materijali ne samo da ne daju neispravne delove, već poseduju i odgovarajuću rezervu u kvalitetu, koja je u toliko veća u koliko je procenat "neispravnih" otpresaka ne - gativniji [3].

Uvodjenje ovako definisanog pokazatelja proizvodnih performansi implicira uzimanje u obzir čitavog niza uticajnih faktora, veoma kolebljivih i specifičnih za pojedine proizvodno - industrijske okolnosti, kao što su: uslovi trenja (i, u vezi sa tim, po - habanost alata i mašina, podmazivanje alata i dr.), pouzdanost održavanja tehnoloških odnosa (tačnost podešavanja alata i ma - šine, postavljanja materijala u alat i sl.), itd.

Uopšte posmatrano, ako je u pitanju skup stohastičkih promenljivi - vih $X_1; X_2; \dots; X_n$, onda će nekoj grupi vrednosti $X_2=x_2; X_3=x_3; \dots; X_n=x_n$ odgovarati uslovna očekivana vrednost pro - menljive X_1

$$x_1 = E(X_1 | X_2 = x_2; X_3 = x_3; \dots; X_n = x_n) \text{ ili}$$

$$x_1 = M_1(x_2; x_3; \dots; x_n)$$

što u opštem slučaju predstavlja jednačinu regresione hiper-površine po X_1 .

Ako se usvoji da je X_1 pokazatelj sposobnosti materijala za obradu deformacijom, a ostale karakteristike ($X_2; X_3; \dots; X_n$) njegove mehaničko-tehnološke ili druge karakteristike, onda se rešenjem prednje jednačine po x_1 dobija za svaku grupu karakteristika materijala najverovatnija vrednost za X_1 .

Da bi se došlo do ovakvog rešenja, neophodno je izvršiti obradu statističkog skupa tako što će se prethodno utvrditi stvarni odnosi između pojedinih promenljivih, koje su, takodje, u međusobnoj stohastičkoj zavisnosti definisanoj dvodimenzionalnim rasporedom. Te odnose karakterišu odgovarajući koeficijenti parnih (jednostrukih) korelacija r_{ij} . Uopšte je koef. korelacije između dva obeležja skupa (X_i i X_j)

$$r_{ij} = \frac{\mu_{ij}}{\sigma_i \sigma_j}$$

gde je μ_{ij} kovarijansa promenljivih, a σ_i i σ_j respektivno njihove standardne devijacije.

Svi ovakvi koeficijenti korelacija (između svih mogućih parova promenljivih) formiraju korelacionu matricu.

$$R = \begin{bmatrix} 1 & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & 1 & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

Kako će u daljem biti korišćeni minori ove matrice, uvođi se njihova opšta oznaka R_{ij} , a za sredine pojedinih obeležja X_j oznaka M_j .

Ako se za regresionu površinu usvoji ravan kao najjednostavnija, na osnovu poznatih relacija u statističkoj matematici [4] može se doći do sistema od n jednačina hiper-ravni koje na najbolji mogući način reprezentuju regresione hiper-površine:

$$\sum_{j=1}^n \frac{R_{ij}}{\sigma_j} (x_j - M_j) = 0 ; \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

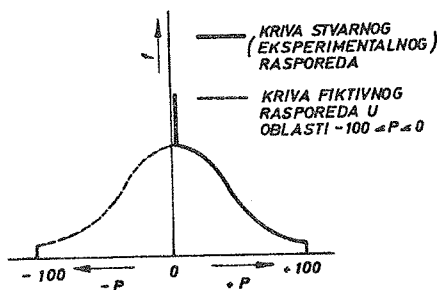
Na primer za $i = 1$ biće

$$\frac{R_{11}}{\sigma_1} (x_1 - M_1) + \frac{R_{12}}{\sigma_2} (x_2 - M_2) + \dots + \frac{R_{1n}}{\sigma_n} (x_n - M_n) = 0$$

Da bi se brojno izrazila vrednost x_1 , potrebno je, dakle, prethodno odrediti minore korelacione matrice, kao i srednja kvadratna odstupanja i sredine pojedinih obeležja.

Pošto prednje relacije imaju opšti karakter, načelno nema smetnji da se u statistički skup uvrsti ma koja karakteristika materijala. Sa praktičnog stanovišta, međutim, najveću pažnju zaslužuju one karakteristike do kojih se normalno dolazi korišćenjem standardne laboratorijske opreme, a koje se i inače koriste kao indirektni kriterijumi za ocenu tehnoloških kvaliteta materijala. S obzirom na ovu zadnju okolnost, treba uzeti u obzir, pre svega, relevantnost pojedinih karakteristika, koja je manje-više poznata (bez obzira na uslovnost iste u pojedinim slučajevima). Ne ulazeći u konkretne podatke iz literaturnih izvora, navode se samo neke od većeg broja mogućih karakteristika: granica razvlačenja (σ_v), zatezna čvrstoća (σ_m), ravnomerno izduženje (δ), dubina utiskivanja po Erichsen-u (D), stepen maksimalnog sabijanja u toku tehnološke probe sabijanjem ($\frac{\Delta H}{H}$), koeficijent normalne anizotropije (r), stepen hladnog deformacionog ojačanja (n), tvrdoća (H), krupnoća zrna (d), itd.

Pri uvođenju u pokazatelj nekih karakteristika mogu se pojaviti specifični problemi u smislu postizanja izvesne jednoobraznosti istih. Tako je, na primer, već pomenuta potreba da se procenat neispravnih delova (ukoliko se on koristi kao pokazatelj industrijske obradivosti) proširi i na negativnu oblast i to ne samo radi brojčanog izražavanja ponašanja veoma dobrih materijala u toku obrade, već i radi upotpunjenja statističkog skupa, čiji jednodimenzionalni raspored pri velikom broju uzoraka treba da bude, uglavnom, simetričan (sl. 2.). U protivnom (ako bi se uzeli u obzir samo pozitivni - stvarno registrovani procenti $P \geq 0$) ovaj pokazatelj bi pokazao neprirodno umanjene koeficijente korelacije sa laboratorijskim karakteristikama (kod kojih je skup potpun i približno simetričan), što bi direktno uticalo na iznose minora korelacione matrice.



Sl. 2. Dijagram stvarne i teorijske raspodele procenata neispravnosti

karakteristiku prevesti u takav oblik koji će praktično biti nezavistan od debljine lima.

Dalje, krupnoća zrna (u slučaju dubokog izvlačenja) pored specifičnosti u vezi sa usmerenošću, ravnomernošću, oblikom i dr., odlikuje se dvostranim uticajem na sposobnost presovanja. Sa jedne strane, povećanje krupnoće povećava sposobnost dubokog izvlačenja, ali istovremeno se povećava i sklonost ka stvaranju "figura razvlačenja" po površini otpresaka, što ih može učiniti neupotrebljivim, ili zahtevati neekonomičnu doradu. Otuda krupnoća zrna mora biti svedena na optimalno područje, što, međjutim, ne isključuje njegovo uvođenje u pokazatelj.

U vezi sa gornjim treba napomenutu da su moguća i druga ograničenja u pogledu dozvoljenih iznosa pojedinih karakteristika. Tako, na primer, opadanje granice razvlačenja, uopšte posmatrano, vodi ka većoj deformabilnosti i takav uticaj će se zadržati u pokazatelju za sve vrednosti ove karakteristike. Ipak, opadanje granice razvlačenja ne sme biti neograničeno, s obzirom na mehaničko-konstruktivne zahteve kojima deo treba da udovolji (minimum krutosti i sl.). Zato treba imati u vidu da kompleksni pokazatelj ukazuje samo na uticaj pojedinih karakteristika na tehnološka svojstva materijala (obradivost), dok kriterijumi druge vrste mogu, nezavisno od toga postaviti i druga specifična ograničenja.

Kao drugi primer u istom smislu može poslužiti dubina utiskivanja po Erichsen-u, koja je za limove istog kvaliteta zavisna od njihove debljinje. To onemogućava jednostavno uvođenje ove karakteristike u skup, s obzirom da ostale ne zavise od debljine. Međjutim, u ranijem radu autora [3] pokazano je da je, ipak, moguće i ovu ka-

4. Primer

U daljem se ilustrativno navode samo konačni rezultati formiranja jednog ovakvog kompleksnog pokazatelja obradivosti karose - rijskog lima (P) predviđenog za presovanje grupe tipičnih karoserijskih delova putničkih vozila u uslovima fabrike automobila "Crvena Zastava" u Kragujevcu [3].

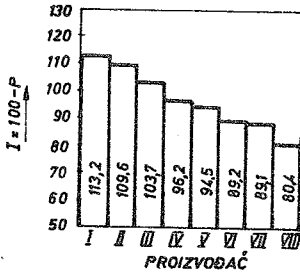
$$P \approx 77,5K - 232n + 0,38C_v - 11,3\Delta E - 0,12\sigma_m + 0,34HRB - 21,8r - 8$$

gde je n - stepen deformacionog ojačanja materijala, ΔE - razlika između izmerene dubine i minimalne nominalne dubine po Erichsen-u [3], σ_m - procentualno izduženje epruvete pri kidanju.

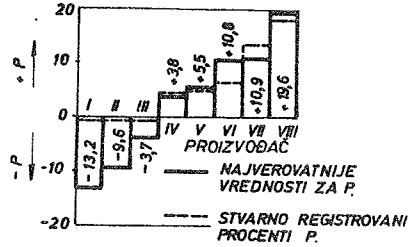
Izdani član izraza (-3) odnosi se na uslovnu konstantu (C) koja se može menjati u zavisnosti od specifičnih pogonskih uslova. Šta više, i u istovetnim proizvodnim okolnostima u toku vremena, s obzirom na povećanje pohabanosti alata, ova konstanta se može menjati. Međutim, njeno povećanje, odnosno korigovanje, metodološki je razrađeno i zahvaljujući tome pojednostavljeno.

Od praktičnog je interesa činjenica da se pri međusobnom upoređenju tehnoloških svojstava više materijala ova konstanta može odbaciti i raditi samo sa promenljivim delom izraza koji reprezentuje stepen kompleksnog tehnološkog uticaja grupe karakteristika ispitivanog materijala, a takodje i značaj promene samo jedne ili nekoliko karakteristika. U tom smislu pokazatelj je veoma pogodan za rangiranje različitih materijala prema njihovoj pogodnosti za određenu obradu deformacijom (ako su ti materijali predviđeni za obradu u istim proizvodnim uslovima, onda je jasno da konstanta C, koja zavisi od tih uslova, ne može imati značaja pri međusobnom upoređenju materijala).

Na osnovu napred navedenog izraza izvršeno je tehnološko razvrstavanje onih istih limova (proizvedenih od strane osam različitih proizvođača) o kojima je bilo reči u uvodu, odn. sl. 1. Za razliku od dubioznih međusobnih redosleda dobijenih na osnovu upoređenja pojedinačnih karakteristika, došlo se do rezultata prikazanih na sl. 3. U ovom slučaju umesto procenta P korišćena je veličina $I = 100 - P$, kao prikladnija za uobičajene indeksne



Sl.3. Indeksno rangiranje pojedinih vrsta li-mova (na osnovu kompleksnog pokazatelja)



Sl.4. Uporedni dijagram stvarnih i izračunatih procenata neispravnosti

komparacije. Kako su istovremeno vršena i ispitivanja ponašanja materijala u proizvodnji, tj. registrovani stvarni procenti neispravnih otpresaka $P_s \geq 0$, na sl. 4. je dat uporedni pregled između njih i izračunatih (P).

Vidi se da postoji očigledna usaglašenost između jednih i drugih vrednosti, što svedoči o značaju pokazatelja P i potvrđuje korektnost postupka za njegovo dobijanje (znatnija nepođudarnost vrednosti $P_s = 0$ i odgovarajućih negativnih izračunatih iznosa pokazatelja P samo je prividna, s obzirom da stvarno registrovani procenti P_s ne mogu biti manji od nule).

5. Naknadne napomene

Nesumnjivo je da bi se istovetni principi mogli koristiti i za druge vidove obrade, s tim što se za svaki slučaj moraju respektovati specifičnosti koje se odnose, prvenstveno, na način izražavanja pojedinih karakteristika materijala (elemenata pokazatelja) i njihova eventualna ograničenja.

Mogućnosti prilagodjavanja eksperimentalnog postupka (pri iznalaženju korelacionih parametara) odgovarajućem optimumu za svaki poseban slučaj veoma su široki. U tom smislu naročito treba obratiti pažnju na celishodnu klasifikaciju delova radi dobijanja grupe na koju će se pokazatelj odnositi. Pri tome presudnu ulogu ne mora imati isključivo tehnološka sličnost, s obzirom da i takvi uticajni faktori kao što su, na primer, opšte dimenzije delova

imaju izuzetan značaj. Ovu konstataciju treba dovesti u vezu sa činjenicom da pri obradi delova od istog materijala sa porastom njihovih dimenzija raste i verovatnoća da na njima nastanu neispravnosti, pri inače istim ostalim uslovima. Jedan od osnovnih uzroka koji ovo uslovljava jeste neizbežna nehomogenost materijala sa izraženim lokalnim defektima, kao i veća mogućnost pojave neočekivanih poremećaja površinsko-kontaktiranih odnosa u toku obrade.

U svakom slučaju, strogost kriterijuma na osnovu kojih će se vršiti pomenuta klasifikacija, zavisice od željenog stepena pouzdanosti pokazatelja. U ekstremnom slučaju, klasifikacijom bi mogao biti obuhvaćen samo jedan deo i verovatnoća sa kojom bi tada pokazatelj prognozirao ponašanje materijala u proizvodnji (za svaku seriju) bila bi najveća. Međutim, takav slučaj bi se češće mogao očekivati u uslovima masovne proizvodnje, pri kojoj bi eventualno prilagodjavanje kvaliteta materijala samo jednom delu moglo biti celishodno.

6. Literatura

- [1] S.I.Gubkin; Plastičeskaja deformacija metallov (II tom), Metallurgizdat, Moskva, 1961.
- [2] R.D.Butler, Relationship Between Sheet-Metal Formability and Certain Mechanical Properties, časopis "Sheet Metal Industries", Sept. 1964, Vol. 41, N^o 449.
- [3] B.Bevedžić, Prethodna procena proizvodnih performansi karoserijskog lima pomoću kompleksnog laboratorijskog pokazatelja-doktorska disertacija, Odeljenje Maš.fak. Kragujevac, 1969.
- [4] B.Ivanović, Teorijska statistika, Jugoslovenski Institut za Ekonomska Istraživanja, Beograd, 1966.

B. D e v e d ž i ć

Forming of correlative indicator of industrial formability of materials

In the paper have been analysed lacks of estimation of industrial formability of materials through certain mechanical-technological characteristics. It is emphasized that such an estimation is specially unreliable when large quantities of materials intended for production of greater number of various and complicated parts (press-and forging parts) are in question.

Further on, the author suggests the treatment for formation of complex indicators of formability that at the same time includes a few material characteristics and forecasts industrial formability with considerably greater probability.

There is shown an example of such an indicator that refers to auto-body parts as well as illustrated data of its application in conditions of the personal car factory "Crvena Zastava" at Kragujevac.

VI SAVJETOVANJE O PROIZVODNOM STROJARSTVU, OPATIJA, 1970.

B. D e v e d ž i ć *)

UTICAJ BRZINE DEFORMACIJE NA STEPEN DEFORMACIONOG OJAČANJA
MALOUGLJENIČNOG ČELIČNOG LIMA **)

1. Uvod

U najvećem broju slučajeva obrada metala deformacijom dovodi do složenih naponsko-deformacionih stanja. Međutim, veoma je retko moguće postići istovetna stanja u materijalu i za vreme njegovog laboratorijskog ispitivanja. Stoga se različite mehaničko-tehnološke karakteristike, do kojih se u toku ovih ispitivanja dolazi, u suštini svode na pogodne indeksne pokazatelje na osnovu kojih se indirektno, sa većom ili manjom verovatnoćom, može prognozirati stvarna obradivost materijala deformacijom, kao i njegova mehanička svojstva posle takve obrade.

Nesumnjivo je da relevantnost tako dobijenih karakteristika opada sa perstom pomenute razlike u naponsko-deformacionim stanjima pri obradi, odnosno ispitivanju. Iscrpnija analiza ovog problema ukazuje da u tom smislu nije značajna samo nepodudarnost u mehaničkoj savi deformacija, već i u ostalim uticajnim faktorima - uslovima deformisanja, u koje treba uzrojavati, prvenstveno, brzinu deformacije i temperaturu.

Bez obzira na niz raspoloživih postupaka ispitivanja obradivosti materijala deformacijom, trenutno treba računati sa različitim okolnostima, sasvim praktične prirode, koje otežavaju iire uvodjenje još simulativnijih, a istovremeno dovoljno racionalnih, metoda ispitivanja. Takva situacija unekoliko sugerise da se postojeće razlike, odnosno nedovoljna adekvatnost pojedinih pokazatelja, ublaže kroz eventualna korigovanja istih s obzirom na uslove oblikovanja (na primer, brzinu deformacije).

*) Dr. Branislav Devedžić, dipl.ing., docent Odeljenja Mašinskog Fakulteta u Kragujevcu.

**) Saopštenje Odeljenja Mašinskog Fakulteta u Kragujevcu.

Ovde će prednji problem biti tretiran kroz konkretizaciju na slučaj malougljeničnog čeličnog lima kvaliteta Č.0148.P₅ (odn. prema DIN-u RRSt.14.05.) predviđenog za obradu dubokim izvlačenjem.

2. Brzina deformacije (osnovne definicije)

Poznato je da je za analizu plastične deformacije često najpogodnije koristiti izraz za stvarnu, logaritamski izraženu, deformaciju (koja je još poznata i kao deformacija trećeg reda ili stvarni stepen deformacije).

Ona po definiciji proizlazi iz odnosa dimenzijskog priraštaja dx i trenutne ukupne dužine x dela koji se deformiše u posmatranom pravcu (x)

$$d\epsilon_x = \frac{dx}{x} ; \epsilon_x = \int_{x_0}^x \frac{dx}{x} = \ln \frac{x}{x_0}$$

Na analočan način definišu se i deformacije ϵ_y , odn. ϵ_z .

Takođe je opšte poznata definicija istisnute ("deformisane") zapremine u pravcu pojedinih osa

$V_{ix} = V\epsilon_x$, $V_{iy} = V\epsilon_y$; $V_{iz} = V\epsilon_z$ ili uopšte $V_i = V\epsilon$ gde je V ukupna zapremina tela.

Brzina deformacije predstavlja promenu deformacije u jedinici vremena, što se može svesti, na osnovu prednjih definicija, takođe i na promenu istisnute zapremine u jedinici vremena:

$$\dot{\epsilon} = \frac{d\epsilon}{dt} = \frac{1}{V} \frac{dV_i}{dt}$$

Inače, uopšte je brzina deformacije elementarne čestice u pravcu osa x , y , z

$$\dot{\epsilon}_x = \frac{\partial U_x}{\partial x} ; \dot{\epsilon}_y = \frac{\partial U_y}{\partial y} ; \dot{\epsilon}_z = \frac{\partial U_z}{\partial z}$$

gde su U_x , U_y i U_z projekcije brzine kretanja elementarne čestice.

Međutim, obično se razmatra samo brzina maksimalne glavne deformacije, čime se problem pojednostavljuje.

Ako se radi sa relativnom uslovnom deformacijom (δ), umesto sa stvarnom, onda bi njena brzina, na primer pri istezanju, bila

$$\dot{\delta} = \frac{d\delta}{dt} = \frac{dl}{l_0 dt}$$

pri čemu je l_0 početna, a l trenutna merna dužina.

3. Značaj brzine deformacije pri ispitivanju tankog čeličnog lima

Najveći broj podataka na osnovu kojih se donosi sud o opštoj obradivosti tankog lima, od kojeg se često presuju otpresci nepravilnog oblika, dobija se obično putem klasičnog ispitivanja jednoosnim zatezanjem. Pod normalnim okolnostima ovo ispitivanje se provodi pri konstantnoj brzini steznih čeljusti mašine (brzina deformisanja v - u ovom slučaju brzina istezanja). Sasvim je očigledno da se ova brzina ne može identifikovati sa nepred definisanom brzinom deformacije, a takođe ni sa analitičnom brzinom kretanja pojedinih tabaka epruvete (izuzev onih koje su obuhvaćene steznim čeljustima).

Brzina deformacije na nekom mestu, pri stalnoj brzini istezanja, zavisiće od trenutne dužine epruvete l (tačnije, od nastojanja između steznih čeljusti, s obzirom da pri rutinskim ispitivanjima mesta stezanja epruveta nisu strogo precizirana i uglavnom se prepuštaju subjektivnoj oceni laboranta), jer je

$$v = \frac{dl}{dt} \quad \text{zbog čega je i}$$

$$\dot{\epsilon} = \frac{dl}{l dt} = \frac{d[\ln(1+\delta)]}{dt} = \frac{\dot{\delta}}{1+\delta} = \frac{v}{l}$$

Korisno je definisati i pojam srednje brzine deformacije

$$\dot{\epsilon}_{sr} = \frac{\epsilon}{t} = \frac{\ln \frac{l}{l_0}}{t} = \frac{\ln(1+\delta)}{t}$$

jer je uslovna relativna deformacija po definiciji jednaka

$$\delta = \frac{l-l_0}{l_0} = \frac{l}{l_0} - 1; \quad \text{tj. } \frac{l}{l_0} = 1+\delta$$

Analogno prednjem, srednja brzina uslovne relativne deformacije biće

$$\dot{\delta}_{sr} = \frac{\delta}{t}$$

Ako se istežanje epruvete vrši brzinom v , onda će posle nekog vremena, koje se može uzeti za jedinicu, prvobitno rastojanje čeonih površina steznih čeljusti l_0 biti uvećano za Δl . Zato će srednja brzina deformacije, uz prednju pretpostavku, biti

$$\dot{\epsilon}_{sr} = \ln(1 + \delta) = \ln \frac{l}{l_0} = \epsilon$$
$$\dot{\delta}_{sr} = \frac{\Delta l}{l_0} = \delta$$

Osim toga, biće za naznačenu jedinicu vremena brzina deformisanja $v = \Delta l = \dot{\delta}_{sr} l_0$, ili izražena preko stvarne deformacije

$$v = \frac{dl}{dt} = l \dot{\epsilon}$$

Van svake sumnje je da su uobičajene brzine deformacije i deformisanja koje se postižu pri obradi lima na presama znatno veće od brzina koje se postižu u toku ispitivanja. Klasične mašine za ispitivanje omogućuju takve brzine istežanja čija gornja granica ne prelazi nekoliko desetina milimetara u minutu. Može se, uopšte, smatrati da su u najvećem broju slučajeva brzine pri obradi na presama veće od brzina pri ispitivanju za 10-100 puta [1].

Pri ovome je korisno ukazati i na savremenu tendenciju da se ispitivanja tankog lima vrše sve dužim epruvetama (usled pogodnijeg i pouzdanijeg određivanja karakteristika kao što su: ravnomerno izduženje, koef. normalne anizotropije i dr.), tako da se pri inače istim brzinama mašine smanjuju brzine deformacije, što prednje razlike čini još većim.

Iz obzira na to što je uticaj brzine deformacije, šire posmatrano, znatniji pri obradi u toplom stanju nego u hladnom (i shodno tome i znatno više izučen) može se sa dosta osnova pretpostaviti da će, u slučaju presovanja tankog lima, zbog poznate osetljivosti niza mehaničkih karakteristika (granica razvlačenja, izduženje i dr.) povećanje brzine deformacije morati da se odrazi na realnost ocene date na osnovu laboratorijskih ispitivanja, vršenih sa relativno malim brzinama.

Veći broj autora ograničio je svoja istraživanja, uglavnom, na iznalaženje zakonitosti promena deformacionog otpora sa promenom brzine deformacije. Iz tih nastojanja proistekli su i različiti analitički izrazi koji približno određuju ovu zakonitost [1, 2, . . .] kao na primer

OD.7.4

$$\frac{\sigma_{II}}{\sigma_I} = \left(\frac{\dot{\epsilon}_{II}}{\dot{\epsilon}_I} \right)^k$$

gde su σ_I i σ_{II} deformacioni otpori pri respektivnim brzinama deformacije $\dot{\epsilon}_I$ i $\dot{\epsilon}_{II}$, a k odgovarajuća konstanta koja se može dobiti eksperimentalno za svaki materijal.

Poznato je da ovaj izraz više odgovara deformacijama na temperaturama višim od temperatura rekristalizacije, a za oblast temperatura na kojima dolazi do deformacionog ojačanja materijala više autora [2,3,...] preporučuju sledeći odnos u polulogaritamskoj formi

$$\sigma_{II} = \sigma_I + m \ln \frac{\dot{\epsilon}_{II}}{\dot{\epsilon}_I}$$

Raspoloživi eksperimentalni podatci potvrđuju ispravnost njegove primene u slučaju malouglnjeničnih čelika, kojima, inače, pripadaju normalni limovi za duboko izvlačenje. Polazeći od toga, mogao bi se brzinski koeficijent m eksperimentalno odrediti koristeći raspoloživi dijapazon brzina pri ispitivanju, a zatim ekstrapolirajući prednju zakonitost do oblasti brzina koje se postižu u toku obrade, dobiti odgovarajuće vrednosti deformacionih otpora. Drugim rečima, moguće je izvršiti korekciju laboratorijskih karakteristika, kao što su na primer granica razvlačenja (σ_v) ili zatezna čvrstoća (σ_m).

Međutim, za ocenu obradivosti lima od posebne je važnosti takođe istražiti i zakonitosti eventualnih promena ostalih menaničkih karakteristika.

4. Stepen deformacionog ojačanja materijala

U novije vreme pri proučavanju procesa dubokog izvlačenja sve više se koristi pogodna karakteristika deformacionog ojačanja materijala n .

Eksperimentalno je višestruko potvrđeno da je opravdano pretpostaviti da je prirast deformacionog otpora sa porastom deformacije proporcionalan ukupnom deformacionom otporu, a obrnuto proporcionalan ukupnoj deformaciji

$$\frac{d\sigma}{d\epsilon} = n \frac{\sigma}{\epsilon} ; \sigma = K\epsilon^n$$

gde je n koeficijent proporcionalnosti, odn. stepen hladnog deformacionog ojačanja, a K konstanta.

K se može odrediti primenom gornjeg odnosa na momenat početka lokalizovane deformacije, što pri ispitivanju zatezanjem odgovara postizanju zatezne čvrstoće $\bar{\sigma}_m$ (tehničko naprezanje) odn. deformacionog otpora $\bar{\sigma}_m$ (stvarno naprezanje) i deformacije $\bar{\epsilon}_m$

$$K = \frac{\bar{\sigma}_m}{\bar{\epsilon}_m^n} \quad \text{pa će posle zamene biti}$$

$$\bar{\sigma} = \bar{\sigma}_m \left(\frac{\bar{\epsilon}}{\bar{\epsilon}_m} \right)^n$$

U momentu postizanja $\bar{\sigma}_m$ postiže se i maksimum sile zatezanja. Ona je uopšte

$$F = A\bar{\sigma} = AK\bar{\epsilon}^n = A_0 \frac{l_0}{l} K \left(l_n \frac{l}{l_0} \right)^n$$

gde je A_0 početni poprečni presjek epruvete, a A trenutni - u ma kom trenutku deformacije.

Zbog prednjeg uslova biće na početku lokalizovane deformacije:

$$\frac{dF}{dl} = -KA_0 \frac{l_0}{l_m^2} \left(l_n \frac{l_m}{l_0} \right)^n + KA_0 \frac{l_0 n}{l_m} \left(l_n \frac{l_m}{l_0} \right)^{n-1} \cdot \frac{l_0}{l_m} \cdot \frac{1}{l_0} = 0$$

$$\frac{l_0}{l_m^2} \left(l_n \frac{l_m}{l_0} \right)^{n-1} \left(n - l_n \frac{l_m}{l_0} \right) = 0$$

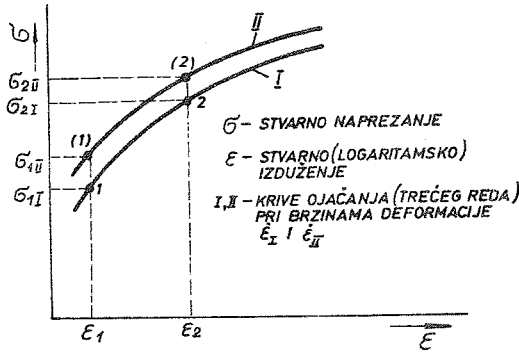
$$n = l_n \frac{l_m}{l_0} = \bar{\epsilon}_m$$

Što znači da je stepen deformacionog ojačanja brojno jednak maksimalnoj stvarnoj ravnomernoj deformaciji, čime se njegov značaj dalje uvećava.

Otuđa proizlazi da je uopšte

$$\bar{\sigma} = \bar{\sigma}_m \left(\frac{\bar{\epsilon}}{\bar{\epsilon}_m} \right)^n$$

Na sl. 1. šematski su prikazane krive ojačanja I i II koje odgovaraju brzinama $\dot{\epsilon}_I$ i $\dot{\epsilon}_{II}$.



Sl. 1. Krive ojačanja za brzine deformacije $\dot{\epsilon}_I$ i $\dot{\epsilon}_{II}$

Uopšte za tačke 1 i 2 na ma kojoj krivoj ojačanja biše $\sigma_1 = K\epsilon_1^n$ i $\sigma_2 = K\epsilon_2^n$ a rešenjem ove dve simultane jednačine dobija se opšti izraz za stepen deformacionog ojačanja:

$$\eta = \frac{\log \frac{\sigma_2}{\sigma_1}}{\log \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1}} =$$

$$= \frac{\log \frac{\sigma_2}{\sigma_1}}{\log \frac{\ln(1+d_2)}{\ln(1+d_1)}} = \frac{\log \frac{\sigma_2}{\sigma_1}}{\log \frac{\log \frac{l_2}{l_0}}{\log \frac{l_1}{l_0}}} = \frac{\log \frac{\sigma_2}{\sigma_1}}{a}$$

5. Uticaj brzine deformacije na procenu stepena

Ako se položaji tačaka 1 i 2 unapred odrede (pre ispitivanja) onda je brojčana vrednost izraza u imenitelju (a) poznata. U primer, pri ispitivanju čiji su rezultati u ovom radu korišćeni bilo je (s obzirom na neke praktične pogodnosti) usvojeno: $l_1 = 42,7 \text{ mm}$, $l_2 = 43 \text{ mm}$; pa je dobijeno $a \approx 0,45$.

Primenivši gornju relaciju na krivu II (sl.1) dobija se

$$\eta_{II} = \frac{\log \frac{\sigma_{2II}}{\sigma_{1II}}}{a}$$

a ako se naprezanja σ_{II} izraze preko odgovarajućih naprezanja σ_I liče

$$\eta_{II} = \frac{\log \frac{\sigma_{2I} + m \ln \frac{\dot{\epsilon}_{II}}{\dot{\epsilon}_I}}{\sigma_{1I} + m \ln \frac{\dot{\epsilon}_{II}}{\dot{\epsilon}_I}}}{a} = \frac{\log \frac{\sigma_{2I}}{\sigma_{1I}} + \frac{m}{\sigma_{1I}} \ln \frac{\dot{\epsilon}_{II}}{\dot{\epsilon}_I}}{1 + \frac{m}{\sigma_{1I}} \ln \frac{\dot{\epsilon}_{II}}{\dot{\epsilon}_I}}$$

Medjutim, sa eksperimentalnog stanovišta povoljnije je raditi sa uslovnim - tehničkim napreznjima (σ_t), umesto sa stvarnim (σ). Ova transformacija je jednostavna zbog veze $\sigma = \sigma_t \frac{l}{l_0}$ a ako se još usvoji smena

$$\frac{l_0 m}{l_1 \sigma_{t1I}} \ln \frac{\dot{\epsilon}_{II}}{\dot{\epsilon}_I} = C$$

gornji izraz prelazi u

$$n_{II} = \frac{\log\left(\frac{l_2}{l_1} \frac{\sigma_{t2I}}{\sigma_{t1I}} + C\right) - \log(1+C)}{a} = \frac{\log\left(1,124 \frac{\sigma_{t2I}}{\sigma_{t1I}} + C\right) - \log(1+C)}{0,45}$$

Prema tome, za izražavanje stepena n_{II} (za izmenjene brzine deformacije u odnosu na brzinu pri laboratorijskom ispitivanju) dovoljno je eksperimentalno odrediti tehnička napreznja u tačkama 1 i 2 za krivu I (koja odgovara laboratorijskim brzinama deformacije) i poznavati brzinski koeficijent m .

Da bi se došlo do konkretnog iznosa ovog koeficijenta za ispitivani lir, izvršena su brojna ispitivanja pri promeni odnosa brzine deformacije u dijapazonu od $\frac{\dot{\epsilon}_{II}}{\dot{\epsilon}_I} = 1$ do $\frac{\dot{\epsilon}_{II}}{\dot{\epsilon}_I} = 40$. Da bi se ovaj odnos mogao ostvariti na raspoloživoj mašini (na kojoj je odnos između minimalne i maksimalne brzine deformisanja 1:3), menjane su u toku ispitivanja, pored brzine mašine i dužine epruveta (jer je, prema ranijem, $\dot{\epsilon} = \frac{v}{l}$).

Brzinski koeficijent je

$$m = \frac{\sigma_{II} - \sigma_I}{\ln \frac{\dot{\epsilon}_{II}}{\dot{\epsilon}_I}}$$

pa su ispitivanja vršena odredjivanjem tehničkih napreznja u tačkama 1 i 2 (sl.1) prema sledećem:

$$m^{(1)} = \frac{l_1}{l_0} \frac{\sigma_{tII1} - \sigma_{tI1}}{\ln \frac{\dot{\epsilon}_{II1}}{\dot{\epsilon}_{I1}}} = 1,0675 \frac{\sigma_{tII1} - \sigma_{tI1}}{\ln \frac{\dot{\epsilon}_{II1}}{\dot{\epsilon}_{I1}}}$$

$$m^{(2)} = \frac{l_2}{l_0} \frac{\sigma_{tII2} - \sigma_{tI2}}{\ln \frac{\dot{\epsilon}_{II2}}{\dot{\epsilon}_{I2}}} = 1,2 \frac{\sigma_{tII2} - \sigma_{tI2}}{\ln \frac{\dot{\epsilon}_{II2}}{\dot{\epsilon}_{I2}}}$$

Treba reći da je, zbog usvajanja istih položaja tačaka 1 i 2 za sve brzine ispitivanja, odnos $\frac{\dot{\epsilon}_II}{\dot{\epsilon}_I}$ u svim slučajevima jednak odnosu brzina istezanja jer je

$$\frac{V_{II}}{l_1} : \frac{V_I}{l_1} = \frac{V_{II}}{l_2} : \frac{V_I}{l_2} = \frac{V_{II}}{V_I}$$

čime se rad znatno pojednostavljuje.

Napomena: $n^{(1)}$ i $n^{(2)}$ treba da imaju istovetne vrednosti, s obzirom da je poznato da uticaj brzine deformacije na otpornost metala deformisanju na sobnoj temperaturi ne zavisi primetno od stepena deformacije [1], ali je u eksperimentalnom postupku vršeno određivanje gornjih parametara u dve tačke, kako bi se dobili što pouzdaniji rezultati u vidu odgovarajuće statističke obrade. Istovremeno je odnos brzina $\frac{\dot{\epsilon}_II}{\dot{\epsilon}_I} = \frac{V_{II}}{V_I}$ ostvarivan u pet varijanti (=5; 10; 20; 30; 40).

Ovde se neće navoditi rezultati svakog pojedinoeg opita, već samo srednje vrednosti koje odgovaraju ovim odnosima brzina. Napominje

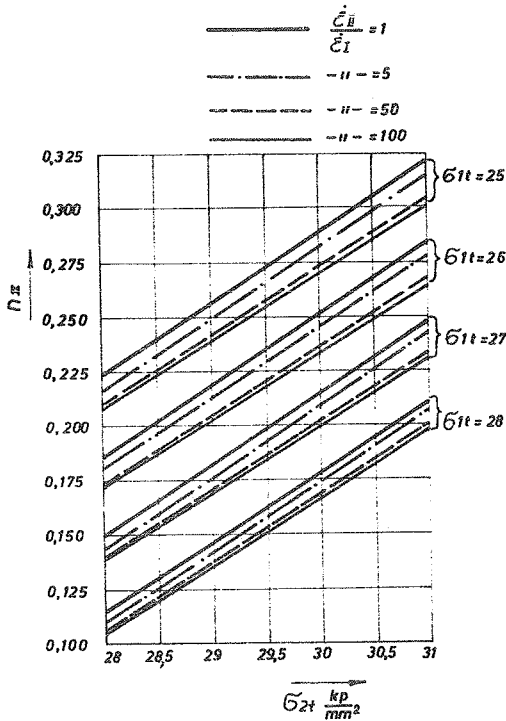
se da međusobne razlike u iznosima navedenim u tabeli treba razmatrati posebno nesavršenosti ispitivanja (npr. mala tačnost postizanja i reguliranja položaja u toku opita - naročito pri velikim promenama brzina, neistovetnosti nametva i sl.).

Uzimajući dalji prosek svih ovih vrednosti dobija se konačno $n = 0,5007 \approx 0,5$.

Pogoano je prednje relacije interpretirati grafički, kako bi bile praktičnije za upotrebu i kako bi se bolje uočile opšte zakonitosti. Već je navedeno da su radne brzine deformacije u najvećem broju slučajeva veće od eksperimentalnih za 10-100 puta. Zato je izvođeno da se dalje prikazani dijagrami formiraju korišćenjem podataka koji proizilaze iz četiri različita odnosa $\frac{\dot{\epsilon}_II}{\dot{\epsilon}_I}$ (=1; 3; 50; 100). Na sl.2. prikazani su iznosi n_{II} u zavisnosti od σ_{II} i σ_{2II} , a za sva četiri odnosa brzina deformacije. Za ostale brzine u središnjem opsegu praktična interpolicacija ne bi trebalo da predstavlja teškoću. Napominje se da su grafički odnosi dati aproksimativno kao linearni. Rigoroznija aproksimacija položaja koje iniciraju četiri eksperimentalno dobijene tačke u dijagramu ne bi bila sasvim linear-

$\frac{\dot{\epsilon}_II}{\dot{\epsilon}_I}$	$n^{(1)}$	$n^{(2)}$
5	0,4270	0,4101
10	0,5142	0,4539
20	0,5437	0,5467
30	0,5602	0,5027
40	0,5038	0,5816

na, ali bi od nje samo neznatno odstupala, pa insistiranje na većoj tačnosti ne bi imalo opravdanja.



Sl. 2.

Za fiksirane vrednosti n_I dobijaju se ponovo praktično linearne zavisnosti između n_{II} i logaritamskog odnosa $\ln \frac{\dot{\epsilon}_{II}}{\dot{\epsilon}_I}$. Na sl. 3. one su prikazane grafički.

Linearnost odnosa sugerise sa svoje strane uspostavljanje relacije $n_{II} = n_I + m_n \ln \frac{\dot{\epsilon}_{II}}{\dot{\epsilon}_I}$. Medjutim, sa dijagrama se može uočiti da uticaj brzine deformacije na promenu n_{II} raste sa porastom iznosa n_I . Otuda brzinski koeficijent m_n ne bi mogao biti konstantan za sve vrednosti n_I . Koristeći eksperimentalne podatke i relacije sa sl.3 iskonstruisana je zavisnost m_n od n_I i prikazana na sl. 4.

Moguće je, dalje, jednostavnom transformacijom u izraz za n_{II} uključiti i stepen n_I . Naime, zbog

$$n_I = \frac{\log \frac{\sigma_{2I}}{\sigma_{1I}}}{a}$$

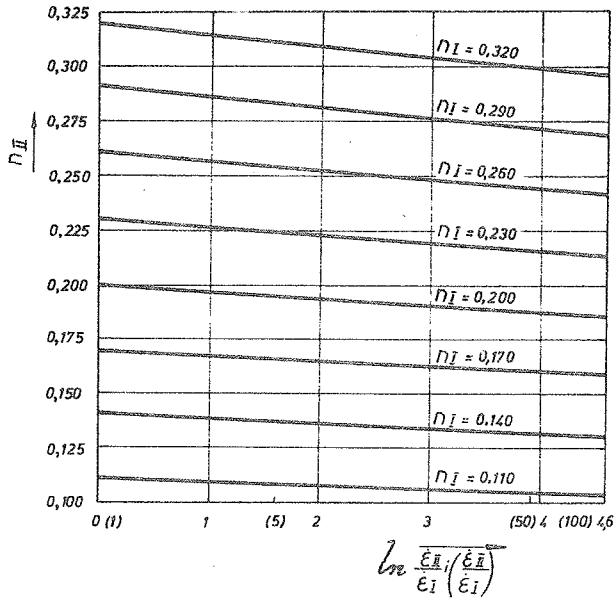
biće $\frac{\sigma_{2I}}{\sigma_{1I}} = 10^{n_I a}$

$$\frac{\sigma_{2I} \frac{l_2}{l_0}}{\sigma_{1I} \frac{l_1}{l_0}} = 10^{n_I a}$$

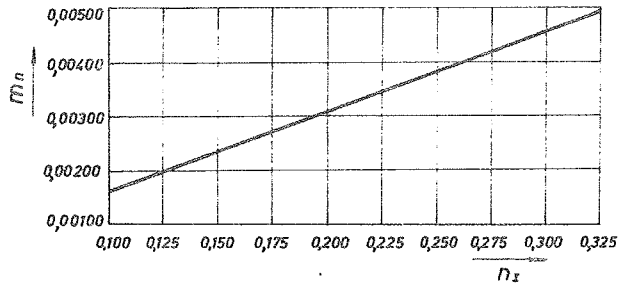
$$\frac{\sigma_{2I}}{\sigma_{1I}} = \frac{l_1}{l_2} 10^{n_I a}$$

pa je

$$n_{II} = \frac{\log(10^{n_I a} + C) - \log(1+C)}{a}$$



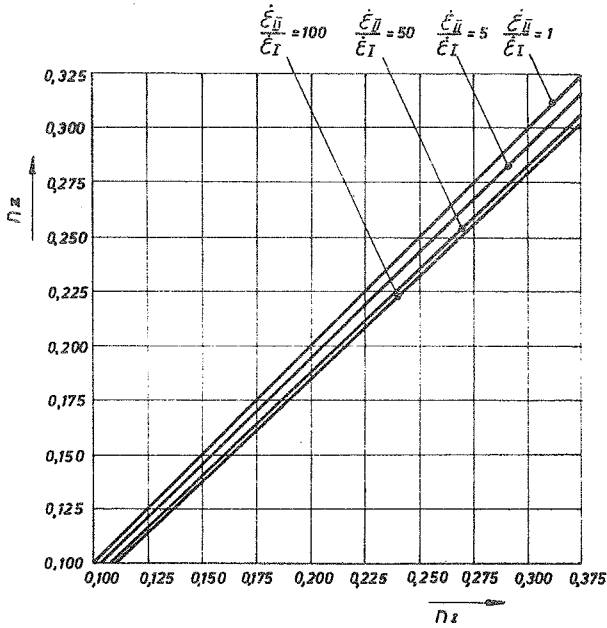
Sl. 3.



Sl. 4.

Još jednostavnije, za tretiran slučaj stepen n_{II} se može neposredno odrediti, ako se poznaje iznos n_I , korišćenjem dijagrama prikazanog na sl.5. Smišljenom interpolacijom nije teško očitati iznose n_{II} i za slučajeve u kojima su odnosi brzina različiti od onih za koje su u dijagramu ucrtane odgovarajuće linije. Svakako da se i u ovom slučaju ne može govoriti o teorijskoj linearnosti

prikazanog odnosa, ali je odstupanje od nje, za okvir korišće -
nih podataka (umnogome tipičnih za čelične limove za duboko iz-
vlačenje) neznatno, pa usvojena aproksimacija praktično ne uslov-
ljava dobijanje pogrešnih rezultata.



Sl. 5.

6. Literatura

- [1] L.A. Šofman, Teorija i rasčeti processov holodnoj šampovki, Moskva, 1964.
- [2] S.I. Gubkin, Plastičeskaja deformacija metallov (tom II), Moskva, 1961.
- [3] A.P. Ageev, S.I. Karatušnin, Mehaničeskie ispitanija metallov pri visokih temperaturah i kratkovremennom nagraženii, Moskva, 1968.

B. D e v e d ž i ć

Influence of deformation velocity on work hardening exponent
of low-carbon steel-sheet

In the paper first the fundamental ideas have ben considered as well as definitions related with velocity of deformation. Further on natural stresses in material in the case of linear extension has been analysed. Relations thus gained are used for expressing work hardening exponent in function of velocity of deformation. As a concrete example (of deep drawing steel-sheet) the author got some experimental data by means of which he interpreted graphically the aforesaid relations in several variants.

A. Mulc, F. Kovačiček ^{x)}

ODREĐIVANJE KOEFICIJENTA KONTAKTNOG TRENJA
METODOM UTISKIVANJA ŽIGA U METAL ^{xx)}

1. Uvod

Rad predstavlja pokušaj da se na osnovi provedenih pokusa utvrdi utjecaj pojedinačnih faktora i njihovih interakcija na iznos koeficijenta kontaktnog trenja mjenog na način da se zaobljeni žig utiskuje u metalnu površinu.

Teoretsku osnovicu metode postavio je Frandtl [1], a od ostalih radova na tu temu spomenimo radove Tomlenova [2] i Ivanova [3]. Tomlenov je dao rješenje izraza za specifični pritisak za uzdužni i poprečni presjek trna. Ivanov je mjerenjem rasporeda tvrdoće u materijalu u osi ispod utisnute kalote došao do iznosa koeficijenta kontaktnog trenja, utvrdivši vrh konusa trenja.

Naše nastojanje da damo prilog ovoj temi sadrži razmatranje utjecaja triju veličina, koje se u literaturi iz priloženog popisa smatraju najvažnijima. To su : hrapavost površine žiga (u našem slučaju hrapavost površine kugle koja zamjenjuje žig), prisutnost maziva i brzina utiskivanja žiga (kugle).

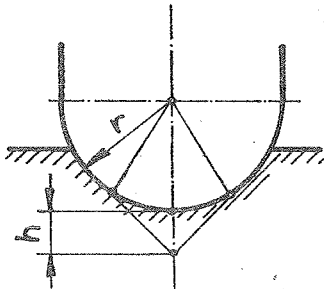
Pokusi su najprije provedeni na aluminiju čistoće 99,5 % i na duralu, ali se metoda na ta dva materijala nije pokazala kao naročito prikladna. Pokusi na čeliku obuhvatili su Č.4732, materijal po sastavu vrlo blizak onomu s kojim je eksperimenti-

^{x)} Andrija Mulc, dipl.ing., mr Franjo Kovačiček, dipl.ing., asistenti Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu

^{xx)} Pokusi su provedeni u Laboratoriju za plastičnu obradu FSB-a u Zagrebu

rao Ivanov i Č.0345, vrlo prošireni konstrukcioni čelik. Podaci koje smo u daljnjem tekstu iznijeli vrijede za Č.0345, budući da o vrijednostima koeficijenata trenja za čelike bli-
ske Č.4732 već u literaturi postoje podaci.

2. Opis metode



Sl. 1

Žig s čelom oblika polukugle utis-
kuje se u ravnu površinu metala
(vidi sliku 1). Utisnuti uzorak se
prereže uzduž osi kalote, te se m-
jerenjem po osi odredi mjesto naj-
veće tvrdoće. To mjesto predstavlja
vrh konusa s vršnjim kutem od 90° ,
nazvanog konusom trenja. Veza izme-
đu stanja otvrdnuća u deformiranom
materijalu i koeficijenta μ na po-
vršinama u kontaktu, omogućena je
konstatiranjem veličine h (iz sl.1)

izrazom:

$$\mu = \frac{h}{r} \left(\frac{h}{2r} + 1 \right)$$

Izraz bazira na postavci da postoji ravnoteža između vanjskog
trenja (trenja na površini žiga) i trenja unutar materijala u
koji utiskujemo žig. Posljedica te ravnoteže je postojanje
konusa s vršnjim kutem od 90° , unutar kojeg za vrijeme utis-
kivanja materijal putuje zajedno sa žigom. Na plaštu konusa
nastaju smična naprezanja koja, s obzirom na to da se pokus
provodi pri sobnoj temperaturi, rezultiraju izrazitim poras-
tom tvrdoće.

3. Plan pokusa

Naš plan pokusa predstavlja faktorski plan 2^3 s jednim po-
navljanjem, tj. tri faktora na dva dovoljno kontrastna nivoa.
Tablica 1 prikazuje taj plan.

Tablica 1

	C ₁		C ₂	
	B ₁	B ₂	B ₁	B ₂
A ₁				
A ₂				

Značenje oznaka je slijedeće:

Faktor A - označava hrapavost površine kugle.

Nivo A₁ pripada poliranoj površini kugle, dok se nivo A₂ odnosi na nasječenu površinu kugle.

Faktor B - označava prisutnost maziva.

Nivo B₁ znači da je površina kugle i uzorka namazana mineralnim uljem SAE 30, a nivo B₂ znači da je i površina kugle i površina uzorka bila odmašćena, dakle bez prisutnosti maziva.

Faktor C - predstavlja brzinu utiskivanja.

Nivo C₁ znači da su pokusi provedeni na preši kod brzine utiskivanja od 0,02 mm/sek, što približno odgovara brzini deformacije od 10^{-3} sek⁻¹. Nivo C₂ znači da su pokusi provedeni ^{batu} na brzini malja u času sraza s kuglicom od oko 4 m/sek, što odgovara brzini deformacije od oko 200 sek⁻¹. Ukupni kontrast faktora C iznosi dakle $2 \cdot 10^5$ sek⁻¹.

4. Provedba pokusa

Pokusi su provedeni kod sobne temperature. Pokusni žigovi zamijenjeni su čeličnim kuglama promjera 16 mm. Za postizavanje

nivoa A_1 to je bila kugla s poliranom površinom hrapavosti koja odgovara klasi 2 po JUS M.A1.021, a za nivo A_2 primijenjena je kugla s nasjeckanom površinom, hrapavosti klase 12.

Čelik Č.0345 bio je priređen u epruvete oblika valjka dimenzija ϕ 30 x 20 mm, dok su dimenzije epruveta materijala Č.4732 bile ϕ 20 x 40 mm. Sve epruvete su prije pokusa utiskivanja meko žarene. Potom su njihove baze obrađene tokarenjem na površinsku hrapavost klase 9. Kugla je utiskivana samo u jednu bazu epruvete. Dubina prodora kugle u epruvetu kretala se je od 2 do 6 mm. U tom području nije primijećena ovisnost parametra h o dubini prodora kugle.

Tvrdoća je mjerene mikrotvrdomerom FMT-3 s opterećenjem 200 p, po metodi Vickersa.

5. Analiza rezultata

Na osnovi mjerenja veličine h izračunate su po opisanoj metodi vrijednosti koeficijenta kontaktnog trenja i unesene u tablicu 2, koja zapravo predstavlja popunjenu tablicu 1.

Tablica 2

Matrica vrijednosti koeficijenta kontaktnog trenja μ za čelik Č.0345

	C ₁ (preša)		C ₂ (bat)	
	B ₁ (maz.)	B ₂ (suh)	B ₁ (maz.)	B ₂ (suh)
A ₁ (glatka)	0,112	0,295	0,078	0,284
	0,119	0,304	0,078	0,275
A ₂ (hrap.)	0,406	0,498	0,495	0,500
	0,412	0,500	0,498	0,500

S tim podacima provedena je analiza varijance i F-test u svrhu utvrđivanja utjecaja pojedinačnih faktora i njihovih eventualnih interakcija. Rezultati analize varijance i F-testa sabrani su u tablici 3.

Tablica 3

Tablica varijanci

varijacija	zbir kvadrata odstupanja	stup. slob.	procjena varijance	F račun.	F _{0,05}	F _{0,01}
ukupna	410.208	15	27.350			
A	320.500	1	320.500	1.627		
B	57.350	1	57.350	291		
C	240	1	240	1,2		
AB	21.320	1	21.320	108	5,32	11,3
AC	5.330	1	5.330	27		
BC	1.190	1	1.190	6		
ABC	2.700	1	2.700	13,7		
greška pokusa (ostatak)	1.578	8	197			

Iz analize varijance moguće je zaključiti slijedeće:

- Daleko najutjecajniji faktor kod određivanja vrijednosti koeficijenta kontaktnog trenja metodom utiskivanja žiga oblika polukugle je hrapavost površine žiga.
- Mazivo je od utjecaja, ali znatno manjeg nego hrapavost površine žiga.
- Unatoč činjenici da brzina utječe na iznos koeficijenta kontaktnog trenja, specijalno u slučaju male hrapavosti površine žiga, njezin relativni utjecaj je znatno ispod onih koje čine ostali faktori.

- d) Postoji interakcija između
- hrapavosti površine žiga i maziva,
 - hrapavosti površine žiga i brzine,
 - maziva i brzine i
 - hrapavosti površine žiga i maziva i brzine.

6. Zaključak

Na osnovi rezultata vlastitih pokusa i usporedbe tih rezultata s rezultatima drugih autora, došli smo do zaključka da se metoda utiskivanja žiga s čelom oblika polukugle može primijeniti kod određivanja veličine koeficijenta kontaktnog trenja i na materijalima tipa niskougličnih konstrukcionih čelika.

Usporedba apsolutnih vrijednosti i relativnih odnosa koeficijenata kontaktnog trenja, mjenjenih na u tekstu opisani način, na čelicima Č.0345 i Č.4732 pokazuje, da postoje razlike u apsolutnim veličinama koeficijenata trenja, ali da su relativni odnosi, tj. utjecaji faktora koji su ispitivani, gotovo jednaki za oba materijala.

Pouzdaniji rezultati o veličini koeficijenta kontaktnog trenja moraju biti definirani u pogledu materijala na komu se trenje ispituje, hrapavosti žiga, maziva i brzine utiskivanja.

7. Literatura

- [1] L.Prandtl, Anwendungsbeispiele zu einem Henckyschen Satz über das plastische Gleichgewicht, ZAMM, Bd.3, H.6, (1923)
- [2] A.D.Tomlenov, Vnedrenie zakruglennogo puansona v metall pri naličii trenija, Vestnik mašinostroenija, 1, (1960)
- [3] F.A.Ivanov, Opredelenie koefficienta trenija po raspredeleniju tverdosti v plastičeskoj zone, Kuznečno-štamponočnoe proizvodstvo, 5 (1961).
- [4] M.W.Storožev/E.A.Popov, Grundlagen der Umformtechnik, Berlin (1968).
- [5] A.Đurašević, Planiranje pokusa i faktorska analiza, predavanje na IIIInastave na FSB-u, Zagreb, (1967).

A. Mulc, F. Kovačiček

DIE BESTIMMUNG DES KONTAKTREIBUNGSKOEFFIZIENTEN DURCH
DAS BINDRINGEN EINES STAMPFELS IN METALL

Das Eindringen eines gerundeten Stempels wurde als eine Methode für die Ermittlung des Kontaktreibungskoeffizienten verwendet.

Der Einfluss der Oberflächenbeschaffenheit des Stempels, die Schmiermittel und die Geschwindigkeit wurden durch die Verwendung eines faktoriellen Forschungsplanes geprüft.

VI SAVJETOVANJE O PROIZVODNOM STROJARSTVU, OPATIJA, 1970.

J. Matin x)

PRIMJENA PLASTICNE DEFORMACIJE EKSPLOZIJOM (IZRADA DANACA ZA SUDOVE POD PRITISKOM)

Opća razmatranja

Današnji razvoj tehnike nameće konstrukterima u pojedinim granama industrije primjenu metala velike čvrstoće, te predmeta složene konfiguracije i velikih gabarita. Izrada ovakvih dijelova predstavlja veliki problem, često već i zbog toga, što su za to potrebne prese ogromne snage, te velikih gabarita radnog stola i težine. Tako na primjer, za presanje jednog panela-ploče od nerđajućeg čelika velicine 1 x 1 m sa razmakom rebara ukrućenja od 10 cm, pri temperaturi čak od 700°C kada se čvrstoća smanjuje za 2 - 3 puta, potrebna je sila od oko 100 hiljada Mp [2]. Ovo je presa ogromnih dimenzija te je njena izgradnja vrlo teška, a cijena suviše visoka za ovakav, uz to još i relativno mali detalj. Osim toga, nove legure imaju takova fizicka svojstva, koja čine njihovo oblikovanje postojećim metodama nemogućim. Na primjer, pojedini visokocvrsti legirani metali mogu se obrađivati samo u vrućem stanju, zbog smanjivanja otpora plastičnoj deformaciji. Zagrijavanje tih legura do takovih temperatura, koje bi snizile mehanička svojstva, dovodi do niza nepoželjnih posljedica kao što su:

x) Josip Matin, dipl. ing., samostalni stručni saradnik Instituta za naučnoistraživački rad "Žuro Zaković", Slavonski Brod.

promjena prvobitne metalografske strukture, gubitak antikorozijskih svojstava i sl. [1]. Zbog toga se nameće potreba obrade ovih materijala u hladnom stanju, a što uslovljava i primjenu novih postupaka oblikovanja. Jedan od takvih procesa je i oblikovanje metala eksplozijom.

Iako se ne smije shvatiti, da je ova metoda obrade metala zamjena, već samo dopuna klasičnim postupcima obrade, ipak u izvjesnim slučajevima je najekonomičnija, a ponekad i jedino moguća. Ovo naročito dolazi do izražaja kada je u pitanju prototipska, pojedinačna i maloserijska proizvodnja dijelova od limova velikih gabarita, složenih i nesimetričnih oblika, te od visokokvalitetnih materijala. Ovakvi slučajevi se najčešće pojavljuju u avionskoj, raketnoj i nuklearnoj tehnici, te pri proizvodnji brodova, rezervoara i uređaja za kemijsku i procesnu industriju i tome slično. Ova tehnika je danas postigla već takav stepen razvoja, da je u znatnom broju slučajeva i u serijskoj proizvodnji ekonomičnija od klasičnog postupka oblikovanja.

Princip distancione operacije

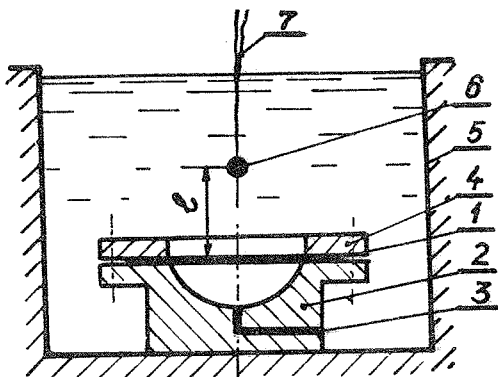
Dijelovi koji se danas proizvode u industrijskim poduzećima metodom eksplozivnog formiranja, izrađuju se u većini slučajeva putem distancionih operacija. To su operacije kod kojih se eksploziv postavlja na stanovitom rastojanju od izradka, tako da se energija oslobođena pri eksploziji prenosi posredstvom prijenosne sredine kao što su: voda, ulje i dr. Ona se predaje izradku putem udarnog vala, za vrlo kratko vrijeme i pri vrlo velikim pritiscima koji dostižu i do nekoliko hiljada kiloponda po 1 cm^2 . Energija i snaga udarnog vala su praktično neograničene, a impuls udarnog vala se prenosi odjednom na čitavu površinu izradka. Na taj način preoblikovanje

...

se vrši u svim zonama istovremeno [3]. Kao izvor energije služe visokobrizantni eksplozivi kao što su: trinitrotoluol, heksogen, pentrit, ciklonit i dr.

Gabariti dijelova koji se izrađuju, obzirom na eksploziv kao izvor energije, praktično su neograničeni. U praksi postoje ograničenja samo u mogućnosti izrade relativno jednostavnih matrica za davanje oblika izradku. No, i tu su mogućnosti vrlo velike (armirani beton i dr.).

Tipičan sistem distancione operacije predstavlja sistem za oblikovanje dna u bazenu sa vodom (sl.1), a sastoji se iz:



Sl.1. Oblikovanje dna u bazenu sa vodom.

rondela ili lima odgovarajućeg oblika (1) koji se stavlja na matricu (2), ispod rondenale se isisava zrak kroz kanal (3) da bi se stvaranjem vakuuma izbjeglo naboranje izradka, koji je pritisnut prstenom (4). Ovakvo pripremljen kalup

stavlja se u bazen (5) napunjen vodom. Iznad izradka na određenom rastojanju postavlja se eksploziv (6) koji se aktivira detonatorom pomoću kablova (7). Nakon eksplozije velikom brzinom daje se izradku konačan oblik. Obično je ovaj sistem dopunjen još i opremom kao što je vakuum-pumpa za isisavanje zraka, kompresor za stvaranje zračne zavjese u cilju zaštite zida bazena, pumpe snabdjevenom sa filterom za prečišćavanje vode, kao i dizalicom za premještanje kalupa i izradka.

...

Formiranje danca eksplozijom

Imajući u vidu značaj i perspektivnost ove tehnike oblikovanja, Institut za naučnoistraživački rad "Žuro Žaković" u suradnji sa poduzećem "Žuro Žaković" uvrstio je u svoj program rada izučavanje ove tehnologije i izvođenje eksperimenata u oblikovanju metala eksplozijom, a u cilju eventualne primjene ove tehnike u sopstvenoj proizvodnji.

Neka iskustva i način izvođenja oblikovanja eksplozijom, prikazat ćemo na jednom primjeru eksperimentalnog danca od nerđajućeg čelika prečnika $D = 220$ mm. Danca pripadaju među karakteristične predstavnike ove vrste tehnologije.

Na ovom primjeru ćemo pokazati i jednu računsku metodu dobijanja najvažnijih podataka za određivanje količine eksploziva i drugih elemenata potrebnih za oblikovanje metala eksplozijom.

P r o r a č u n

1. Materijal

Za materijal je uzet lim od nerđajućeg čelika marke "Maraton Remanit 1880" koji približno odgovara domaćem čeliku Prokron 11, odnosno Č. 4571 po JUS-u slijedećih karakteristika:

- kvalitet Č 4571 (prokron 11)
- debljina $s = 3$ mm
- zatezna čvrstoća $\sigma_M = 62$ kp/mm²
- granica razvlačenja $\sigma_r = 25$ kp/mm²

2. Određivanje prečnika rondele

Na jedan od uobičajenih načina određivanja prečnika rondele, dobijen je prečnik rondele:

...

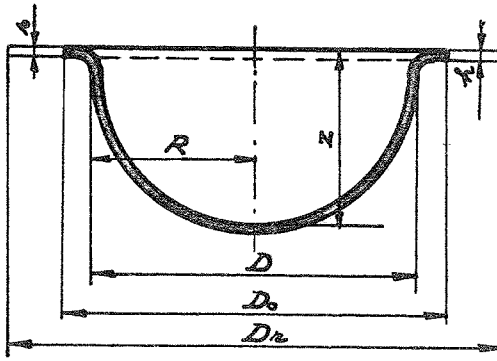
$$D_r = 314 \text{ mm}$$

3. Proračun energije potrebne za deformaciju sferičnog segmenta

Veličinu potrebne energije za deformaciju sferičnog segmenta dobit ćemo iz obrasca [1].

$$W_{sf} = \frac{B}{1+\alpha} \left[\frac{4}{3} \frac{f^2}{R^2} \right]^{1+\alpha} \cdot \pi \cdot R^2 \cdot s \text{ [kpcm]} \quad (1)$$

gdje je (sl.2)



Sl. 2. Skica danca

- W_{sf} = energija deformacije sfere
B = 118 kp/mm² - konstanta za ovaj materijal
 α = 0,29 - " " " "
f = z-h=90-57=33 mm - progib sfere
s = 3 mm - debljina lima
R = 110 mm - radius sfere

Unošenjem brojčanih vrijednosti u obrazac (1) dobijamo:

$$W_{sf} = \frac{11800}{1+0,29} \left[\frac{4}{3} \frac{3,3^2}{11^2} \right]^{1+0,29} \cdot 3,14 \cdot 11^2 \cdot 0,3$$

...

$$\underline{\underline{\omega_{sf} = 6,7 \cdot 10^4 \text{ kpcm}}}$$

4. Proračun energije potrebne za deformaciju oboda

Ovu energiju ćemo dobiti po obrascu [1].

$$\omega_o = \frac{K_p \cdot K_t \cdot \pi \cdot B}{1 + \alpha} \left[\frac{2}{\sqrt{3}} \frac{K_i - K_o}{K_i - 1} \ln K_i \right]^{1+\alpha} \cdot R^2 (K_i^2 - 1) \cdot s \text{ [kpcm]} \quad (2)$$

gdje je:

ω_o = energija deformacije oboda

K_p = 1,15 - koeficijent dopunske energije presav.oboda

K_t = 1,3 - koeficijent energije trenja

K_i = koeficijent početnog izvlačenja

K_o = koeficijent početnog izvlačenja oboda

$$K_i = \frac{D_r}{D} = \frac{314}{220} = 1,43$$

$$K_o = \frac{D_o}{D} = \frac{220}{220} = 1$$

gdje je (sl. 2.):

D_r = prečnik ronele

D_o = prečnik oboda

D = prečnik danca

Kada ove veličine uvrstimo u obrazac (2) dobijamo da je

$$\omega_o = \frac{1,15 \cdot 1,3 \cdot 3,14 \cdot 11800}{1 + 0,29} \left[\frac{2}{\sqrt{3}} \frac{1,43-1}{1,43-1} \ln 1,43 \right]^{1+0,29} \cdot 11^2 \cdot (1,43^2 - 1) \cdot 0,3$$

$$\underline{\underline{\omega_o = 53,6 \cdot 10^4 \text{ kpcm}}}$$

...

5. Proračun specifične energije deformacije

Ukupna potrebna energija za deformaciju danca je

$$\omega_u = \omega_{sf} + \omega_o = 6,7 \cdot 10^4 + 53,6 \cdot 10^4 \quad (3)$$
$$\omega_u = 60,3 \cdot 10^4 \text{ kpcm}$$

=====

Sada možemo dobiti specifičnu energiju koja iznosi:

$$\omega = \frac{\omega_u}{\pi \cdot R^2} = \frac{60,3 \cdot 10^4}{3,14 \cdot 11^2} \quad (4)$$
$$\omega = 1590 \text{ kpcm/cm}^2$$

=====

6. Određivanje veličine eksploziva

Usvajamo sferični oblik eksploziva čiju ćemo veličinu dobiti iz obrasca [1]:

$$Q = \left[\frac{\omega \cdot s \cdot 11^{1,8}}{1 - \nu^2} \cdot N \right]^{0,8} \quad [kp] \quad (5)$$

gdje je:

Q = količina eksploziva

$\omega = 1590 \text{ kpcm/cm}^2$ - spec.energija deformacije

s = 0,3 cm - debljina lima

l = 11 cm - rastojanje eksploziva od ronele (sl.2), dobijemo iz dijagrama prikazanog na sl.3.

N = $1,378 \cdot 10^{-6}$ -koeficijent koji zavisi od gustine materijala [1].

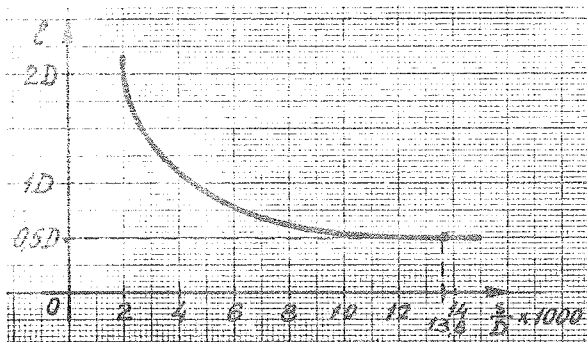
$1 - \nu^2 = 0,781$ - koeficijent koji zavisi od materijala [1].

Kada uvrstimo ove podatke u obrazac (5) dobijamo veličine eksploziva koja iznosi

$$Q = \left[\frac{1590 \cdot 0,3 \cdot 11^{1,8}}{0,781} \cdot 1,378 \cdot 10^{-6} \right]^{0,8}$$
$$Q = 0,11 \text{ kp}$$

=====

...



Sl.3 Rastojanje eksploziva L u zavisnosti od s/D

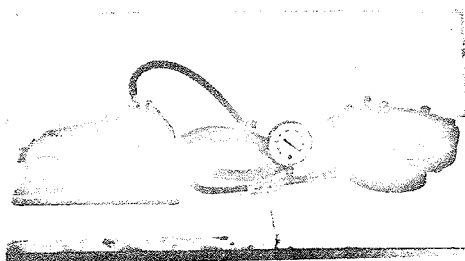
Iz navedenog primjera vidimo, da je tehnika eksplozivnog formiranja danas već prilično i teoretski obrađena, tako da se u mnogo slučajeva mogu sa priličnom tačnošću izračunati najvažniji elementi eksplozivnog formiranja.

Postoji još niz manje ili više egzaktnih obrazaca za proračun i drugih elemenata potrebnih pri eksplozivnom formiranju, ali se sa njima ovog puta nećemo pozabaviti. Zadovoljit ćemo se samo da nevedemo neke od njih kao što su: proračun minimalnog rastojanja stuba tečnosti iznad površine izradka, proračun bezbjednog rastojanja od mjesta eksplozije, proračun trajne izdržljivosti bazena i sl.

Operacije oblikovanja danca
Redoslijed operacija kod oblikovanja danca bio je slijedeći:

1. Rondela - izradak stavljena je na matricu i pritisnuta prstenastom pločom. Gumena vrpca umetnuta u žljeb između matrice i rondele poslužila je za zaptivanje prostora između rondele i matrice. Dodirujuće površine matrice i rondele, a naročito površine radiusa zaobljenja matrice i gumena brtva, premazana su sa liqui-moly-jem radi smanjenja trenja između izradka i matrice pri procesu deformacije.
2. Povezivanjem vakuum-pumpe i kalupa pomoću gumenog crijeva za sprovođenje zraka sa ugrađenim vakuummetrom, dobili smo

...



Sl. 4. Vakuum-sistem

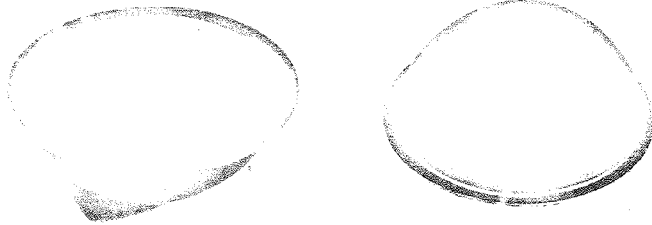
vakuum-sistem za isisavanje zraka iz kalupa (sl.4).

3. Čelična žica prečnika 2 mm u obliku tronošca poslužila je kao oslonac za vezivanje eksploziva na rastojanju od

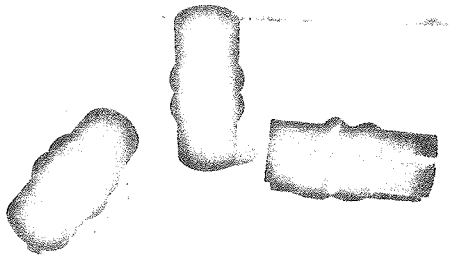
11 cm od rondela izradka. Amonijumnitratni plastični eksploziv "VITEZIT-40", [5], formiran u obliku kugle prečnika cca 50 mm, zajedno sa trenutnim elektrodetonatorom, obložen je polivinilom i na podesan način vezan za žičani tronožac.

4. Kada je isisavanje zraka pomoću vakuum-pumpe postignut vakuum od 11 tora, kalup je odvojen od vakuum-sistema.
5. Kalup sa izradkom i eksplozivom je pomoću dizalice spušten na dno bazena u koji je već ranije smještena zračna cijev za stvaranje zračne zavjese.
6. Bazen je napunjen vodom i poslije udaljavanja personala na bezbjedno rastojanje izvršena je eksplozija.
7. Nakon izvršene eksplozije, kalup je pomoću dizalice izvučen iz bazena.
8. Kada je kalup izvađen, isti je demontiran i izvađeno formirano dance.
Dance dobijeno na ovaj način dobro je oblikovano, a fotografije istog prikazane su na sl, 5.

...



Sl.5. Fotografije danca formiranog eksplozijom



Sl. 6. Valovite cijevi formirane eksplozijom.

Na osnovu razmatranja izložene problematike eksplozivnog formiranja metala, mogli bi se izvesti slijedeći važniji zaključci:

Zaključak:

Na osnovu razmatranja izložene problematike eksplozivnog formiranja metala, mogli bi se izvesti slijedeći važniji zaključci:

...

1. Eksplozivno formiranje metala ne zamjenjuje klasične tzv. statičke metode obrade, već ih samo dopunjuje.
2. Primjena eksplozivnog oblikovanja je opravdana i korisna naročito u slijedećim slučajevima:
 - kada je to jedini, praktički ostvarljiv način oblikovanja nekog izradka.
 - kada je to jeftiniji način oblikovanja nekog izradka.
3. Eksplozivno formiranje često omogućuje bržu izradu prototipa i osvajanje novih proizvoda.
4. Eksplozivno oblikovanje metala daje konstrukterima veću slobodu pri izboru materijala i konfiguracije dijelova u konstrukcijama.
5. U većini slučajeva, investiciona ulaganja u opremu za eksplozivno formiranje su znatno manja, u odnosu na ulaganja u opremu za klasičan način obrade.

Literatura

- [1] R.V. Pihtovnikov, V.I. Zavjalova, Štampovka listovogometalla vzeivom "Mašinostrojenije", Moskva (1964).
- [2] J.S. Rinehart, J. Pearson, Vzeivnaja obrabotka metallov, prevod s englijskogo, "Mir", Moskva (1966).
- [3] A. Burkhardt, Nutzung der Energie von Sprengstoffen zum Umformen und Verschweissen von Metallen, Schweisstechnik, 8 (1966).
- [4] Formiranje metala eksplozijom, Institut za naučnoistraživački rad "Đuro Đaković" Slav. Brod, interni rad (1968).
- [5] Prospektā eksploziva domaćih proizvođača.

...

J. Matin

ANWENDUNG DER PLASTISCHEN VERFORMUNG DURCH EXPLOSION
(HERSTELLUNG VON BÖDEN FÜR DRUCKGEFÄSSE)

In kurzem wird die Anwendung der plastischen Verformung durch Explosion erläutert und das Arbeitsprinzip des Distanziervorganges beschrieben. Desweiteren zeigt ein Beispiel die Errechnung der Sprengstoffmenge und anderer notwendiger Elemente, welche für das Verformen eines Bodens von Durchmesser $D=220$ mm und Stärke $s = 3$ mm aus rostfreiem Stahl nötig sind. Es werden die technologischen Vorgänge bei der Bodenverformung beschrieben auf Grund der angeführten zu lösenden Schwierigkeiten sind die Beschlüsse ausgeführt.

D. R u d e l i ć x)

PROBLEM MAZIVA I PODMAZIVANJA PRI PROCESIMA DUBOKOG
IZVLAČENJA

Uvod.

Pod nazivom duboko izvlačenje podrazumjeva se obrada metala bez skidanja strugotina tj. postupak oblikovanja pri kojem se iz limene platine pomoću preše i alata izvlačenjem izrađuju bešavne posude. Pri procesu dubokog izvlačenja limena platina pritegnuta je između matrice i tlačnog prstena kroz kojeg prolazi žig i vrši izvlačenje platine preko vučnog radiusa matrice u posudu oblika kao što je žig. Općenit izgled alata za duboko izvlačenje prikazan je na slici 1.

Obzirom na zračnost između žiga i matrice u alatu za duboko izvlačenje razlikujemo

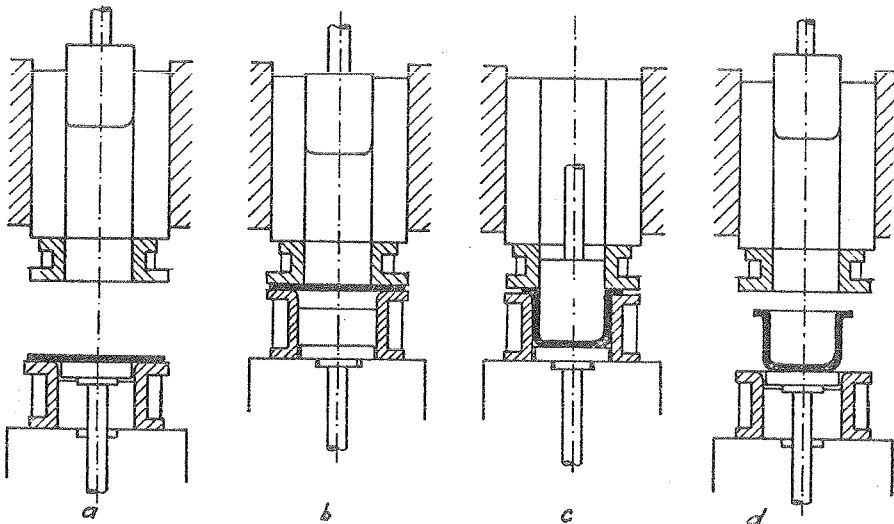
- izvlačenje sa stanjivanjem stjenke izradka tj. ukupna zračnost između žiga i matrice je manja od dvije debljine lima;

- izvlačenje sa glačenjem stjenke izradka tj. ukupna zračnost između žiga i matrice iznosi dvije debljine lima;

- izvlačenje bez stanjivanja debljine stjenke izradka tj. ukupna zračnost žiga i matrice je veća od dvije debljine lima.

Sva daljnja izlaganja odnosit će se uglavnom na probleme izvlačenja tankih limova tj. izvlačenja bez stanjivanja stjenke izradka.

x) Dragutin Rudelić, dipl.ing.rukovodilac EJ.Konstrukcije i alatnice tvornice "Gorica" Zagreb, Šubićeva 55.



Sl. 1

Izgled alata za duboko izvlačenje:

- a) umetanje rondele; b) pritezanje rondela
- c) izvlačenje i d) izbacivanje izradka.

Zahtjevi na mazivo pri dubokom izvlačenju

Osnovni zahtjev na mazivo pri dubokom izvlačenju je olakšanje uspješnog izvlačenja limenog izradka:

- mazivo mora smanjiti trenje;
- mazivo treba spriječiti prejaka mjestimična zadebljanja lima inače može doći do mjesta hladnog zavara, neželjenog grešpanja lima kao i kidanja lima;
- film maziva koji se stvara između alata i lima mora izdržati visoke specifične pritiske, a da pri tom ne dođe do trganja filma maziva tj. mora imati sposobnost čvrstog vezanja za radne plohe lima i alata.

Daljnji zahtjevi na mazivo su:

- zaštita alata od prevelikog trošenja ili oštećenja tj. čuva-

nje alata pri radu i uskladištenju;

- dobra mogućnost zavarivanja lima nakon obrade i bez prethodnog odmašćivanja;

- dobra svojstva antikorozivne zaštite lima i nakon dužeg vremena uskladištenja izradaka

- i nakon duljeg uskladištenja izradaka mazivo se ne smije pretvoriti u smolu, a ne smiju nastupiti ni druge oksidacione promjene.

Pored ovih postoje još neke određene želje potrošača koje mazivo mora zadovoljiti kao na primjer:

- posjedovanje određenog viskoziteta ili konzistencije;

- mogućnost razrjeđivanja maziva u ulju ili vodi;

- pitanje biološkog razlaganja maziva.

Vrste maziva

Obzirom na prije navedene zahtjeve koje mazivo mora imati pri procesima dubokog izvlačenja njegova građa je veoma složena.

Općenito maziva za duboko izvlačenje možemo podijeliti u tri osnovne grupe:

1. Ulja i masti
2. Emulzije
3. Suhe prevlake

Ulja i masti predstavljaju najveću grupu maziva najrazličitijih vrsta i sastava: upotrebljavaju se mineralna, životinjska i biljna ulja. Masti za podmazivanje su smjese sapuna i mineralnog ulja. Uglavnom razlikujemo kalcijske i natrijske masti, a poznat je cijeli niz posebnih masti izrađenih na pr. na osnovu litijskog, aluminijskog ili drugog sapuna. Da bi postigli optimalna svojstva kombiniraju se gore navedena maziva sa dodacima za poboljšanje čvrstoće filma maziva odnosno mogućnosti nošenja većeg specifičnog pritiska, te emulgatore i močila radi bolje mogućnosti pranja, kao i sredstva za antikorozivnu zaštitu.

Obzirom na mogućnost izrade emulzije, ulja i masti možemo podijeliti u dvije grupe: maziva od kojih se može napraviti emulzija i druga od kojih se ne može napraviti emulzija.

Mazive-emulzije za duboko izvlačenje našle su široku primjenu radi njihove relativno niske cijene i jednostavnog rukovanja.

Najčešće upotrebljavane emulzije su od ulja u vodi. Dispergirano ulje ili mast nalazi se u obliku mikroskopskih kuglica koje su obavijene zaštitnom opnom. Okoliš u kojem se ove kuglice nalaze utječe na svojstva ove opne, koja u obrnutom ima veliki utjecaj na stabilnost i mazivost emulzije.

Posljednjih godina industrijski napredne zemlje uvode postupak oblačenja lima zaštitnom suhom prevlakom. Ovaj film je dovoljne debljine da prekrije i popuni sve površinske hrapavosti na limu.

Suhe prevlake kao metaliziranje, fosfatiranje, razne galvanske prevlake, zatim na lim već vezani lakovi, folije i silikonski premazi se primjenjuju kod specijalnih slučajeva izvlačenja. Na kraju sva nabrojana maziva možemo podijeliti na maziva bez dodataka pigmentata tj. nepigmentirana i sa dodacima pigmentata - pigmentirana maziva. Pigmenti su nerastvorivi spojevi koji se dodaju mazivu radi postizanja jednog ili više prije navedenih zahtjeva.

Priprema i nanošenje maziva

Kod najčešćih slučajeva dubokog izvlačenja mazivo se ne upotrebljava u čistom stanju, nego se mješa sa nekom jeftinijom tekućinom. To je obično voda, petrolej ili neko ulje. Mješanje tj. izrada emulzije najprije se vrši sa toplim tekućim dodatkom od 50-60°C u manjem omjeru, a nakon toga dodaje se preostali dio tekućine do željenog odnosa. Emulzije se primjenjuju kod optoćnog sistema podmazivanja. Posebnu pažnju treba obratiti na stvaranje raznih bakterija u emulziji, a naročito u ljetno doba.

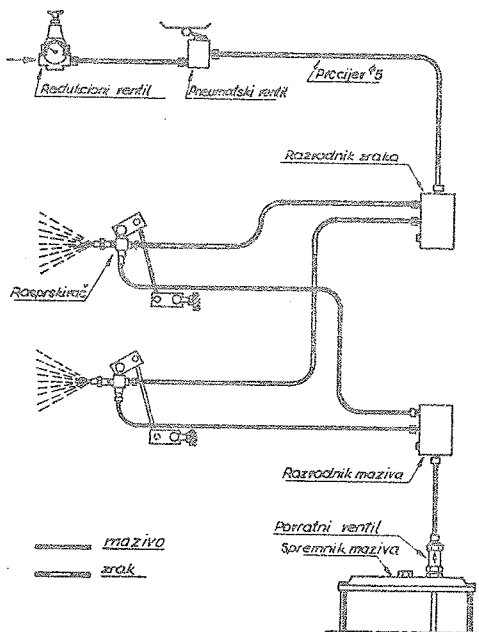
Emulzija u kojoj su bakterije promjeni boju i postane sivo plava ili tamno smeđa, a na površini plivaju izdvojene čestice ulja ili masti koje se skupljaju u otoke. Kada je jednom jedan sistem zapunjen bakterijama veoma teško ga je regenerirati. Tada pomaže samo temeljito ispiranje sa jakom vrelom alkaličnom lužinom za pranje. Zato se sistem za podmazivanje emulzijom iako ima dodatke protiv bakterija mora često temeljito čistiti i ispirati.

Prilikom pripreme mazivu se mogu davati razni dodaci kao na pr.: grafit, molibdenov disulfid, borna kiselina, repičino ulje sumporni cvijet i razni drugi-koji su tajne proizvođača, a sve

zbog povećanja kvalitete maziva.

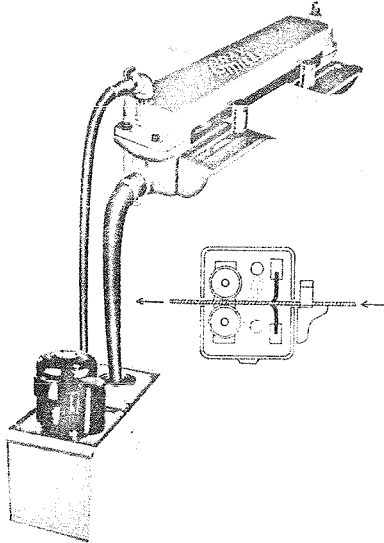
Čisto ili razrjeđeno mazivo može se nanositi na lim na više načina, što uvelike ovisi o gustoći maziva. Iako se nanošenje maziva sve više mehanizira mogu se izdvojiti slijedeći osnovni načini:

- ručno nanošenje pomoću četke ili krpe; primjenjuje se kod masti ili gustih maziva,
- ručno nanošenje umakanjem vrši se kod tekućih maziva,
- nanošenje maziva prskanjem pomoću ručne pištolje ili uređaja prema slici 2. primjenjuje se kod tekućih maziva.



Slike 2.
Sistem nanošenja maziva prskanjem

- Podmazivanje limenih traka izvodi se pomoću valjaka koji su obloženi filmom preme slici 3. Kod nanošenja maziva preko valjaka debljine filma maziva regulira se podešavanjem udaljenosti valjaka, a zatim se ista drži konstantnom. Kod podmazivanja raspršivanjem moramo uzeti u obzir gubitke maglom.



Slika 3.
Nanošenje maziva pomoću valjaka.

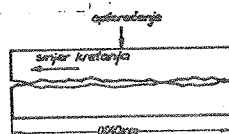
Gdje će se koji sistem podmazivanja primjeniti ovisi o više faktora: vrsti proizvodnje, mehaniziranosti, izboru maziva i drugom.

Trenje na površinama lima i alata

Pri dubokom izvlačenju opterećeni lim teče između površina tlačnog prstena i matrice alata. Radi boljeg razmatranja trenja pretpostavimo da su sve plohe idealno glatke. Potpuno glatke plohe istisnule bi mazivo, jer se ono nebi moglo prihvatiti za njih pa bi došlo do suhog trenja, a na ovom hladni zavar te oštećenje lima i alata.

Zato površine lima i alata moraju imati različite hrapavosti. Površina lima mora imati izvjesnu hrapavost, da se za nju može vezati film maziva, dok radne plohe alata moraju biti glatko ispolirane.

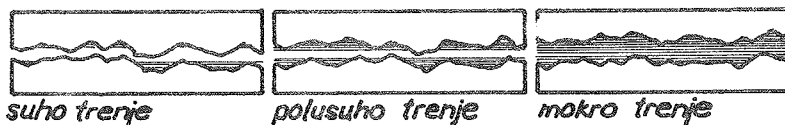
Uvećani izgled jedne opterećene plohe lima koji se giba i alata koji miruje prikazan je na slici 4.



Slika 4.
Klizne površine lima i alata pri dubokom izvlačenju.

Kada greben jedne površine naiđe na greben druge površine dolazi do hladnog zavora te trganja i jednog i drugog materijala. Pri tome se oslobađa toplina trenja koja se djelomično prenosi na alat a djelomično na izradak. Mjerenjem je ustanovljeno da se izradak zagrije na oko 70°C pri srednjim brzinama izvlačenja, dok kod većih brzina izvlačenja ova temperatura može biti i viša. Povišenje temperature maziva mijenja viskozitet ulja, a kod mesti temperatura može doseći tačku tališta. Dakle mazivo se mora zagrijati, ali samo toliko da ovo povišenje temperature bitno ne smanjuje sposobnost dubokog izvlačenja, što je opet u vezi sa brzinom izvlačenja. Da bi ovo postigli potrebno je smanjiti trenje između radnih površina lima i alata tj. osigurati postojanje nosivog sloja maziva po kojem će se gibati radne površine.

Obzirom na količinu maziva koje se nalazi između radnih površina alata i lima razlikujemo tri vrste trenja: suho, polusuho i mokro trenje.



Slika 5.

Vrste trenja

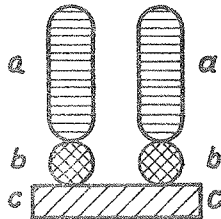
Suho trenje pojavljuje se pri metalnom dodiru dviju ploha tj. kada se između njih ne nalazi film maziva. Loša vezivnost maziva za metalne plohe, preveliki dodirni pritisak između površina kao i preniski viskozitet mogu uzrokovati odsustvo maziva između radnih površina.

Polusuho trenje je najčešći slučaj trenja pri procesima dubokog izvlačenja. Javlja se radi mjestimično prevelikog dodirnog pritiska, koji nastaje na vrhovima neravne površine, gdje dolazi do trganja filma maziva. Ovaj proces može nastati i radi premale brzine klizanja, koja nije dovoljno velika da bi previskozno mazivo mogla povući između tavnih ploha.

Kod mokrog trenja klizne plohe su odvojene jedna od druge

dovoljno debelim slojem filma maziva, pri čemu se jedna ploha giba brzinom klizanja koja osigurava povlačenje dovoljne količine maziva.

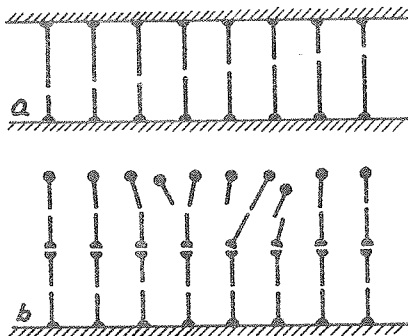
Djelovanje maziva moguće je najlakše objasniti na primjeru masne kiseline koja je osnovna sastojka mnogih maziva. Jedna masna kiselina sastoji se od jednog alifatskog lanca različite dužine i jedne karboksilne grupe. Pojednostavljen izgled jedne molekule masne kiseline prikazan je na slici 6.



Slika 6.

- a. alifatski lanac
- b. karboksilna grupa
- c. materijal

Karboksilna grupa je hidrofilna dok alifatski ostatak ima hidrofobni karakter. Molekula masne kiseline čvrsto se veže sa hidrofilnim dijelom uz metalnu plohu dok je hidrofobni ostatak vezan za hidrofilni dio. Na taj način molekule masne kiseline čine jedan molekularni sloj na obim plohama metala (limu i alatu) što je vidljivo na slici 7 a.



Slika 7.

- Molekularne adhezione sile na metalnim površinama.

Metodne plohe su odjeljene "četkastim" slojem molekula masne kiseline koje se međusobno mogu pomicati a istovremeno sprečavaju metalni kontakt ploha. U praksi "četkasti" sloj molekula nije jednoredan, nego je to sloj više redova molekula masne kiseline, kao na slici 7 b.

Mnoga maziva ne sadrže samo masne kiseline nego i mnoge druge dodatke radi poboljšanja kvalitete maziva. Kao najvažniji dodaci primjenjuju se razni pigmenti kojima je jedan od zadataka i zaglađivanje neravne metalne površine radi smanjenja trenja.

Čišćenje izradaka

Za daljnju površinsku obradu izvučenih limenih izradaka (emajliranje, galvaniziranje, lakiranje i ostalo) veoma je važno obezbjediti potpuno čiste površine. Prilikom čišćenja moraju se odstraniti sa površine lima, ne samo mazivo sa svim svojim dodacima (pigmenti i ostali sastojci), nego i prašina koja se je natsložila prilikom skladištenja, kao i metalne strugotina koja je ostala na limu prilikom obrade.

Obzirom na vrstu daljnje obrade vučenih limenih izradaka postoji niz načina čišćenja koji se međusobno razlikuju obzirom na zahtjev stepena čistoće površine.

Postupak emajliranja i galvaniziranja zahtjeva potpuno odmašćenu - čistu površinu, dok za lakiranje, vrelo pocinčavanje i kositrenje nije potrebno imati isto tako čistu površinu.

Načini čišćenja - odmašćivanja limenih izradaka mogu se razvrstati u slijedeće grupe:

- čišćenje u kupkama trihloretilena ili drugih organskih otapala;
- pranje u vrućim kupkama (90 - 100 °C) industrijskih deterdženata;
- pranje u razbleženim toplim kiselinskim kupkama;
- žarenje limenih izradaka u mufolnim pećima (500 - 600°C) i uz dodatak salmijaka, a nakon ohlađenja pranje u kiselinskim kupkama;
- mehaničko čišćenje u rotacionim bubnjevima ili u pjeskarama pomoću kvarcnog pjeska, čelične sačme ili kombinirano;
- slaganje nekih od nabrojanih postupaka u jedan kontinuirani proces.

Čiste odmašćene površine veoma su sklone koroziji, zato se one prevuku jednom neutralno-zaštitnom prevlskom prije nego što se na njima izvrši finalna obrada površine (emajliranje). Kvalitetu čistoće odmašćene površine kontrolira se pomoću vode tako da se ona prolije po odmašćenoj površini. Ukoliko voda kvasi tj. razlijeva se po odmašćenoj plohi onda je ona dobra, a ako se voda odvaja od površine i skuplja u kapljice onda odmašćivanje treba ponoviti, promijeniti način odmašćivanja ili na kraju promijeniti mazivo za duboko izvlačenje.

Loše očišćene površine uzrokuju pri finalnoj obradi niz grešaka koje se uglavnom sastoje od lošeg izgleda površine kao i otpadanja na kraju nanešenog sloja (emajla, galvanskih prevlaka i dr.).

Literatura

- [1] Obering H. Müller, Aus der Praxis der Schmiermittelanwendung in der spanlosen Formgebung; Blechverarbeitung e.V. 21/22 (1964)
- [2] A. Fucinari and H.A. Montgomery, Properties and control of drawing compounds for deep drawing; The International Enamelist 12/1 (1962)
- [3] Siegfried Kulisch, Schmierstoffe für die Kaltformung; T.Z. f.prakt.Metallbearb. 60/8 (1966)
- [4] Dr. Ing. H. Munderloh, Auswahl der Schmiermittel für spanlose Formung im Hinblick auf Arbeitsrationalisierung; Blechverarbeitung 18 (1966)
- [5] Dr. Ing. I. Grosch, Einfluss der Werkstoff eigenschaften über ruhiger Bleche auf das Tiefziehverhalten in der Fertigung, Mitt. DFBO 6 (1968)
- [6] Dipl. Ing. R. Dalheimer, Untersuchung verschiedener Einflüsse auf die Tiefziehbarkeit von Blechen; Industrie-Anzeiger 48 (1969)
- [7] Richard F. Roy, Dry drawing lubricants for deep drawing operations; The International Enamelist 1/2 (1951)
- [8] B.L. Smalley, Improved drawing and cleaning with dry film drawing compound; The Enamelist 26/5 (1950)

- [9] Eugene D. Viers, Lubrication in Drawing part.I; The International Enamelist 9/1 (1959)
- [10] Eugene D. Viers, Lubrication in Drawing, part.II; The International Enamelist 9/2 (1959)
- [11] Chem.Ing. Günter K.Schwarz, Schmiermittel für die Kaltumformung, Bänder Bleche Rohre 10/6 (1969)
- [12] Prof.Dr.Ing.W.Pankin und Dr.Ing. Grosch, Der Einfluss des Werkstoffes auf den Bodenreisser beim Tiefziehen unberuhigter Bleche; Bänder Bleche Rohre 10/6 (1969)
- [13] George Oest & Cie - prospekti i uzorci maziva (1969).

D. R u d e l i ć

PROBLEM OF LUBRICANTS AND LUBRICATION AT DEEP DRAWING OPERATIONS

Lubricants for deep drawing must not only be viewed purely with the forming purpose in mind. On the contrary, when selecting such media, a multiplicity of factors require consideration so as to eliminate trouble sources and breakdowns in production. Following upon some introductory notes concerning function and tasks of such lubricants examples are quoted showing the points of view from which lubricants for deep drawing should be selected.

K. K u z m a n ^{x)}

O NEKATERIH PROBLEMIH PRI OSVAJANJU TEHNOLOGIJE KOVAŠKEGA VALJANJA ^{xx)}

1. Uvod

Naša domača kovaška industrija se nahaja na odločilni razvojni prelomnici. Zateve po kvalitetnih in cenenih izkovkih, po drugi strani pa vedno večje količine jo silijo, da temeljito prenovi svoje tehnologijo.

Pri vnaprejšnjem oblikovanju podolgovatih izkovkov, kot so to razne ojnice, gredi, avtomehansko orodje, ipd, se da s pridom uporabljati kovaško valjanje. Širše osnovne informacije o tem je mogoče najti v ne preveč obilni literaturi, zbrane in pretehtane pa so tudi v [1].

Glede na število strojev za kovaško valjanje, ki že obstajajo v naših kovačnicah, je Jugoslavija daleč pod evropskim povprečjem. Glavni razlog za to ni ekonomske, pač pa čisto tehnične narave. Tehnologi v kovačnicah sicer poznajo prednosti kovaškega valjanja, nimajo pa na razpolago navodil, po katerih bi lahko hitro in zanesljivo določali tehnologije valjanja. Kovaško valjanje je namreč tak postopek, kjer improviziranje in teoretično neosnovano preiskovanje skoraj nikoli ne privedeta do cilja.

Zaradi vedno večje pomembnosti valjanja v kovaški tehnologiji se pripravlja na Inštitutu za strojništvo v Ljubljani naloga, ki bo skušala ob pomoči tovarne EUMUCO v ZR Nemčiji ter Kovaške industrije Zreče kompleksno pojasniti proces valjanja in dati tehničnemu kadru v praksi ustrezne napotke. Pričujoče delo je rezultat uvodnih naporov in je z njim ob pomoči priporočene literature že mogoče reševati enostavnejše primere kovaškega valjanja. Kot kažejo sedanje ugotovitve, bo potrebno še veliko raziskovalnega dela, prej ko bo mogoče ta način priprave obdelovancev za kasnejše kovanje optimalno obvladati in izkoriščati.

Uporabljene oznache

A_{max}, A_{min} - največji oziroma najmanjši prečni prerez valjanca [mm²]

^{x)} Kari Kuzman, dipl.ing., asistent na Fakulteti za strojništvo v Ljubljani, Aškerčeva 16

^{xx)} Poročilo Inštituta za strojništvo v Ljubljani

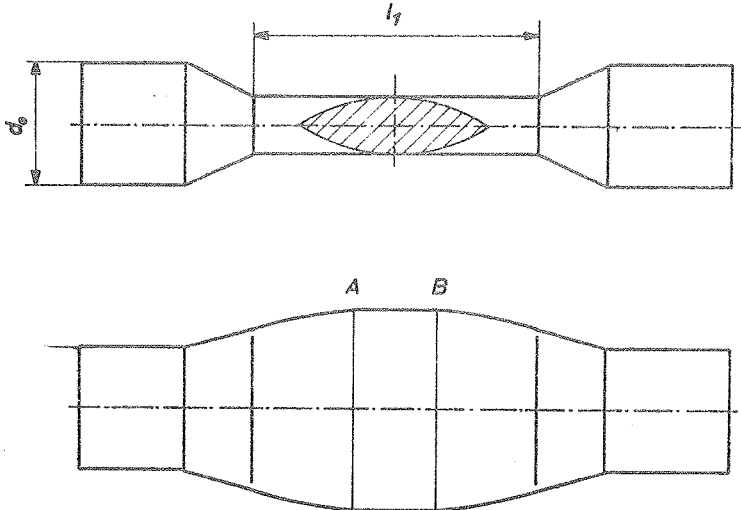
- λ_{cel} - koeficient celotnega odvzema
- λ_i - koeficient odvzema za i - ti vtik
- n - število vtikov
- l_1 - dolžina dela valjanca s konstantnim prečnim prerezom [mm]
- l_d - dolžina deformacijskega področja [mm]
- z - razmerje esi ovalne ali rombišne gravure ($z \gg 1$)
- D_o - medosna razdalja kovaških valjev [mm]
- ξ - razmerje med širino valjanca in širino pripadajoče gravure, oz. stopnja izpolnitve gravure

2. Število vtikov, prečni prerezi valjancev

S kovaškim valjanjem želimo zmanjšati izhodni prečni prerez surove palice od A_{max} na A_{min} . Razmerje med obema ploščinama je koeficient celotnega odvzema, ki je enak produktu koeficientov odvzema za posamezne vtike.

$$\frac{A_{max}}{A_{min}} = \lambda_{cel} = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdots \lambda_i \cdots \lambda_n$$

Koeficienti odvzema so odvisni od premera valjev, dimenzij vztopnega in izstopnega prereza, stopnje izpolnitve gravure, trenja, temperature valjanja in še nekaterih manjših vplivov.

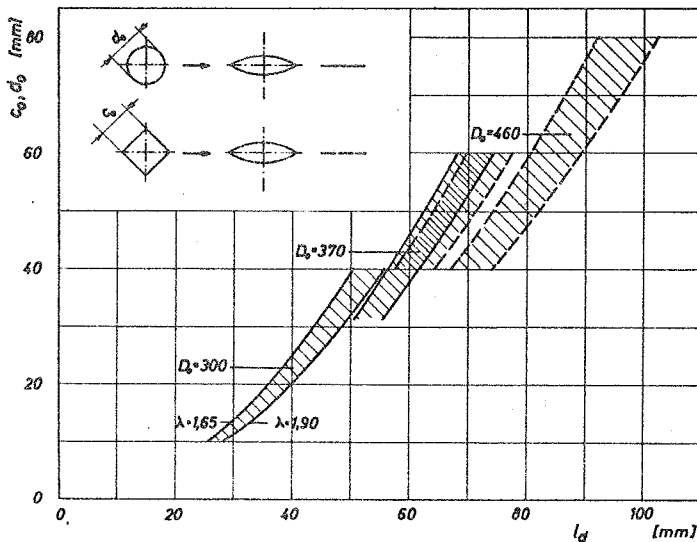


Slika 1. Izgled valjanca

OD.11.2

Začetni prerezi valjancev so običajno kvadratni ali okrogli. Načinov, kako priti do željenega minimalnega preseka, je več. Kjer se zaradi kasnejšega kovanja ne zahteva drugače, se lahko uporabi sistem krog (ali kvadrat) - oval - kvadrat - ... - oval - kvadrat. Če želimo imeti kot zadnji prerez krog, mora biti predzadnji namesto kvadrata tudi krog.

Predno se začne določevati koeficiente odvzema, je treba ugotoviti, kako dolg je odsek, ki ga želimo zvaljati. Na sliki 1 je to dolžina l_1 . Čestokrat se namreč zgodi, predvsem pri prvih vtikih, da valjanec sploh ne doseže predvidene širine, ker je področje l_1 prekratko. To se pojavi takrat, če je dolžina deformacijskega področja večja od l_1 . Zato je potrebno najprej ugotoviti prav to dolžino.



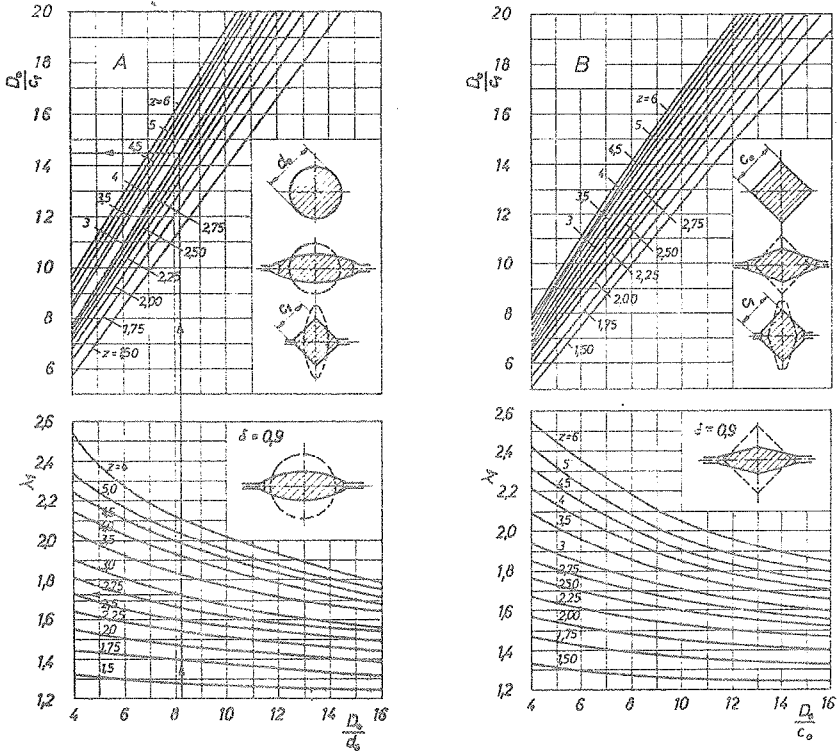
Slika 2. Dolžina deformacijskega področja pri valjanju s koeficientom odvzema $\lambda = 1,65$ (leva črta) in $\lambda = 1,90$ (desna črta).

Izračun deformacijskega področja je natančno razložen naprimer v [2]. Ker pa je za prakso prezamuden, se lahko uporabi slika 2, ki je izdelana za najbolj običajne primere valjanja. Premeri valjev in največje dopustne dimenzije surovcev pa so povzeti iz podatkov najbolj poznanih evropskih strojev za kovaško valjanje.

Z znano dolžino deformacijskega področja nato tovrstno razmerje l_1/l_d , ki postane kriterij za izbiro načina izračunavanja prečnih prerezov. Na podlagi vrednotenja eksperimentov in že izvedenih orodij je avtor med specializacije v tovarni EUMUCO prišel do zaključka, da je najboljše rezultate moč dobiti z uporabo dveh metod.

a) $l_1/l_d \gg 2$.

V tem primeru je za izračun para gravur v sistemu krog - oval - kvadrat in kvadrat - romb - kvadrat umestna uporaba diagramov po Smirnovu [3], ki so podani v sliki 3.



Slika 3. Dimenzioniranje prečnih prerezov valjancev za sisteme krog - oval- kvadrat (A) in kvadrat - romb - kvadrat (B) po Smirnovu [3].

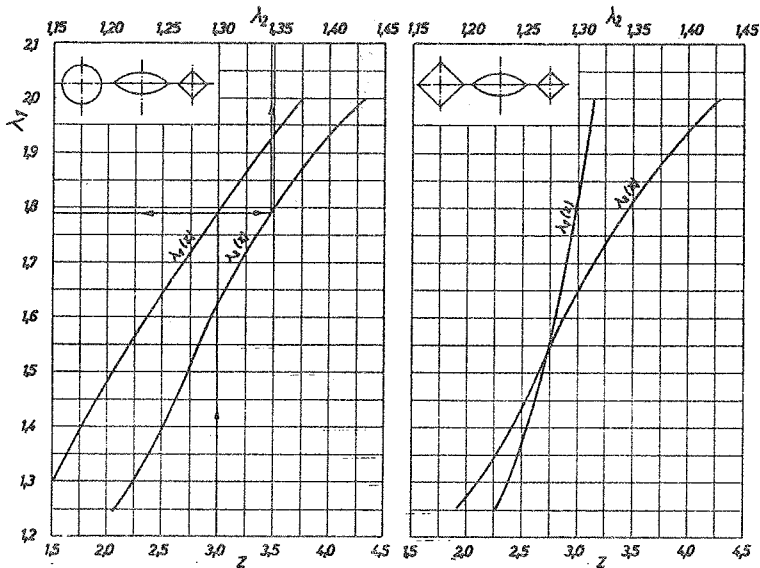
S pomočje znanih dimenzij surovca (d_0 ali c_0) ter premerom valjev D_0 dobimo ob izbranem razmerju osi ovala oz. romba koeficient odvzema za prvi vtik. Naslednji diagram daje razmerje D_0/c_1 od koder izračunamo stranico kvadrata po drugem vtiku.

b) $l_1/l_d \ll 2$.

Primer takega valjanja je veliko bolj zapleten. V deformacijskem področju se sedaj istočasno nabaja več različnih odsekov valjanca. Teoretična analiza tečenja mater-

iala za take primere je za enkrat še zelo komplicirana in za operativno neuporabna.

V kovaštvu pa so taki kratki valjanci najbolj pogosti. Zato so pri firmi EUMUCO dolga leta iskali primerno rešitev. Njihovi rezultati so grafično interpretirani v sliki 4. Vpliv premera orodja je zaradi dejstva, da kratki valjanec le redkokdaj doseže predvideno širino (v sliki 1 odsek med A-B), zanemarljiv, pa so koeficienti odzveza odvisni le od ploskosti ovalov.



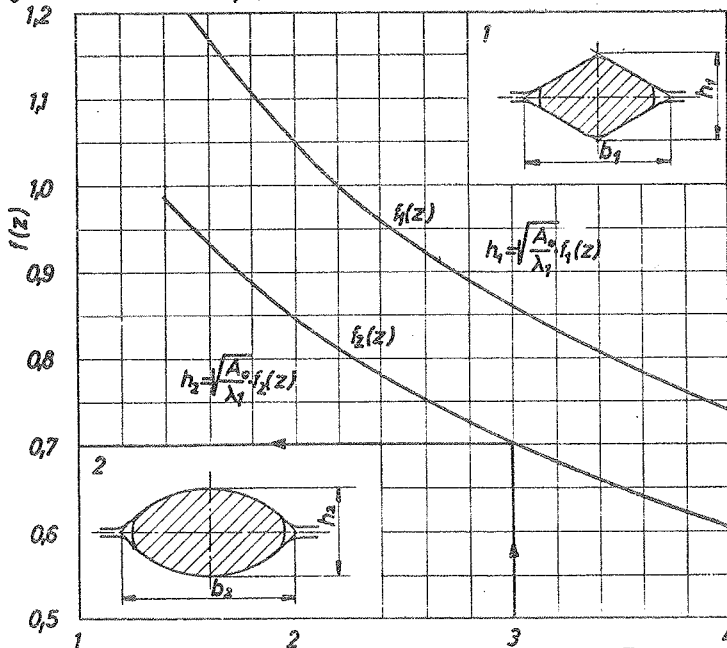
Slika 4. Dimenzioniranje prečnih prerezov pri valjanju kratkih valjancev. (EUMUCO A. G. Leverkusen)

Pri obeh načinih deločimo odzveza za prvi in drugi vtik glede na izbrano razmerje osi ovala oziroma romba. Čim večje je to razmerje, tem večje so spremembe plosčin. Toda plosčati ovali se v naslednjih gravurah nestabilni in se hitreje hladijo, pa je vedno treba poiskati kompromisne vrednosti. Natančnejša navodila o tem je mogoče najti v [1] ali [2].

Za prvi vtik se iz slik 3 in 4 dobi le razmerje osi ter λ_1 . To je sicer dovolj za izračun širine in višine ovala, zaradi enostavnosti pa je prikladna uporaba diagrama slike 5. Iz njega dobimo višino gravure, širina pa je $b = z.h$.

Uporabo diagramov najlepše pokaže konkretni primer. Vzemimo, da na strejra

z $D_0 = 370$ mm želimo do kvadratnega preseka zvaljati okroglo palico premera $\phi 45$ mm z razmerjem osi ovala $z = 3,0$.



Slika 5. Višini ovala in romba v odvisnosti od razmerja osi z .

a) izračun po Smirnovu [3] :

$$D_0/d_0 = 370/45 = 8,23 \text{ kar da } \lambda_1 = 1,72.$$

Iz naslednjega diagrama dobimo

$$D_0/c_1 = 14,5 \text{ in stranica kvadrata je}$$

$$c_1 = 370/14,5 = 25,5 \text{ mm.}$$

Izmere ovala so:

$$h_2 = \sqrt{A_0/\lambda_1} \cdot f_2(z) = \sqrt{1590,4/1,72} \cdot 0,7 = 21,3 \text{ mm,}$$

$$b_2 = h_2 \cdot z = 63,9 \text{ mm.}$$

b) izračun za kratke valjance:

$$\text{Iz diagrama dobimo } \lambda_1 = 1,79, \lambda_2 = 1,348,$$

$$h_2 = \sqrt{A_0/\lambda_1} \cdot f_2(z) = \sqrt{1590,4/1,79} \cdot 0,7 = 20,9 \text{ mm,}$$

$$b_2 = h_2 \cdot z = 62,6.$$

Stranica kvadrata po drugem vtiku je:

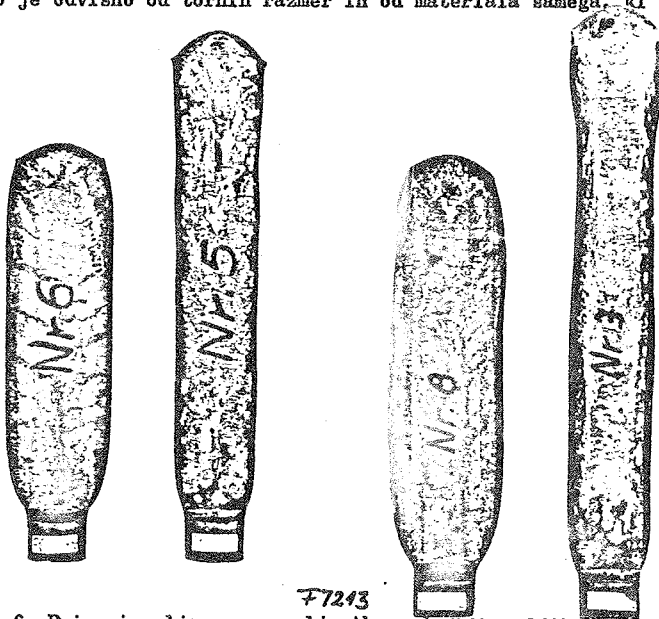
$$c_1 = \sqrt{A_0/\lambda_1 \cdot \lambda_2} = \sqrt{1590,4/1,79 \cdot 1,348} = 25,7 \text{ mm.}$$

3. Kovaško valjanje z gladkimi valji

Poleg valjanja v kalibrih, kjer so prečni prerezi valjancev ovalni, rombični, kvadratni, ... je možno tudi valjati z gladkimi valji. Njihova izdelava je občutno cenjša, prečni prerezi pa so seveda le pravokotniki.

Dimenzioniranje orodij in določevanje koeficientov odvzema je teoretično že pojasnjeno. Tako podaja Smirnov [3] navodila za izračun valjanja kvadrata v pravokotnik, Tarnovskij in drugi [4] pa izračun valjanja kroga v zaobljen pravokotnik.

Tudi pri EUMUCO se ukvarjajo s tem problemom. Do rešitve hočejo priti na podlagi sistematičnih preizkusov. Njihovo delo še ni končano, daje pa že zelo zanimive ugotovitve. Dokazali so, da je valjanje v gladkih valjih zelo občutljivo, kajti močno je odvisno od tornih razmer in od materiala samega, ki se valja.



Slika 6. Prvi valjancev, zvaljanih v gladkih valjih z visine $n_0 = 45$ mm na višino $h_1 = 12$ mm. (EUMUCO A.G. Leverkusen).

Če primerjamo rezultate preizkusov, opravljenih pri EUMUCO, s teoretičnimi izračuni po Smirnovu oziroma Tarnovskem, je zaključek sledeč:

Material	profil valjanca	avtor izračuna	povprečno odstopanje v %	Številka preizkuš.
Ck 45	∅ 45	Tarnovskij [4]	- 3	5
Ck 45	∩ 45	Smirnov [3]	+ 6	7
X 25 Cr Mo 17	∅ 45	Tarnovskij [4]	+ 2	6
X 25 Cr Mo 17	∩ 45	Smirnov [3]	- 6	8

Temperatura valjanja je bila 1150° C, vsi preizkušanci so bili zvaljani z okujinami, torej neočiščeni. Slika 6 predstavlja po en primer valjanca iz vsake skupine.

Izračun po Tarnovskem odstopa od dejanskih vrednosti le za največ 3 %. Toda tudi to je že preveč in izračun ni primeren za vnaprejšnje določanje valjancev, ki bi se potem še utopno kovali. Za enkrat se da s pridom uporabiti le tam, kjer bi se z gladkim valjanjem izdelki le sploščili na določeno višino, nato pa obrezali.

Neka splošno uporabna rešitev vzdolžnega in prečnega tečenja materiala med gladkimi valji terej še ni poznana. Uvajanje tega sicer najcenejšega in najenostavnejšega načina kovaškega valjanja v kovaško tehnologijo je zaenkrat možno le na podlagi eksperimentalnih rešitev konkretnih primerov.

4. Vzdolžni profili valjanih orodij

Vzdolžne dimenzije gravur na kovaških valjih zaradi pojava prehitevanja niso enake odgovorjajočim dolžinam valjancev. Kakšna je povezava med dolžino valjanca in središčnim kotom njemu pripadajočega orodja je pojasnjeno v [1].

Na podlagi meritev številnih izvedenih orodij je avtor ugotovil, da so izračuni vzdolžnih profilov za navadno kovaško valjanje dovolj natančni, če za posamezne tipične odseke valjanca (take s pojemajočim, naraščajočim ali konstantnim stiskanjem) po [2] vzamemo povprečne vrednosti koeficienta prehitevanja, ki v celoti znaša 1 - 12 %. Napake, ki se pojavijo so za prve vtike procentualno večje kot za zadnje, toda, kjer se gravure v začetku kratke, le-te nikoli ne presežejo 1 - 2 kotni stopinji.

V primerih, ko se vzdolžni profil valjanca hitro manja, lahko pride do spodrsavanja valjev. Kjer je obdelovanec v tem trenutku že vstavljen med valja, mora biti vprijemni kot manjši od dvakratne vrednosti koeficienta trenja. Po [3] je

$$\mu \geq \arcsin \sqrt{\frac{h}{2(D_0 - h_1)}} .$$

5. Zaključki

Nemogoče je s tako kratkim pregledom razjasniti vse probleme te porajajoče se kovaške tehnologije. Poleg obravnavanih metod za določevanje prečnih prerezov valjancev obstaja v svetu še vrsta drugih, ki imajo tudi svoje prednosti. Toda navedene metode so dokaj preproste in primerne za širši krog tehnologov. Odstopanja teoretičnih dimenzij od dejanskih se tako majhna, da se jih da ob preizkušanju orodja na kraju samem popraviti z navarjanjem oziroma odrezavanjem.

Optimalne rešitve kovaškega valjanja pa seveda zahtevajo veliko več strokovnega dela. Treba je poznati ravnotežne pogoje pri valjanju, dopustne in dejanske obremenitve delovnega agregata, preoblikovalne lastnosti posameznih materialov in podobno. Za sedaj se izplačajo le za množinsko proizvodnjo, kjer pri enem valjanecu vsak, še tako majhen prihranek veliko pomeni.

6. Literatura

- [1] K. Kuzman, Osnovne tehnološke lastnosti kovaškega valjanja, Strojniški vestnik, 4/5 (1969)
- [2] I.J. Tarnovskij, V.K. Smirnov, S. L.Kocar, Predolnaja prokatka profilej peregmenogo sečenija, Metallurgizdat, Sverdlovsk (1962)
- [3] V.K. Smirnov, Valcovka zagotovok pod šampovki, Mašinostroenie, Moskva (1964)
- [4] V.K. Smirnov, K.I. Idtvinov, I.J. Tarnovskij, Nomogrammi dlja opredelenija vitjažki, momenta in davlenija pri valcovke krugloj zagotovki v gladkih valkah, Kuzenečno-šampovočnoe proizvodstvo, 7 (1969)

Summary:

The pre-forming of forging blanks for shafts, connecting rods, ... can be done very successfully by the usage of forging rolls. In this article some suggestions are given on the determination of roll dies.

In the case $l_0/l_1 \gg 2$ (fig. 1) the method of Russian authors (fig. 3,4) is preferred. In all other examples it is better to use the method developed by EUMUCO (W. Germany), which is expressed in fig. 5.

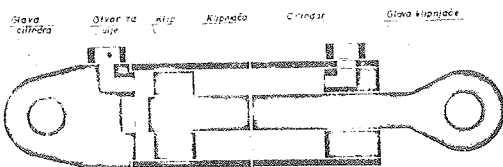
By the flat rolling it was found, that the exact theoretical determination of reductions for the certain pass will not be possible, as long as all characteristics of material to be rolled are not known.

Ž. Čajetinac*, S. Marković**

NEKI TEHNOEKONOMSKI EFEKTI RAZVOJA TEHNOLOGIJE
NA PROIZVODNJI HIDRAULIČKIH RADNIH CILINDARA***

1. Kratak prikaz hidrauličkog radnog cilindra

Hidraulički radni cilindar je izvršni organ hidrauličkog kola i ima zadatak da proizvede translatorno kretanje ograničene dužine puta u zavisnosti od dužine cilindra, odnosno veličine izvlačenja klipnjače.



Sl.1. Šema hidrauličkog radnog cilindra.

Na sl.1. dat je šematski prikaz hidrauličkog radnog cilindra. Ulje pod pritiskom ulazi u cilindar i, preko klipa, gura klipnjaču koja dalje potiskuje teret.

2. Kratak prikaz postojećeg načina obrade delova hidrauličkog radnog cilindra.

Prikazaćemo ukratko samo način izrade sledećih delova: cilindra(cevi), klipa, vodjice, glave klipnjače i glave cilindra.

2.1. Obrada cilindra(cevi)

Nećemo se zadržavati na prikazu svih operacija obrade cilindra, već samo na onim koje se poboljšavaju ili eliminišu:

- dubinsko proširivanje(struganje) na grubo 32 min/kom
- dubinsko proširivanje na meru za honovanje 38 "

* Života Čajetinac, dipl.ing.maš. upravnik tehnologije

** Strahinja Marković, VKV radnik, aps. VŠOR, samostalni tehnolog

*** Industrija hidraulike i pneumatike " Prva Petoletka "
- Trstenik

- honovanje	91 min/kom
- hromiranje	86,5 "
- honovanje	12,5 "
<hr/>	
UKUPNO:	260 "
=====	

Dubinsko struganje se vrši glavom koja je nasadena na dugačkom nosaču. Pod dejstvom sila rezanja nosač se krivi, pa zato glava mora da ima sopstveno vođenje. Između glave i zidova cilindra postoji zazor, što dovodi do savijanja nosača i vibracija glave. Osim toga postoji i trenje između glave i obrađene površine, što kvari kvalitet površine i zahteva veći dodatak za honovanje. Ako se tome doda i nemogućnost ostvarivanja uskih tolerancija ovakvim načinom dubinskog struganja, dodatak za honovanje i vreme honovanja su veliki.

2.2. Klip (sl. 8.)

Radi obezbeđenja odgovarajućeg kliznog spoja klip ima bronzani prsten. Izrada klipa traje ukupno 56 min/kom., a cena upotrebijene bronzne iznosi 134.- din/kom.

2.3. Vodica (sl. 9.)

Izrada vodice traje 68 min/kom, a vrednost utrošene bronzne čaure iznosi 25.- din/kom.

2.4. Glava cilindra i glava klipnjače

Skice ovih delova ne prikazujemo, jer se poboljšanje tehnologije odnosi samo na obradu otvora i zamenu bronzane čaure u tom otvoru istim postupkom kao kod vodice. Vrednost utrošene bronzne za obe glave iznosi 42.- DIN.

3. Novi postupci obrade

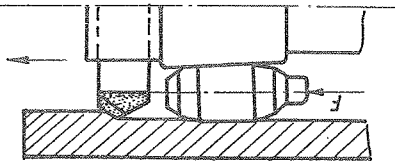
U cilju pojednostavljenja i skraćivanja proizvodnih ciklusa i smanjenja troškova proizvodnje u "Petoletki" se čine veliki napori u unapređenju tehnologije proizvodnje. Često ova unapređenja dovode do pojednostavljenja konstrukcije proizvoda, zamene skupih materijala, poboljšanja kvaliteta i veka trajanja proizvoda,

što će se u daljem izlaganju prikazati.

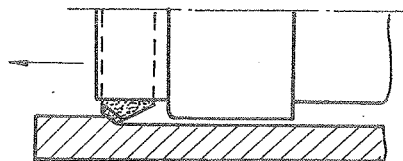
3.1. Cilindar (cev)

Obrada otvora velikih dužina oduvek je predstavljala poseban problem. Radi dobijanja tačne mere, male hrapavosti i dobre površinske tvrdoće potrebno je izvršiti niz operacija. Ulaganja u opremu za ovakvu obradu su velika. Osim toga, hidraulički cilindar se ne može smatrati kao prosta cev, jer ima navarene priključke, obujmice i druge elemente. To još uvećava problem njegove izrade. Ako se traženi kvalitet obezbeđuje honovanjem, onda prethodnim operacijama (dubinskim struganjem) treba obezbediti mali dodatak za honovanje, kako bi vreme honovanja bilo što kraće. Međutim, to je nemoguće postići glavama za dubinsko struganje, koje imaju nešto manji prečnik od obradenog otvora, radi provlačenja kroz otvor. Osim toga brzo i nejednako trošenje brusnih sredstava pri honovanju, ugrožava kvalitet i produžava vreme obrade.

U "Petoletki" je konstruisana glava* za istovremeno završno struganje i glačanje valjanjem (slika 2). Valjanjem se menja samo mikrogeometrija površine isključivo u polju zadate tolerancije. Suština novog rešenja završne obrade dugačkih otvora sastoji se u stabilnom vođenju glave kroz cilindar. Stabilno vođenje se ostvaruje na taj način što opruge stalno potiskuju određenom silom konične valjčice, čime se eliminiše zazor između glave i zidova cilindra, a pod jačim dejstvom opruga valjčice se utiskuju u zidove cilindra. Tako umesto vođenja sa zazorom i klizanjem (kod glava sa starim rešenjem, sl. 3) nastaje vođenje sa preklopom i kotrljanjem (sl. 4).



Sl.3. Vođenje glave sa zazorom



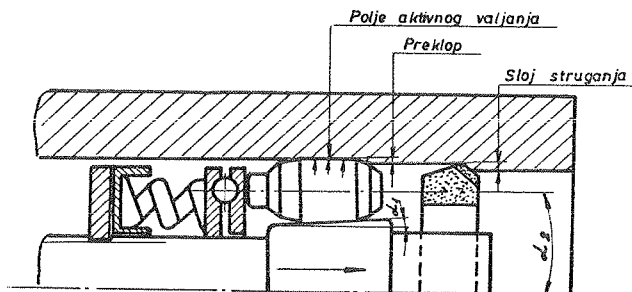
Sl.4. Vođenje glave sa preklompom

* Ova glava je zaštićena u Saveznom zavodu za patente u Beogradu pod br. 805/69. Autor je Marković Strahinja.

Ovako stabilno vođenje omogućava dobijanje tačnih mera i male hrapavosti površine. Osim toga ne dolazi do trenja između glave i obrađene površine, što je veoma značajno za dobijanje konačnog kvaliteta površine.

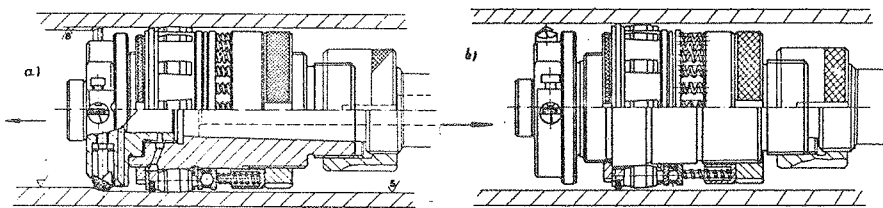
Glavni delovi glave za istovremeno završno struganje i valjanje su sledeći: telo, nosač reznog alata, valjčići i sistem za potiskivanje valjčića. Po koničnom delu tela glave kotrljaju se konični valjčići. Na prednjem delu tela nalazi se ekscentrično postavljen otvor u koji se smešta nosač reznog alata. Otvor je postavljen ekscentrično da bi se, okretanjem nosača za 90° , rezna ivica noža udaljila od obrađene površine i tako izbegla pojava uzdužnog risa pri povratnom hodu glave (vidi sl. 6).

Valjčići imaju veliki uticaj na hrapavost valjane površine. U odnosu na radni predmet oni imaju obrtno i pravolinijsko (aksijalno) kretanje. Prednji (ulazni) deo valjčića ima presudan uticaj na pravilno tečenje materijala pri deformisanju i na silu valjanja u aksijalnom pravcu. Aktivna dužina valjčića je takođe značajna, jer ako je velika valjčići više puta prolaze preko jednog istog dela obrađene površine, što može da dovede do ljušćenja površine, a ako je mala neće dovoljno uglačati površinu. Valjčići većih prečnika bolje glačaju površinu, ali je potrebna veća sila potiskivanja valjčića radi obezbeđenja određenog specifičnog pritiska za valjanje, što povećava zagrevanje i deformaciju cilindra, pogotovo kod cilindra sa tankim zidovima. Zadnji (izlazni) deo valjčića ima veliki uticaj na pojavu valovitosti valjane površine. Pri valjanju javljaju se, pored plastičnih, i elastične deformacije koje samo negativno utiču na kvalitet obrađene površine, jer se elastično deformisani sloj naglo vraća i stvara neravnine, kad se oslobodi sile koja ga je pritiskala (u ovom slučaju - valjčića). Da bi se neravnine izbegle zadnji deo valjčića ima blagi konus koji usporava vraćanje elastično deformisanog sloja. Sistem za aksijalno potiskivanje valjčića sastoji se iz kaveza koji drži valjčiće u određenom položaju, aksijalnog ležišta, opruge i navrtke kojom se reguliše ugib opruga, odnosno potisna sila. Potisna sila ne utiče na meru koju daje rezni alat, već na preklop (sl. 5) i hrapavost obrađene površine.



Sl. 5. Šema rada glave za završno struganje i valjanje

Kako bi zbog postojanja preklopa u povratnom hodu valjci pokrivali površinu, oni se potisnu na manji prečnik koničnog dela glave (sl. 6.).



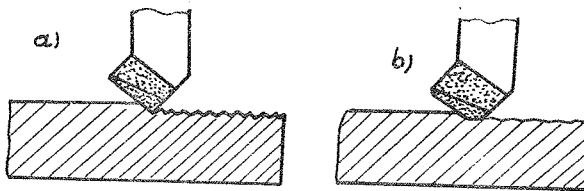
Sl. 6. Položaj glave: a) pri radnom i b) pri povratnom hodu

Kod prikazane konstrukcije glave (sl. 2) mera preko valjčića prilagodava se prema veličini otvora koju daje rezni alat, jer opruge, preko aksijalnog ležišta, deluju na valjčiće, guraju ih ka većem prečniku koničnog dela tela glave i priljubljuju ih, odnosno, utiskuju u zidove cilindra. Na taj način se uvek eliminiše zazor između glave i cilindra, bez obzira na veličinu dozvoljenog tolerancijskog polja i ostvarenje mera na gornjoj ili donjoj granici tolerancijskog polja.

Kod vođenja glave prikazanog na sl. 3. razlike u ostvarenim merama reznim alatom neminovno utiču na zazor, bez obzira da li su razlike u dozvoljenim granicama, pa se može dogoditi da se kod suviše malih zazora pojavi veliko trenje, zagrevanje i zaribavanje, a kod većih zazora vibracije glave i reznog alata, loša hrapavost i velika odstupanja u ostvarenim merama. Pri

obradi dugačkih otvora dolazi do smanjenja prečnika obradjenog otvora prema izlaznoj strani zbog istrošenja reznog alata. Kod novog rešenja ni ova, ni druge promene prečnika ne mogu da izvedu glavu iz centra otvora, ni rezni alat iz svoga tačnog položaja, jer se valjci mogu kretati po konusu i prilagodjavati prečniku otvora. Kod većih preklopa otpor valjanja savladava silu koju daju opruge i potiskuje valjke nazad (na niži prečnik konusa) i obrnuto. Automatsko prilagodjavanje prečnika vodećeg dela glave (preko valjaka) otporu valjanja povoljno utiče i na valjanje cilindara nejednakih debljina zidova. Isto tako ovo povoljno utiče i na očuvanje glave. Ako bi se, na pr. polomio rezni alat, glava bi prošla kroz cilindar, jer je dodatak za završno struganje i valjanje manji od mogućnosti smanjenja prečnika glave usled povlačenja vijačica nazad.

Kao rezni alat upotrebljava se strugarski nož sa pločicom od tvrdog metala. Da se ne bi nož često menjao, na nosač noža se postavljaju dva noža: jedan koji ima geometriju koja omogućava što manje sile rezanja iako skida veći deo dodatka za obradu (0,5-1 mm) i drugi koji ima veliki radijus zaobljenja vrha i hvata malu dubinu rezanja (0,05 mm). Ovaj drugi nož praktično služi za održavanje mere neophodne za valjanje i obezbedjenje male hrapavosti strugane površine. Zaobljeni vrh (sl.7) daje površinu bez oštih špicava, pa je proces valjanja pouzdaniji i kvalitet površine gladiji.



Sl.7. Oblik noževa: a) prednjeg i b) zadnjeg

Radi efikasnije promene reznog alata svaka glava ima dva nosača alata, tako da dok mašina radi, radnik podešava alat.

Dalje unapredjenje u završnoj obradi cilindara predstavlja primena reznog alata sa keramičkim pločicama. Ovo je moguće

jer je površina kontinualna, male su dubine završenog struganja, a valjanje može da prihvati veliki broj obrtaja. Inače, brzina rezanja se uzima kao za normalne uslove struganja, samo što se pomak, usled rada dva noža, može povećati na 0,3-0,5 mm/obr. Hladjenje i odvodjenje strugotine se vrši uljem koje pod pritiskom dolazi kroz nosač glave. Mlaz mu se usmerava na oštrice noževa.

Opisanim postupkom može se sasvim normalno postići hrapavost $Ra=0,05 \mu m$, a valjana površina otvrdnjava za 20-30%.

Primenom novog postupka umesto operacija prikazanih u tač.

2.1. ostale su operacije:

- dubinsko proširivanje na grubo	32 min/kom
- završno struganje i glačanje valjanjem	31 min/kom

UKUPNO: 63 min/kom.

=====

Honovanje je zamenjeno valjanjem, a hromiranje je izbačeno jer je valjanjem površina već otvrdnuta. Na taj način je smanjeno vreme izrade za 76%, a produktivnost porasla za preko 4 puta. Po starom postupku cena koštanja nabrojanih operacija iznosila je 199,20.-DIN, a po novom 47,25 DIN.

Pored navedenih efekata može se istaći još i ovo: proces obrade je jednostavniji, rešeno je usko grlo proizvodnje, troškovi izrade i održavanje alata su smanjeni, proizvodni ciklus za optimalnu seriju je skraćen za 14 dana itd.

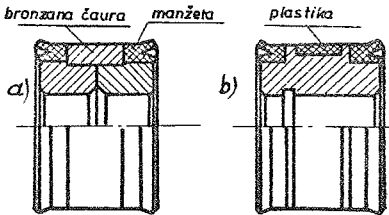
U "Petoletki" su do sada ispitane i nalaze se u radu glave prečnika 640-6250 mm. ali smatramo da oblast primene može i da se proširi. Obradivani su cilindri sa raznim konstrukcijskim oblicima. Uradjeno je preko 1.500 kom. U 1970.god. ovaj broj će biti višestruko premašen, jer je izvršena bolja priprema i uradjen veći broj glava za razne prečnike.

3.2. Klip(Sl.8.)

Unutrašnjost cilindra obradjena na prethodno opisani način je glatka, bez oštih zareza i bez zrnaca brusnih sredstava, koja uvek posle honovanja ostaju utisnuta u honovanu površinu.

Ovako glatka površina omogućava da se bronzani prsten klipa zameni plastičnim. Plastična obloga klipa čuva cilindar i znatno mu povećava vek trajanja.

Obrada cilindra valjanjem omogućila je, dakle, promenu materijala klipa i njegovu rekonstrukciju. Novi klip je jednostavniji i od jeftinijeg materijala.

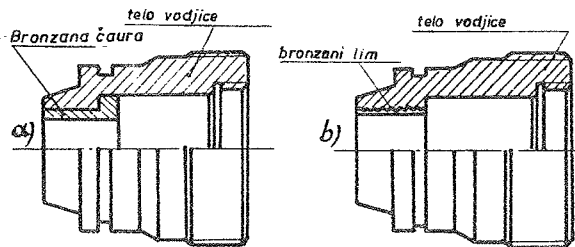


Izrada ovako rekonstruisanog klipa reže 36 min/kom, što znači da je postignuta ušteda od 20 min/kom. ili 14 din/kom, a izbačen je i bronzani prsten.

Sl.8. Klip: a) pre rekonstr.
b) posle rekonstr.

3.3. Vodjica klipnjače (Sl.9.) i glave cilindra i klipnjače

Dalje unapredjenje u proizvodnji hidrauličnih radnih cilindara predstavlja zamena bronzanih čaura u vodjici klipnjače i glavama cilindra i klipnjače bronzanim limom.



Sl.9. Vodjica: a) pre rekonstrukcije i
b) posle rekonstrukcije

Umesto bronzane čaure, koja se izradjuje iz tuljka ili cevi uzima se bronzani lim, skroji potrebni oblik, savije u krug, stavi u već pripremljeni otvor i specijalnim alatom utisne uz površinu otvora.

U daljem izlaganju biće opisan alat i postupak utiskivanja uložaka od bronzanog lima.

a) Priprema otvora u koga treba utisnuti uložak od bronzanog lima. Otvor radnog komada u koji se utiskuje uložak treba da

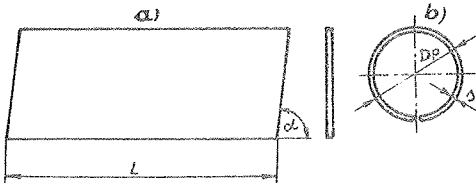
bude obradjen prilično grubo ($6,3 < Ra < 12,5 \mu\text{m}$). Dobro je da u povratnom hodu nož napravi spiralni zarez, ili da se ukopaju mali kanali, jer se time obezbeđuje dobro držanje utisnutog uloška.

Veličina prečnika otvora (D_p) izračunava se po obrascu:

$$D_p = D + 2s \text{ u toleranciji } \begin{matrix} -0,15 \\ -0,30 \end{matrix}$$

Ovde je s - debljina lima pre utiskivanja.

b) Priprema limenog uloška. Za uloške se koristi bronžani lim u trakama CuSn6.



Sl.10.Limeni uložak: a) razvijen,
b) savijen

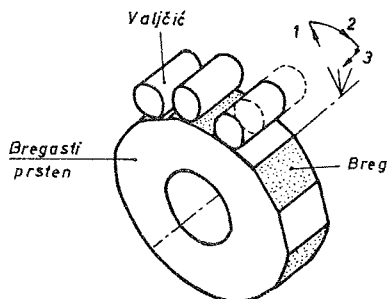
Oblik uloška dat je na slici 10. Pre savijanja na ulošku se, po potrebi, mogu utisnuti ili urezati kanali za podmazivanje. Dužina uloška se izračunava po obrascu:

$$L = \pi(D + \frac{4}{5}s) \text{ u toleranciji } \pm 0.$$

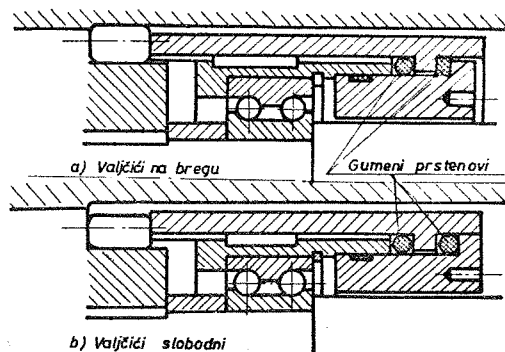
Ovako pripremljeni umetak se žari da bi mu tvrdoća opala na 50#60 HB i to u neutralnoj atmosferi.

c) Metoda utiskivanja limenih uložaka. Alat (glava) za utiskivanje konstruisan je tako da velikom brzinom pokreće valjčice prema ulošku, tako da oni udaraju u uložak i priljubljuju ga uz zid radnog predmeta. Uporedo sa priljubljuvanjem dolazi do plastične deformacije uloška i glačanja njegove unutrašnje površine. Udar valjčica se ostvaruje pomoću bregastog prstena (Sl.11.).

Okretanjem bregastog prstena valjčici se penju na breg, i, pošto je penjanje veoma brzo, dobijaju impuls sile u radijalnom pravcu (hod 1). U sledećoj fazi kretanja (hod 2) valjčici se kotrljaju po cilindričnom delu bregastog prstena (po bregu) utiskujući uložak u neravnine unutrašnje površine otvora. U ovoj fazi nastaje oblikovanje konačnog otvora uz dobijanje tačne mere (IT6), male hrapavosti ($\sqrt{4}$) i veće površinske tvrdoće



Sl.11. Šema rada valjčića



Sl.12. Prikaz skokovitog kretanja valjčića

(20-30%). Daljim okretanjem bregastog prstena valjčići silaze sa brega (hod 3), i zajedno sa kavezom, naglo podju napred (hod 4) i na taj način dostignu položaj koji bi imali da su se normalno kretali brzinom pomaka.

Aksijalno kretanje valjčića u skokovima je neophodno da bi se izbeglo klizanje valjčića po ulošku, a omogućuju ga gumeni prstenovi i to desni za hod napred i levi za povratni hod. Skokovito kretanje valjčića prikazano je na sl.12.

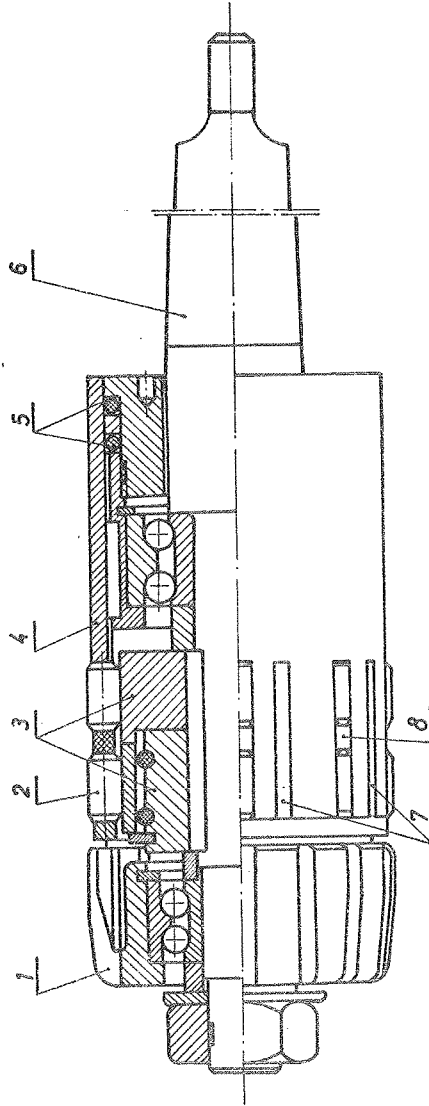
d) Glava za utiskivanje*. Glava za utiskivanje prikazana je na sl.13. Glavni delovi glave su: elastična vodjica (1), valjčići (2), bregasti prstenovi (3), kavez (4) gumeni prstenovi (5) i osovina (6) koja nosi sve delove glave.

Elastična vodjica ima zadatak da pridržava limeni uložak uz zidove otvora i na taj način obezbedi nesmetano ulaženje valjčića.

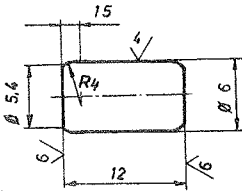
Oblik valjčića dat je na sl.14. Veći valjčići povoljno utiču na produktivnost rada, jer imaju veću masu i veći impuls sile, zatim na glatkoću i kontinuitet površine. Međutim, za bolju tačnost geometrije otvora glava treba da ima veći broj valjčića, a to znači da oni treba da budu tanji.

Za otvore do 25 mm prečnik valjčića je 5 do 8 mm, a za manje otvore manji. Broj valjčića u jednom redu kreće se od 8 do 16 kom.

*- Kao uzor za konstrukciju ove glave korišćena su čehoslovačka iskustva.



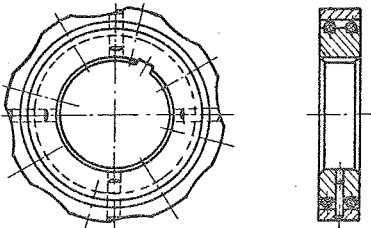
SI. 13. GLAVA ZA UTISKIVANJE LIMENIH ULOŽAKA



Sl.14. Izgled valjčića

Bregasti prstenovi su klinom spojeni za osovinu. Prednji prsten može biti elastičan (sl.15), radi postizanja bolje glatkoće površine radnog predmeta, jer pri povratnom hodu valjčići na elastičnom bregastom prstenu ne deformišu, već samo glačaju uložak. Kod neprolaznih (slepih) otvora ne koristi se ni elastična vodjica

ni elastični bregasti prsten, već su oba prstena kruža (sl.11). Pri montaži bregovi oba prstena se postavljaju u istom pravcu (jedan iza drugog).



Sl.15. Elastični bregasti prsten

Kavez drži valjčiće u određenom položaju iznad bregastih prstenova. Plastični umeci na kavezu (Sl.13, poz.7) su u dodiru s jednim predmetom i posredstvom sile trenja okreću kavez i navode valjčiće na breg.

U slobodnom položaju kavez se slobodno okreće u odnosu na

vreteno glave.

e) Režimi obrade. Broj obrtaja radnog predmeta, odnosno glave se izračunava po obrascu:

$$n = (25460 + 47700) \frac{1}{D} \text{ (obrt/min)}$$

Pomak se bira u granicama $\frac{1}{50}$ do $\frac{1}{125}$ prečnika glave.

Broj prolaza je, po pravilu, dva (napred i nazad). Veći broj prolaza otvrdnjava uložak i može da dovede do ljušćenja.

f) Neka zapažanja sa ispitivanja utisnutih uložaka. Utisnuti uložak izdržava relativno vrlo veliku silu u aksijalnom pravcu pre nego što počne da se odvajava od tela i klizi po dodirnoj površini. Utisnuti uložak od CuSn6 debljine 1 mm u vodjicu $\varnothing 50$ mm izdržao je silu od 7 Mp.

U eksploataciji radnih cilindara nije došlo do odvajanja uložaka.

g) Ostvareni efekti . Vreme izrade rekonstruisane vodjice iznosi 55 min, što znači da je postignuta ušteda od 13 min/kom. Osim toga, umesto bronze čija je cena bila 25 din/kom za čauru, utrošeno je 75 p.lima, odnosno 2,8 din/kom. Ušteda u bronzi je, dakle, 22,2 din/kom.

4. Rekapitulacija efekata unapredjenja tehnologije na obradi hidrauličnog radnog cilindra.

Rekapitulacija se odnosi samo na delove i operacije tih delova na kojima je primenjena nova tehnologa.

Naziv dela	Cena koštanja (N.DIN)		Ukupna ušteda po delu (N.DIN)
	Stara	Nova	
Cilindar	199,20	47,25	151,95
Klip	167,50	21,60	145,90
Vodjica	65,80	35,80	30,00
Glava klipnjače i cilindra	54,00	3,60	50,40
Ukupno za radni cilindar	486,50	108,25	378,25

Osim prikazanih finansijskih efekata nova tehnološka rešenja omogućila su i znatno poboljšanje kvaliteta, tako da je sada vek trajanja hidrauličnih radnih cilindara u eksploataciji povećan za 5 do 10 puta.

VI SAVJETOVANJE O PROIZVODNOM STROJARSTVU, OPATIJA, 1970

D. Mandić^{x)}

OSVRT NA IDEJE I RADOVE PROF. DR. ING. PAVLA STANKOVIĆA
U OBLASTI PLASTIČNE DEFORMACIJE ^{xx)}

1. Uvod

Naučni opus prof. Stankovića - pored objavljenih radova u predratnom periodu, inspirisanih intelektualnim izazovima visokokreativne inženjerske delatnosti - kreće se u širokom domenu proizvodnog mašinstva, pri čemu je u punoj meri došla do izražaja tesna sprega između njegove profesionalno-inženjerske, naučne i pedagoške delatnosti.

Najranija inženjerska delatnost prof. Stankovića odvijala se u okviru industrijske prakse metaloprerađivanja i na konstrukcijskim intervencijama, pre svega u oblasti obrade deformacijom, i predstavljala je osnovni stimulan za docnije značajne naučne doprinose i nove koncepcije.

U ovoj informaciji se iznose kraći osvrti na radove prof. Stankovića u području plastične deformacije, u kojima je maksimalno prisutan njegov lični pečat, uz značajan prilog novom znanju i praktičnoj primeni.

2. Objavljeni naučni radovi i istraživački elaborati

Polazeći od saznanja da se pri sabijanju materijala na čekiću javljaju najizrazitije deformacije na površinama upravnim na pravac dejstva sile, što je naročito važno poznavati pri kovanju u kalupu kada materijal najbolje ispunjava gornje i donje šupljine kalupa, i to gornju oko dva puta brže nego donju, a

^{x)} Dragiša Mandić, dipl. ing., asistent Mašinskog fakulteta, Beograd, samostalni saradnik Instituta za alatne mašine i alate, Beograd.

^{xx)} Saopštenje iz Instituta za alatne mašine i alate, Beograd.

bočne šupljine u znatno manjoj meri, dok pri sabijanju materijala na presama (naročito na hidrauličnim), kada se, usled skoro statičkog dejstva, vrši temeljnije deformisanje materijala, koji se tada bočno lakše širi i bolje ispunjava bočne šupljine, a donju šupljinu kalupa ispunjava za oko jedan i po puta brže nego donju, prof. Stanković je uspeo da objedini dobre strane ovih dvaju procesa sabijanja u jednu mašinu "čekić-presa" [1], na kojoj se obavlja deformisanje istovremenim statičkim i dinamičkim dejstvom. Istovremeno statičko i dinamičko dejstvo postignuto je dejstvom malja na pritiskivač prese (slika 1 u radu).

Prof. Stanković je analizom i eksperimentima pokazao da se pri kombinovanom dejstvu čekić-prese može postići smanjenje radnog vremena oblikovanja, pa sa time i manje hladjenje materijala, što u velikoj meri smanjuje potrebni deformacioni rad i čini ravnomernije ispunjavanje šupljina kalupa, i to kako bočnih tako i čeonih.

U Zavodu za mašine alatke Mašinskog fakulteta u Beogradu izgradjena je po njegovom projektu i pod rukovodstvom mašina tipa čekić-presa, na kojoj je eksperimentalno verifikovao svoje postavke. Ova mašina sada služi za izvodjenje eksperimentalne nastave sa studentima Mašinskog fakulteta u Beogradu.

U radu pod [3] rasmatran je problem odsecanja materijala kružnog poprečnog preseka sa polukružnim noževima, sa ciljem da se analitičkim putem ispita uticaj oblika noževa i drugih faktora koji u procesu odsecanja utiču na veličinu otpora odsecanja. Rasmatranje je provedeno u dva slučaja, pri čemu je u prvom slučaju rasmatran problem dvostrukog (simetričnog) odsecanja, kada se oba noža kreću jedan prema drugom istom brzinom, a osa materijala leži upravno na pravac kretanja noževa. Materijal koji se odseca može biti pridržavan ili bez pridržavanja, pa se pri odsecanju može zakretati pod dejstvom sprega sila. U drugom slučaju rasmatrani su uslovi jednostranog (nesimetričnog) odsecanja sa i bez pridržavanja materijala.

Analizom je pokazao da je otpor odsecanja sa polukružnim noževima neznatno veći nego otpor odsecanja sa pravim paralelnim

noževima, dok su deformisanje oblika preseka materijala na mestu dodira noževa i veličina hoda noževa do potpunog odvajanja materijala manji kod polukružnih nego kod pravih, pa se zato, kada se zahteva pravilan oblik odsečenog preseka, preporučuju polukružni noževi.

Problem izrade zupčanika plastičnom deformacijom, posebno valjanjem uz relativno kotrljanje između alata i radnog predmeta, predstavlja metodu koja se i danas u svetu nalazi još u stadijumu razvoja, i ako se poslednjih godina u nekim zemljama (SSSR, Japan i SAD) već počinje u manjoj ili većoj meri prelaziti sa eksperimentalne ka industrijskoj primeni. Za ovu inače visokoproduktivnu i kvalitetnu metodu vezan je veliki broj problema, kako teorijske, tako i tehnološke prirode, koji ni do danas nisu našli svoje potpuno rešenje.

Prvi kod nas na ovom problemu započeo je raditi prof. Stanković. On je svoju originalnu ideju metode izrade zupčanika plastičnom deformacijom uz relativno kotrljanje [2] postavio i razradio i upoznao stručnu javnost u okviru svoje doktorske disertacije i kasnije kroz dugi niz godina uz mnogo zalaganja i uloženoj truda doveo do skoro industrijske primene. U radu [2] predložio je da se izrada zupčanika po ovoj metodi izvodi u dve faze, pri čemu se u prvoj fazi alat u vidu zupčanika utiskuje u radni predmet - venac zupčanika, koji je prethodno zagrejan do izvesne dubine na temperaturu usijanja (temperatura kovanja) i pri tome se istovremeno alat i radni predmet obrću - relativno kotrljaju (slika 1 u radu). U drugoj fazi vrši se utiskivanje alatnog zupčanika do pune dubine u ohladjeni radni predmet uz istovremeno relativno kotrljanje, čime se zupcima predmeta daje završni oblik i otklanjaju se eventualne temperaturske deformacije nastale u toku prve faze.

Iako su eksperimentalna ispitivanja koja su izvedena u okviru doktorske disertacije bila, tada iz objektivnih razloga, ograničena samo na modele od olova i mekog čelika, potvrdila su opravdanost metode i pokazala da je vreme ozubljenja zupčanika po ovom postupku mnogo kraće nego postupkom rezanja i da zupci valjanih zupčanika imaju veću čvrstoću nego rezani. Kod zupča-

nika izradjenih rezanjem vrši se oštro presecanje materijala, dok se kod zupčanika izradjenih valjanjem materijal samo povija, pa vlakna ostaju nepresečena, što kod valjanih zupčanika deluje povoljno na smanjenje koncentracije napona u korenu zubaca (slike 3a i 3b u radu).

U tom radu prof. Stanković je postavio teoretske osnove, pokazao način odredjivanja deformacionog otpora i deformacionog rada i ukazao na uslove tečenja materijala u radijalnom i bočnom pravcu, a takodje i na druge propratne pojave koje se javljaju pri izradi zupčanika plastičnom deformacijom, što je poslužilo kao osnova za kasniji prilaz razvoju eksperimentalne mašine za izradu zupčanika po ovoj metodi. Po metodi valjanja uz relativno kotrljanje mogu se izradjivati zupčanci različitih brojeva zuba i različitih prečnika, pri istoj širini i istom modulu, upotrebom jednog alatnog zupčanika za prethodnu obradu u vrućem stanju i jednog alatnog zupčanika za završnu obradu u hladnom stanju. Za svaki modul ili širinu mora se imati odgovarajući alatni zupčanik.

Napori na rešavanju i usavršavanju metode izrade zupčanika plastičnom deformacijom uz relativno kotrljanje, koji je započet teoretski i eksperimentalno u [2], razradjen je dalje konceptijskim i konstrukcijskim razvojem eksperimentalne mašine u Institutu za alatne mašine i alate u Beogradu u toku višegodišnjeg rada^{x)} i to detaljno i kompleksno i doveden do završetka u okviru postavljenih zadataka.

U [15] sadržana je teoretska analiza i eksperimenti ispitivanja tečenja materijala pri formiranju zubaca, čime je omogućeno dobijanje polaznih podataka za postavljanje koncepcije eksperimentalne mašine. Pri ovome je jedno od glavnih pitanja bilo rešavanje problema dobijanja simetričnih zubaca pravilnih

x) Na rešavanju ovog kompleksnog problema učestvovali su i saradnici prof. Stankovića. Finansijska sredstva obezbedili su Savezni i Republički fond za naučni rad i Mašinska industrija MIN iz Niša kao industrijski partner.

profila na radnom predmetu sa upotrebom alatnog zupčanika sa evolventnim zupcima simetričnih profila. Više izvedenih eksperimenata sa simetričnim i nesimetričnim zupcima alata pokazali su da se simetrični zupci na radnom predmetu mogu dobiti sa simetričnim zupcima na alatnom zupčaniku, s tim da zupci alatnog zupčanika budu produženi u pravcu temenog kruga i sa produbljene medjuzubljenjem u korenu, dok se grebeni koji se javljaju na vrhovima zubaca radnog predmeta mogu otkloniti naizmjeničnim valjanjem pomoću glatkog, slobodnookretnog valjka.

Na slici 31 u [15] prikazan je uređaj na kojem su izvedeni eksperimenti tečenja materijala, pri čemu je materijal radnog predmeta bio od vajarske gline, a segment alatnog zupčanika od tvrdog drveta. Modul zuba uzet je $m=20$ mm, kako bi se dobila što jasnija slika deformisanja materijala.

Ranije postavljeni postupci i obrasci za računsko odredjivanje prečnika priprema, normalnog i tangencijalnih napona [2] sada su eksperimentalno potvrđeni.

U [4] iznet je samo jedan deo rezultata dobijen teoretskim i tehnološkim rešavanjem kompleksnog problema izrade zupčanika plastičnom deformacijom [15], pri čemu je ovde glavni akcenat stavljen na princip tečenja materijala pri formiranju zubaca. Dat je analitički postupak odredjivanja prečnika priprema radnog predmeta, odredjivanja naponskog stanja u pojedinim zonama i formiranja zubaca u plastičnom stanju materijala. Rad je napisan sa željom da ukratko upozna širu stručnu javnost o postignutim rezultatima i o naporima koji se ulažu na iznalaženju rešenja za uvodjenje postupka izrade zupčanika plastičnom deformacijom u industrijskim uslovima.

U [16] prikazana je analiza deformacionog otpora i deformacionog rada zupčastog alata u procesu plastičnog deformisanja čelika, pri čemu su na osnovu izraza za slobodno šuplje sabijanje za telo kružnog preseka izvedeni izrazi za slučaj šupljeg sabijanja tela pravougaonog preseka, koji odgovara slučaju prodiranja jednog zupca alata, a zatim i za slučaj istovremenog prodiranja više zubaca alata. Na osnovu ovako izvedenih izraza računski su odredjeni deformacioni otpor i deformacioni rad za

više različitih kvaliteta materijala, različitih modula i širina radnog predmeta, i tako dobijene vrednosti prikazane su u radu tabelarno i grafički.

Na osnovu provedenih analiza i izvedenih zaključaka o rezultatima ispitivanja u [2], [15] i [16] dato je konceptijsko i konstruktivno rešenje eksperimentalne mašine, sa potpuno definisanim veličinama glavnih karakteristika.

U [17] prikazana je izgradjena eksperimentalna mašina i rezultati ispitivanja dobijeni pri izradi zupčanika od olova u hladnom stanju i od čelika u toplom stanju. Korišćeno je olovo za ispitivanja u hladnom stanju, pošto su njegove plastične osobine slične plastičnim osobinama čelika u usijanom stanju, pa je tako uz relativno nisku cenu eksperimenata, bilo moguće da se provere kinematska tačnost mašine, proces tečenja materijala i tačnost reprodukcije profila zubaca alata na zupce radnog predmeta, kao i da se uoče druge prateće pojave procesa.

Ispitivanja u toplom stanju izvedena su sa zupčanicima od čelika različitih kvaliteta, pri različitim režimima rada, pri čemu su zupčanci zagrevani induktivnim putem do temperature usijanja (temperatura kovanja). Zagrevanje je vršeno na samoj mašini, i to samo po vencu zupčanika, dok su telo i glavčina ostali nezagrevani.

Merenje veličina na eksperimentalnoj mašini (naprezanja, otpori prodiranja alata i obrtni momenti na vratilima) izvodjeno je električnim putem, a zapisivanje pomoću pisaača sa više kanala, pa je istovremeno zapisivano više veličina.

Dobijeni rezultati ispitivanja provedenih na eksperimentalnoj mašini pokazali su da je prikazana i ispitana metoda izrade zupčanika plastičnom deformacijom uz relativno kotrljanje moguća i korisna, posebno sa gledišta proizvodnosti, jer se, prema dobijenim pokazateljima, ovom metodom može postići znatno veća proizvodnost izrade zupčanika nego metodama rezanjem, uz postizanje zadovoljavajuće tačnosti zupčanika.

Radovi [5] do [8] proistekli su iz informacija [15] do [17], i omogućuju delimičan uvid u postignute rezultate izvedenih ispitivanja na eksperimentalnoj mašini pri izradi zupčanika valja-

njem. U [7] prikazani su postupci kontrole tačnosti (slika 1 u radu) i postignuti rezultati izradjenih zupčanika predhodnim valjanjem u vrućem stanju na eksperimentalnoj mašini i završnom hladnom valjanju na posebnom uredjenju (slike 2 do 6 u radu).

Rezimirajući izneto o informacijama [4] - [8] i [15] - [17] može se reći da one pokazuju dalje angažovanje prof. Stankovića na iznalaženju rešenja i mogućnosti primene metode izrade zupčanika plastičnom deformacijom uz relativno kotrljanje. U ovim radovima iznet je razvojni put prethodnih ispitivanja u cilju određivanja glavnih karakteristika, kinematskog i konstruktivnog rešenja eksperimentalne mašine i rezultati dobijeni pri izvedenim eksperimentima na njoj. Po mišljenju prof. Stankovića, dobijeni rezultati po svom kvalitetu ukazuju da je primena metode izrade zupčanika plastičnom deformacijom uz relativno kotrljanje u industrijskim uslovima opravdana i svrsishodna. Nažalost, tekući uslovi i mogućnosti prihvatanja ove ideje, koja zahteva znatnija ulaganja i određeni rizik nisu omogućili industrijsku realizaciju za života prof. Stankovića, pa ni do danas.

3. Udžbenici i literatura

Pored letimično iznetih radova naučnog i istraživačkog karaktera iz oblasti plastične deformacije, integralni opus prof. Stankovića zaokružava monumentalni doprinos domaćem obogaćenju i sistematizovanju specifičnih znanja kroz brojne, značajki koncipirane, stalno unapredjivane, sveobuhvatne i izvanredno stručne i aktuelne udžbenike (kojih ima dvadeset, uzimajući u obzir ponovljena i dopunjena izdanja) iz oblasti obrade rezanjem i bez rezanja.

U periodu posle oslobodjenja prof. Stanković je u izdanju Stručne biblioteke Saveza sindikata Jugoslavije napisao više svezaka iz oblasti proizvodnog mašinstva, sa kojima je veoma puno doprineo upoznavanju tada mladih radnika sa mašinama alat-kama i zakonitostima mašinske tehnike. Ovde se daje osvrt samo na svesku "Mehanički čekići" [9], u kojoj je prof. Stanković na

veoma popularan i pristupačan, njemu svojstven način, sa dovoljno podataka datih kroz tablice i grafičke prikaze, opisao princip rada mehaničkih i parnih čekića, postupke kovanja (slobodno i u kalupima), način rukovanja sa čekićima, oblike i način upotrebe kovačkih ručnih i mašinskih alata, kao i šemu najpogodnijeg rasporeda kovačkih mašina i peći u kovačnici (slika 50 u knjižici).

Udžbenici [10] - [13] sadrže gradivo predmeta Mašinska obrada i Mašine alatke, deo obrade bez rezanja, koji je prof. Stanković predavao dugi niz godina studentima Mašinskog fakulteta u Beogradu i na drugim fakultetima u zemlji. U ovim udžbenicima je na sistematski način izložena osnova teorije plastične deformacije i obrade bez rezanja, mašine i alati za obradu deformacijom. Udžbenici su namenjeni studentima mašinskih fakulteta i tehničkih škola i inženjerima u proizvodnji.

4. Zaključak

Deo prikazanih naučno-istraživačkih i pedagoških radova organizovan na oblast plastične deformacije u dovoljnoj meri ukazuje na kreativnost prof. Stankovića kao originalnog istraživača i vrsnog inženjera, njegov nadahnuti pristup i na izvanredno značajan doprinos u iznalaženju tehnoloških mogućnosti za primenu metoda obrade bez rezanja u industrijskoj proizvodnji i u rešavanju raznovrsnih problema u ovoj stručno-naučnoj oblasti.

Knjige prof. Stankovića su predstavljale visokovredan i pouzdan izvor znanja za generacije mladih inženjera u toku njihovih studija na nizu jugoslovenskih univerziteta i visokih škola, ali isto tako i inspiraciju za rešavanje praktičnih problema i za studijski pristup nepoznatom i novom pretežnom broju proizvodnih stručnjaka jugoslovenske mašingradnje.

Rezultati napornog i veoma uspešnog angažovanja prof. Stankovića ne iscrpljuju se prikazanom delatnošću u oblasti obrade bez rezanja, koja se ovde ogleda u sedamnaest naslova priložene bibliografije, kao i organizovanjem, unapredjivanjem i sprovođenjem naučne i pedagoške aktivnosti. Pored niza stručnih i naučno-popularnih napisa i elaborata u oblasti proizvodnog ma-

šinstva, prof. Stanković je u toku svoje plodne dugogodišnje delatnosti izradio niz studijskih, istraživačkih i stručnih radova, izveo više značajnih konstrukcija alatnih mašina i opreme i izradio veliki broj stručnih ekspertiza za potrebe privrede i za razne ustanove.

5. Bibliografija objavljenih radova, udžbenika i elaborata iz oblasti obrade bez rezanja

(a) Naučni radovi

- [1] P.Stanković, Problem plastičnog deformisanja istovremenim statičkim i dinamičkim dejstvom, Zbornik Maš.instituta SAN, 5 (1950) br.2, str.105.
- [2] P.Stanković, Deformacioni otpor pri izradi zupčanika plastičnom deformacijom uz relativno kotrljanje (doktorska disertacija), Zbornik Maš.instituta SAN, 30 (1954) br.5, str. 30.
- [3] P.Stanković, Otpor pri otsecanju materijala kružnog preseka u zavisnosti od oblika i uslova rada, Zbornik Maš. fakulteta (1956) 119.
- [4] P.Stanković, Osnovni teorijski i tehnološki problemi izrade zupčanika plastičnom deformacijom uz relativno kotrljanje, Zbornik saopštenja I Savetovanja proizvodnog mašinstva, Beograd-Zagreb (1965) 22.1.
- [5] P.Stanković, Neki eksperimentalni rezultati o izradi zupčanika plastičnom deformacijom uz relativno kotrljanje, Zbornik saopštenja .IV Savjetovanja proizvodnog mašinstva, Sarajevo (1968) 12.1.
- [6] P.Stanković, D.Mandić, Eksperimentalna mašina za izradu zupčanika plastičnom deformacijom uz relativno kotrljanje, Saopštenja IAMA, 7 (1968) 879
- [7] P.Stanković, Tačnost izrade zupčanika postupkom valjanja, Saopštenja IAMA, 8 (1968) 1011
- [8] P.Stanković, Weiterentwicklung der Technologie des Warmzahnradwalzens mit Rücksicht auf eine neue Versuch-

smaschine, Saopštenja IAMA, 9 (1969) 1335

(b) Univerzitetski udžbenici i brošure

- [9] P.Stanković, Mehanički čekići, Stručna biblioteka Saveza sindikata Jugoslavije, Rad, Beograd (1949)
- [10] P.Stanković, Mašine alatke i industrijska proizvodnja mašina II, Obrada metala bez rezanja (I izdanje), Naučna knjiga, Beograd (1950)
- [11] P.Stanković, Mašine alatke i industrijska proizvodnja mašina II, Obrada metala bez rezanja (II dopunjeno izdanje), Naučna knjiga, Beograd (1962)
- [12] P.Stanković, Mašine alatke i industrijska proizvodnja mašina II, Obrada metala bez rezanja (III izdanje), Naučna knjiga, Beograd (1964)
- [13] P.Stanković, Mašine alatke i industrijska proizvodnja mašina II, Obrada metala bez rezanja (IV izdanje), Naučna knjiga, Beograd (1966)

(c) Elaborati u okviru Mašinskog fakulteta, Beograd i Instituta za alatne mašine i alate, Beograd

- [14] P.Stanković, S.Zarić, V.Šolaja, Izveštaj o ispitivanju frikcionne prese EP-75, Zavod za mašine alatke Mašinskog fakulteta, Beograd (1955)
- [15] P.Stanković, D.Mandić, Izrada zupčanika plastičnom deformacijom uz relativno kotrljanje I, Elaborat 17/64, Institut za alatne mašine i alate, Beograd (1964)
- [16] P.Stanković, D.Mandić, Izrada zupčanika plastičnom deformacijom uz relativno kotrljanje II, Elaborat 29/65, Institut za alatne mašine i alate, Beograd (1965)
- [17] P.Stanković, D.Mandić, Dj.Kalić, Izrada zupčanika plastičnom deformacijom uz relativno kotrljanje III (Završni izveštaj), Elaborat 90/68, Institut za alatne mašine i alate, Beograd (1968)

D.Mandić

"Übersicht der Ideen und Arbeiten von Prof. Dr.-Ing. Pavle Stanković auf dem Gebiet der Umformtechnik

In diesem Artikel wird eine kurze Übersicht der Ideen und Arbeiten auf dem Gebiet der Umformtechnik von Dr.-Ing. P.Stanković, des ordentlichen Professor an der Fakultät für Maschinenbau der Universität von Beograd, gegeben. Es ist siebzehn wissenschaftlichen Arbeiten und Lehrbücher analysiert worden und zwar es wurde besonders auf die Arbeiten [1], [2], [4] - [6] und [15] - [17] hingewiesen, die die Entwicklung und Verbesserung der eigenen Ideen von Prof. P.Stanković darstellen. Prof.P.Stanković hat die Idee durchgearbeitet, die gute Eigenschaften des Bearbeitungsprozesses mit dem mechanischen Hammer, beziehungsweise mit der hydraulischen Presse in einer Maschine "Hammer-Presse" [1] mit der gleichzeitigen statischen und dynamischen Kraftwirkung zu vereinigen. Er hat ebenfalls seine Idee über Warmzahnradwalzen theoretisch und experimentell durchgearbeitet und längere Zeit verbessert, bis sie zur industriellen Anwendung herbeizuführen. In Arbeiten [9] - [13] hat Prof.P.Stanković die Berechnungsmethoden zur Bestimmung der Umformkraft und - Arbeit bei der Umformung der Werkstücken durch plastische Deformation, sowie die Methoden zur Bestimmung von Hauptcharakteristiken und Berechnung der konstruktiven Elemente der Umformmaschinen ausgearbeitet. In Arbeit [3] ist das Problem der Bestimmung von Umformkraft bei der Schneiden der Werkstoffe mit rundem Querschnitt analysiert worden.

J. Hribar^{x)}

SILE I DEFORMACIJE POD DUBOKO VUČENJE IZ OBLASTI LIMENE ROBE.

1. Uvod. U razdoblju od posljednjih cirka 50 godina, unutar kojeg padaju svi značajniji eksperimenti i teorijski radovi o problemima, koji se javljaju u procesima dubokog vučenja, riješavan je niz interesantnih i za praksu važnih pitanja. Iz naslova objavljenih radova (1-18) razabire se sadržaj i redoslijed riješavanih pitanja tokom ovog dugog razdoblja. Ipak, поблиži pregled literature očigledno pokazuje, da je usprkos ovom dugogodišnjem razdoblju istraživanja dosta pitanja suviše nepotpuno riješeno. Ovo kao i nove vrste materijala i novi režimi rada koji ulaze u proizvodnju, ne samo da opravdavaju nego i zahtijevaju daljnju istraživačku aktivnost na ovom sektoru proizvodnje. Obzirom na to kao i zbog izvjesnog interesa domaće proizvodnje započeli smo^{xx)} sa provedbom opsežnijeg plana ispitivanja. U ovom prikazu dajemo sažete rezultate dosadašnjih ispitivanja.

U tekstu su korištene slijedeće oznake:

D_0 = promjer ronele u mm

D_{L1}, D_{L2}, D_{L3} = promjeri lonaca nakon 1., 2. i 3. vučenja

D_M = promjer provlačne matrice

D_Z = promjer žiga

s_0 = početna deoljina stijenke lima, mm

r_m = radij zaobljenosti ulaznog ruba provlačne matrice

z = zračnost, širina raspora

P_Z = sila na žigu u kp ili Mp

P_{prs} = tlačna sila prstena

x) Dr. Josip Hribar, dipl. stroj. inž., red. prof. FSB-a u Zagrebu

xx) Pokusi su izvedeni u laboratoriju za plastičnu obradu FSI-a u Zagrebu.

$P_{tot} = P_z + P_{prs}$ = ukupna sila preše

P_{prs} = spec. pritisak tlačnog prstena, kp/cm^2

$$\varphi_s = \ln \frac{s}{s_0}, \quad \varphi_{rad} = \ln \frac{h}{h_0}, \quad \varphi_{tg} = \ln \frac{t}{t_0}$$

h_0 i t_0 su početni razmaci zacrtenih kružnica i pravaca na rondelama i plaštevima lonaca,

E_m = ishodna čvrstoća materijala pokusnih limova, kp/mm^2

c = koeficijent

2. Plan ispitivanja

Glavne točke ispitivanja bile su sljedeće:

1. Ižerenje ukupne sile P_{tot} i sile žiga P_z tokom spusta žiga i to u ovisnosti o:

- visini pritiska tlačnog prstena,
- radiusa zaobljenosti ruba matrice r_m ,
- zračnosti z tj. širini raspora između provlačne matrice i žiga,
- vrsti maziva.

2. Ižerenje deformacija po visini plašta i to u sva tri smjera: radijalno, tangencijalno i po debijini lima.

3. Ižerenje očvršćenja i otvrdnuća materijala po visini izvučenog plašta.

Uz ove glavne točke plana rješavano je i pitanje ovisnosti deformacione sile o omjeru D_1/D_0 , gdje je D_0 = promjer rundele, D_1 = promjer lonca, s namjerom da se pronadje ona vrijednost omjera D_1/D_0 , koja dozvoljava duboko vučenje bez upotrebe tlačnog prstena, dakle i bez opasnosti formiranja štetnih natora.

Za određivanje utjecaja radiusa zaobljenosti ruba matrice odabran je r_m od 1,5-3-3 i 8 mm, time, da je ulazni radni

dio matrice bio u obliku izmjenljivih prstena s navedenim radiusima zaobljenosti.

Utjecaj zračnosti z ispitan je u granicama od $z=1,1 s_0$ do $z = 3 s_0$, gdje je s_0 početna nominalna debljina pokusnog lima. Obzirom na toleranciju debljine ovih limova od $\pm 10\%$ slijedi, da bi minimalna zračnost $z = 1,1 s_0$ mogla biti jednaka nuli. Zbog zadebljevanja stijenke, do kojeg dolazi redovito u gornjim zonama izvučenog plašta, kako će biti kasnije prikazano, može u tom slučaju ($z = 1,1 s_0$) stvarna zračnost biti i negativna, tj. dolazi neizbježno do struganja i razvlačenja zadebljale stijenke plašta tokom prolaza kroz matricu.

Kao nazivo upotrebljene su bušačke emulzije u razredjenosti s voom od 10 i 20 %, zatim ulje SAE 50 i Hipenol (proizvodi INA), te voda. Za usporedbu provučeno je nekoliko rondela na suho.

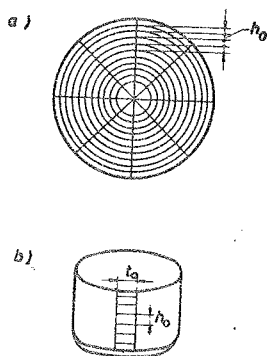
Za praćenje i određivanje radijalnih i tangencijalnih deformacija po površini izvučenih plašteva zacrtane su rondela s koncentričnim kružnicama a plaštevci lonaca - na dva dijagonalno oprečna mjesta - sa mrežom linija određenih međusobnih razmaka prema sl. 1 a i b.

Na istim mjestima gdje su mjerene radijalne i tangencijalne

deformacije mjerene su i promjene u debljini stijenke po visini plašta i to s točnošću od 0,01 mm.

Promjene u tvrdoći materijala plašta određivane su mjerenjem tvrdoće po Vickersu po visini plašta i to na praktički istim mjestima gdje su mjerene i deformacije i debljina stijenke. Za određivanje promjena u čvrstoći i istezljivosti materijala izrezivani su probni uzorci prema sl.2. i to iz svakog reda po 2 do 3 uzorka.

Pokusi su izvedeni na 40 tonskoj hidrauličkoj preši za duboko vučenje,



Sl.1 Uzorci s mrežicama za određiv.deformacija.

na posebno konstruiranim alatima za 1., 2. i 3. vućenje.

3. Pokusni materijal

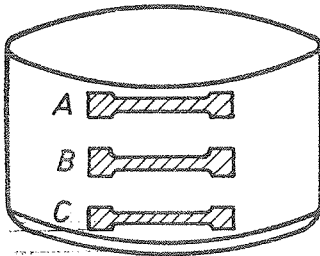
Pokusi su izvršeni s želičnim limom za duboko vućenje i to u dvije debljine od 1,20 i 0,50 mm i slijedećih mehaničkih svojstava:

lim 1,20 mm: čvrstoća $\sigma_m = 31-32 \text{ kg/mm}^2$, istezanje $\delta_{10} = 30-32\%$
lim 0,50 mm: čvrstoća $\sigma_m = 35-36 \text{ kg/mm}^2$, istezanje $\delta_{10} = 23-25\%$.

Polazna tvrdoća limova iznosila je 90 do 105 HV.

Sav pokusni materijal razrezan je u rondelje promjera 250 mm.

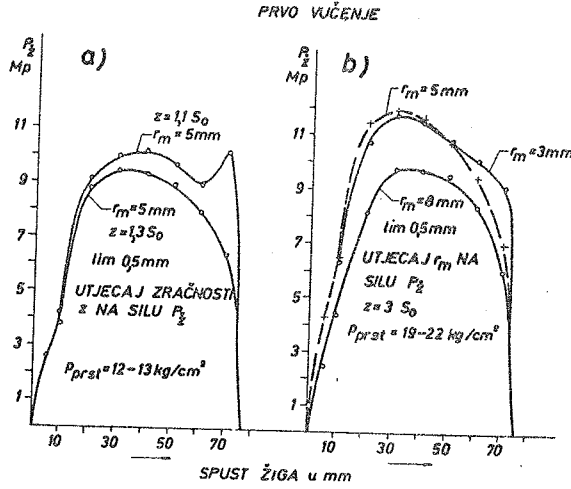
Prvo vućenje rondela bilo je u lonce ϕ 150 mm, drugo vućenje u lonce ϕ 120 mm, a treće u lonce ϕ 100 mm. Redukcija polaznog promjera rondela kod prvog vućenja iznosila je dakle 40 % dok su slijedeće redukcije promjera lonca iznosile samo po 20 %, po receptu dakle, koji se u praksi vrlo često koristi.



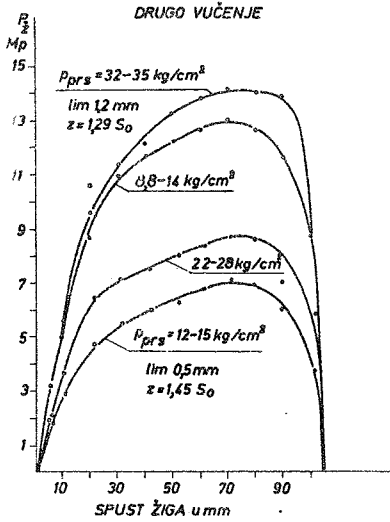
Sl.2. Položaj probnih štapova u plaštu.

4. Rezultati pokusa

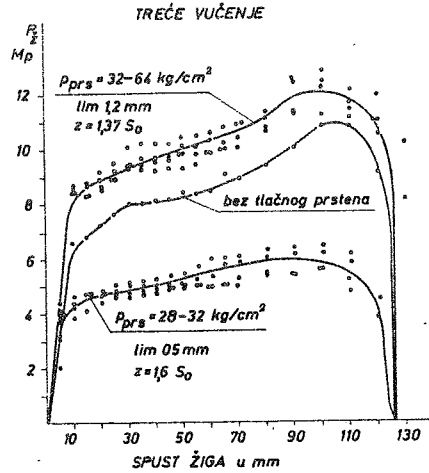
I. Visina deformacionih sila na žigu $P_{\frac{z}{2}}$ te radnja vućenja. Sl.3-5. pokazuju promjenu ovih sila tokom spusta žiga i to sl.3 kod prvog vućenja rondela debljine lima 0,5 mm a sl. 4 i 5 kod drugog i trećeg vućenja. Na 3 a se vidi, kako premala zračnost $z = 1,1 s_0$ izaziva potkraj vućenja pojavu drugog maksimuma. Iz sl. 3 b zapaža se utjecaj radija zakrivljenosti r_m na silu $P_{\frac{z}{2}}$. Dovoljno veliki $r_m = 8 \text{ mm}$ daje za cirka 17 % nižu $P_{\frac{z}{2}}$. Iz sl.4. daje se ocijeniti utjecaj visine specif. pritiska tlačnog prstena p_{prs} na silu $P_{\frac{z}{2}}$ a iz sl.5 se vidi utjecaj debljine lima na $P_{\frac{z}{2}}$ kod trećeg vućenja. Ispitivanje utjecaja maziva pokazalo je dosta neznatan utjecaj vrste maziva na silu $P_{\frac{z}{2}}$, ali je taj utjecaj bitno jači u



Sl. 3 Sile P_z tokom spusta žiga.



Sl. 4.



Sl. 5.

Sile P_z tokom spusta žiga.

težim slučajevima vučenja, na pr. kroz matrice s premalenim radijem zaobljenosti r_m , koje uspjeva bez pucanja samo uz upotrebu Hipanola i SAE 50. Sve ispitane vrste maziva dale su za cirka 20 % niže sile P_z nego kod suhog vučenja. Izrazimo li silu P_z kod pojedinih vučenja u obliku

$$P_z = c \cdot D_l \cdot \pi \cdot s_0 \cdot \epsilon_m$$

tada se na osnovu snimljenih dijagrama, od kojih u samo neki prikazani na sl. 3-5, nauju za koeficijente c slijedeće vrijednosti:

$c_1 = 0,90$ za deblji i 1,08 za tanji lim i prvo vučenje,

$c_2 = 0,96$ za deblji i 1,08 za tanji lim i drugo vučenje,

$c_3 = 1,03$ za deblji i 1,07 za tanji lim i treće vučenje,

čine je omogućeno brzo računsko određivanje sila P_z za zadane D_l , s_0 , ϵ_m . Ovi podaci za c vrijede za povoljne vrijednosti r_m i p_{prs} te za uobičajene zračnosti z i vrste maziva.

Što se tiče specifičnog pritiska p_{prs} daje se na osnovu ovih ispitivanja zaključiti ukratko slijedeće. Za limove od 1,2mm potreban je kod prvog vučenja rundele spec. pritisak p_{prs} od 7-8 kp/cm^2 , da bismo si urno izbjegli pojavu nacora. Pritisaci od svega 4 kg/mm^2 su u tu svrhu sigurno još preniski. Za tanje limove od 0,5 mm potrebno je oko 15 kp/cm^2 . Bitno veće pritiske valja izbjegavati, jer dovode do pucanja plašta. Usporedba ovih vrijednosti sa podacima poznatim iz literature 10,11 pokazuje dobro poklapanje. Kod 2. i 3. vučenja su dovoljni specifični pritisci p_{prs} od 12-15 kp/cm^2 za limove od 1,2 mm, dajući besprikorno izvučenu površinu plašta. Povišenje ovih pritisaka čak i do 50 kp/cm^2 još uvijek nije uzrokovalo pucanje. Za limove od 0,5 mm ustanovilo se da je spec. pritisak p_{prs} od 15-18 kp/cm^2 potpuno zadovoljavajući. Pritisaci od svega 5 kp/cm^2 su sigurno preniski jer dolazi do stvaranja dugih uzdužnih nacora na plaštu lonca, a pritisci od 30 i više kp/cm^2 su ne samo beskorisno visoki, već late uzrokuju pucanje vučenog lonca.

Planimetriranjem površina ispod P_z -krivulja nadjemo vrijednosti za radnju vučenja. Za vučenje lonaca iz čeličnih rondela

Ø 250 mm ove su radnje iznosile kako pokazuje slijedeća tablica

Lim debljine $s_0 = 1,20$ mm			
1. vućenje		2. i 3. vućenje	
R a d n j a			
kpm/lonac	kpm/kg lonca	kpm/lonac	kpm/kg lonca
780-880	1700-1900	1000-1100	2100-2400
Lim debljine $s_0 = 0,50$ mm			
1. vućenje		2. i 3. vućenje	
R a d n j a			
kpm/lonac	kpm/kg lonca	kpm/lonac	kpm/kg lonca
470-600	2400-3000	560-650	2800-3300

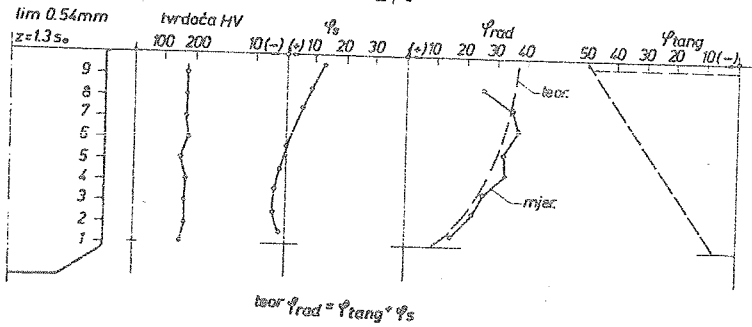
II. D e f o r m a c i j e p l a š t a. Rezultati mjerenja deformacija plašta prikazani su na sl. 6 za prvo vućenje, 7 za drugo, 8 i 9 za treće vućenje. Deformacije su izražene sa

$$\varphi_s = \ln \frac{s}{s_0}, \quad \varphi_{rad} = \ln \frac{h}{h_0}, \quad \varphi_{tg} = \ln \frac{t}{t_0}$$

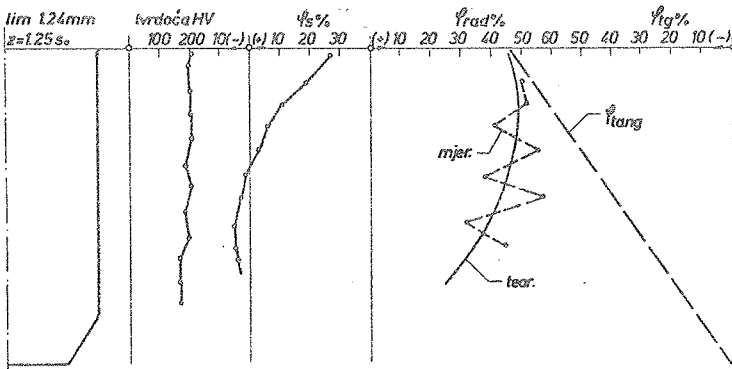
pri čemu je, kako je poznato

$$\varphi_s + \varphi_{rad} + \varphi_{tg} = 0.$$

Iz navedenih dijagrama se vidi, da su sve deformacije najveće u gornjim zonama plašta, zatim da su φ_{rad} uvijek posvuda pozitivni a φ_{tg} posvuda negativni. Što se tiče deformacija debljine stijenke φ_s vidi se, da je u slojevima bliže dancetu lonca φ_s uvijek negativno, tj. javlja se stanjenje stijenke plašta, a u gornjim slojevima bliže rubu lonca imamo redovito zadebljavanje stijenke i do vrijednosti od 12-25 %, što razumljivo zahtijeva i odgovarajuću pozitivnu zračnost z provlačne matrice, ako želimo izbjeći izduženje ovog dijela plašta u alatu. U istim slikama unesene su i vrijednosti za tvrdoću materijala plašta po visini. Vidi se, da se prvobitna tvrdoća ovih materijala od cirka 90-105 Vickersa povisuje na najveće vrijednosti od 170-180 HV, što je u skladu sa visinom stepena deformacije po visini plašta.

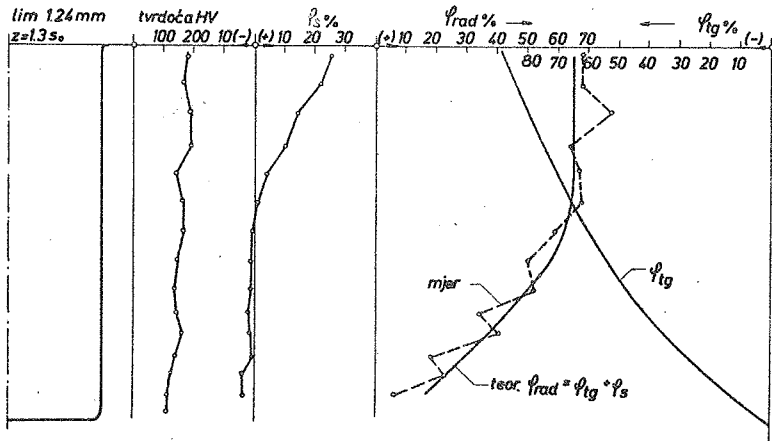


Sl.6. Tvrdća i deformacije kod 1. vućenja.

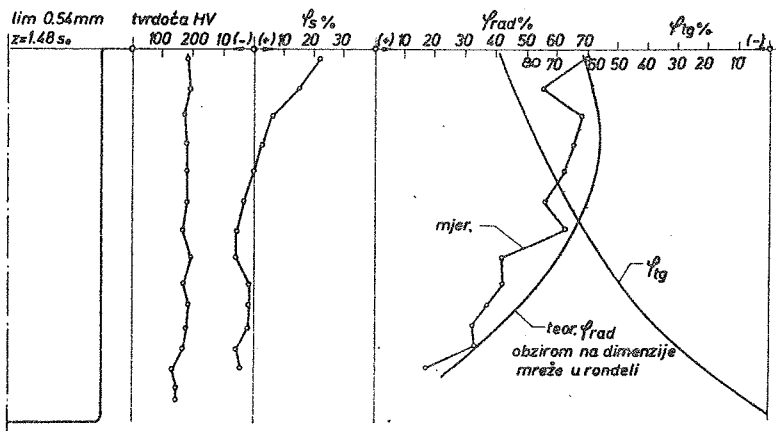


Sl.7. Tvrdća i deformacije kod 2. vućenja.

III. Otvrdnuće i očvršćenje materijala plašta. Za razliku od danceta lonca ispod ravnog čela, unutar kojeg nema ni primjetljivih deformacija kao ni promjena mehan. svojstava, možemo u prelaznoj zoni danceta u plašta pogotovo po visini plašta konstatirati općenito sve veće pojedine deformacije kao i sve izrazitije povećanje tvrdće i čvrstoće materijala. Izrezani



Sl.8 Tvrdoća i deformacije kod 3. vućenja.



Sl.9. Tvrdoća i deformacije kod 3. vućenja.

uzorci probnih štapova prema sl. 2. pokazali su kod ispitivanih čeličnih materijala slijedeće prosječne vrijednosti za ϵ_m i δ_{10} u položajima A i C nakon 1., 2. i 3. vućenja:

Vučenje	Položaj	Dim 1,2 mm		Dim 0,5 mm	
		ϵ_m	$\delta_{10} \%$	ϵ_m	$\delta_{10} \%$
1.	A	52-57	5-6	58-59	5-5,5
	C	45-46	6-7	48-50	5-6
2.	A	53-60	4-5	55-61	4,5-5
	C	48-50	4,5-5,5	49-51	5-5,5
3.	A	55-61	3,5-4,5	56-64	4-4,5
	C	50-52	4-5,0	50-53	4-5

5. Literatura

- [1] Sommer: Versuche über d. Ziehen von Hohlkörpern, Forschungsart. Ver. deutsch. Ing. K. 286, 1928.
- [2] Siebel: Das bildsame Verhalten der Metalle beim Ziehen, St. u. B. 1927.
- [3] Siebel: "Über den Kraftverlauf beim Tiefziehen und bei der Tiefungsprüfung, Mitt. F. W. Inst. Eisenforsch., Düsseldorf 11, 1929.
- [4] Draeger: Einfluss der Abrundung beim Ziehen von Hohlkörpern, Ber. betriebswiss. Arbeit., 2, 1929.
- [5] Sachs: Untersuchungen über Tiefziehen, Mitt. d. deutsch. Materialprüf. Anst., Sonderh. 16, 1931.
- [6] Sachs: New Research on the Drawing of Cylindrical Shells Proc. Inst. Aut. Eng., 29, 1934-35.
- [7] Baldwin-Howard: Folding in the Cupping Operation, Trans. A.S.M. 38, 1947.
- [8] Chung-Swift: Cup-drawing from a Flat Blank, Part 1, Experm Invest., Part 2, Analyt. Investig., Proc. Inst. Mech. Engrs., 165, 1951.
- [9] Chung-Swift: An Experimental Investigation into the Redrawing of Cylindr. Shells, Proc. Inst. Mech. Engrs., 1B, 1952.
- [10] Siebel-Weiss: Untersuch. an einigen Problemen des Tiefziehens, I. Teil.
- [11] Beisswänger - Schwandt: Untersuch. an einigen Problemen des Tiefziehens, II Teil, Forscher. d. Wirtsch. und Verkehrsministeriums Nordrhein-Westfall, Nr. 116, 117, Westdeutsch Verlag, Köln, 1954.
- [12] Loxley-Freeman: Some Intrication Effects in Deep-drawing Operations, J. Inst. of Petroleum, 40. 1954.

- [13] Swift: The Mechanism of a Simple Drawing Operation, Engineering, 178, 1954.
- [14] Senior: Flange wrinkling in Deep-drawing Operations, J. Mech. and Phys. Solids, 4, 1956.
- [15] Storožev-Popov: Teorija obrabotki metallov davlenijem, Moskva, 1957.
- [16] Alexander: An Appraisal of the Theory of Deep Drawing, Met. Rev., 5, 1960.
- [17] Šofman: Teorija i račot processov holodnoj šampovki, Mašinostrójenija, Moskva, 1964.
- [18] Hermans: Ein Beitrag zur Theorie des Tiefziehens, Blech, Dez. 1968.

J. Hribar

Die Prüfte und Umformungsgrade beim Tiefziehen von dünnwandigen Ziehtteilen

Es wurde versucht durch das Tiefziehen von Ronden und Töpfen den Einfluss der Halterkraft, der Ziehkantabrundung, der Ziehsplattweite und der Schmiermittel auf die Grösse der Sterpelkraft sowie den zur Vermeidung der Faltenbildung notwendigen Mindesthalterdruck festzustellen. Aus den erhaltenen Kraft-Weg Diagrammen konnte auch der spezifische Arbeitsverbrauch errechnet werden. Die eingezeichneten Netze auf Ronden und Mantelflächen ermöglichten die Deformationen zu verfolgen und Umformungsgrade zu bestimmen. Es wurde auch die Verfestigung des weichen Ausgangsmaterials und seine Härtesteigerung entlang der ausgezogenen Mantelhöhe gemessen.

J. I n d o f x/

OBRADA ČELIKA DEFORMACIJOM U HLADNOM STANJU /HLADNO UTISKIVANJE/
PRIMIJENJENA U PROIZVODNJI KALUPA ZA PRERADU POLIPLASTA XX/

1. Uvod

Obrada metala može se vršiti različitim postupcima koje grupiramo u dvije velike grupe obrada. Razlikujemo postupke obrade sa odvajanjem materijala /skidanje strugotine/ i postupke obrade bez odvajanja materijala. U skupini obrada bez odvajanja materijala nalaze se postupci obrade deformacijom. Hladno utiskivanje je obrada deformacijom kod temperatura nižih od temperature rekristalizacije materijala koji se obradjuje.

Proizvodnja kalupa za preradu poliplasta je grana alatničarstva koja u posljednje vrijeme sve većom primjenom poliplasta dobiva na značenju. Istodobno se množe i problemi koje treba rješavati da bi se proizveli kvalitetni kalupi s kojima je moguća ekonomična proizvodnja proizvoda od poliplasta. Traženja uslovljena rješavanjem tih problema dovode nas do novih tehnologija obrade materijala / u prvom redu čelika / ili modificiranja već poznatih načina obrade. Jedan od takovih postupaka je i hladno utiskivanje. Već su dugo vremena poznati takovi i slični postupci

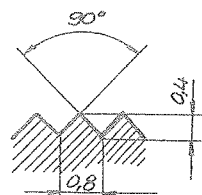
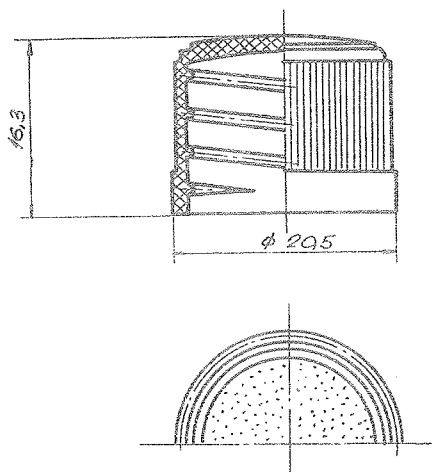
x/ Janez Indof, dipl.ing., šef projektno-konstrukcionog odjela Pogona alatnice, OKI-PRERADA, Zagreb, Savska 131

xx/Saopćenje iz Pogona alatnice, OKI-PRERADA, Zagreb, sadrži neke rezultate iz proizvodnje kalupa za preradu poliplasta

obrade. Koristeći se saznanjima i iskustvom drugih u okviru Pogona alatnice traže se rješenja koja iziskuje specifičnost proizvodnje i vlastite mogućnosti. Navedeni primjer plod je takovog rada.

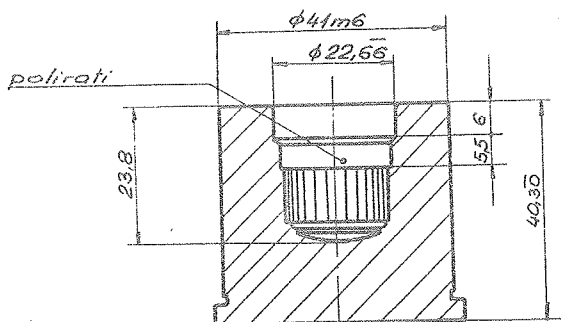
2. Postavljanje zadatka

Potrebno je izraditi kalup za proizvodnju izratka prema slici 1.



Sl. 1. Proizvod od duroplasta s unutarnjim navojem i sitnim ozubljenjem na vanjskom plaštu

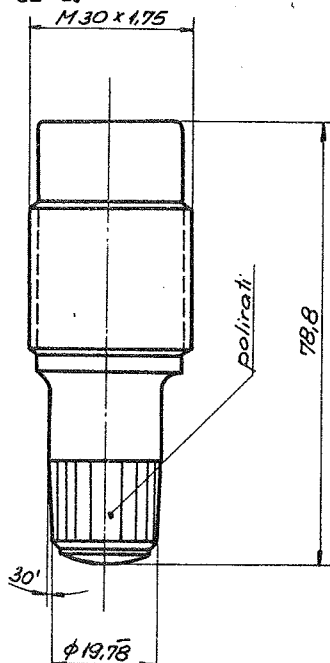
Izgled dijela kalupa koji oblikuje vanjsku plohu proizvoda prikazan je na slici 2. Taj dio konstruiran je tako da zadovoljava uv-



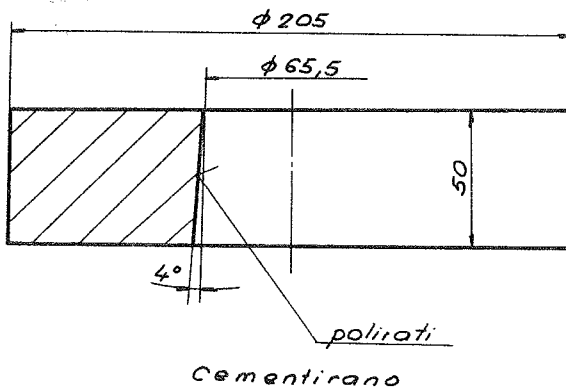
jetima prerade duroplasta i da omogućuje ekonomičnu izradu tog dijela. Za jedan kalup potrebno je 18 komada spomenutog dijela, a zbog karakteristika proizvodnje predviđa se izrada rezervnih dijelova.

Sl. 2. Matrica kalupa za prešanje duroplasta

Za ovaj slučaj predviđena su 4 rezervna komada. Za tu količinu predviđa se da je hladno utiskivanje najekonomičniji postupak izrade [1]. Da bi se moglo provesti hladno utiskivanje potrebno je odabrati pogodan materijal, te pripremiti utiskivalo, prsten za pridržavanje i napravu za vadjenje utiskivala. Utiskivalo je prikazano na slici 3, a prsten za pridržavanje na slici 4.



Sl. 3. Utiskivalo



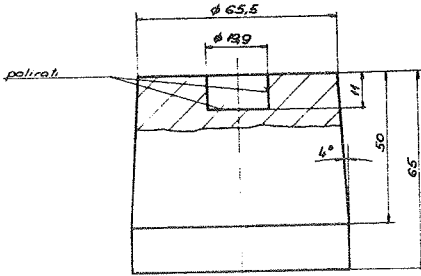
Sl. 4. Prsten za pridržavanje kod utiskivanja

remljeni pripremak i t.d.

3. Pripreme za izvođenje utiskivanja

U primjeru koji obradujemo utiskivanje se vršilo u materijal X 6 Cr Mo 5 /Phoenix Parforce Special 5 - Schoeller Bleckmann/.

Pripremak je izradjen kako je to prikazano na slici 5. Utiskivalo je izradjeno od čelika Č.4750 i zakaljeno na 60-61 HRC. Površine utiskivala i priprema obradjene su kako je to označeno na slikama, čime je zagarantirana uspješno utiskivanje, kao i vadjenje utiskivala iz utisnutog komada. Za vadjenje utiskivala predviđena je naprava u obliku matice koja se navrće na utiskivalo. Utiskivalo ima u tu svrhu izveden navoj M 30x1,75. Time je zagarantirana aksijalnost vadjenja utiskivala i izbjegnuta mogućnost loma ili oštećivanja netom utisnute površine.



Sl. 5. Pripremak za utiskivanje

4. Izvodjenje utiskivanja

Utiskivanje se izvodilo na specijalno gradjenoj utiskivalici proizvodnje Sack & Kiesselbach Maschinenfabrik G.M.B.H. Düsseldorf-Rath. Najveća sila utiskivanja koja se može postići na spomenutoj utiskivalici iznosi 160 Mp.

Prethodnim proračunom, polazeći od zahtjeva danih crtežima 2 i 5, te jednom od metoda za određivanje potrebne sile utiskivanja [2] određeno je da će za utiskivanje proizvoda prikazanog slikom 2 biti potrebna sila od 75 do 80 Mp. Kod toga je pretpostavljeno sljedeće:

promjer utiskivanja.....	19,9 mm
dubina utiskivanja.....	14 mm
tvrdća materijala / po Brinellu /.....	130 kp/mm ²

Brzina utiskivanja kretala se oko 1,5 mm/min, što je mala brzina karakteristična za ovu tehniku obrade deformacijom. Da bi se pod danim uvjetima utiskivanjem dobio zadovoljavajući rezultat potrebna je bila sila od 85 Mp. To je dovoljno blizu proračunatoj veličini, te se time potvrđuje metoda za određivanje potrebne sile utiskivanja.

Kao sredstvo za podmazivanje služila je pasta na bazi MoS₂. Proizvođač paste je MOLYKOTE KG, 8 München 54, naziv paste je Paste G-Rapid. Na očišćeno utiskivalo /odmašćeno alkoholom/ ta se pasta lagano nanosi mekanim kistom. Obzirom na složenost oblika koji se utiskuje /sitno ozubljenje/ na opisani način postignuti su zadovoljavajući rezultati. Tokom rada pokazala se potreba za zamjenom utiskivala, budući da je na jednom utiskivalu došlo do mrvljenja zubiju. Tako se pokazalo opravdanim da se za utiskivanje većeg broja komada pripremi više utiskivala / u ovom slučaju dva komada/.

5. Zaključak

Opisani primjer pokazuje da je postupkom hladnog utiskivanja moguće izvesti dijelove kalupa za preradu poliplasta, koji se inače obično izvode rovašenjem na tokarskom stroju. Obzirom na tehniku prerade poliplasta, dio proizveden utiskivanjem daje mnogo bolji rezultat, budući da su zupci izvedeni pravilno /tačno prema utiskivalu na kojem je ozubljenje izvedeno brušenjem /, da je kvaliteta površine bolja te da su svi dijelovi dobiveni jednim utiskivalom potpuno jednaki. Ekonomičnost takovog postupka izrade dijelova kalupa za preradu poliplasta očituje se u jednostavnoj izradi utiskivala, jednostavnim pripremnim radovima

i relativno kratkom vremenu trajanja utiskivanja.

6. Literatura

- [1] J. Indof, Izrada dijelova kalupne šupljine hladnim utiskivanjem, Tehnika-Mašinstvo, Beograd /1969/
- [2] VDI Kalteinsenkten von Werkzeugen VDI 3170, August 1961

J. I n d o f

DIE BEARBEITUNG VON STAHL DURCH DEFORMATION IM KALTEN ZUSTAND
/KALTSSENKEN DES STAHLDES/ BEI DER PRODUKTION VON WERKZEUGEN FUER
PLASTEVERARBEITUNG

Bei der Betrachtung des Problems in Verbindung mit der Herstellung von Formteilen begegnen wir die Methoden die Kalteinsenkten genannt wird. Dies ist ein Verfahren aus der Gruppe nicht-spannender Bearbeitung. Ausgehend von einer Reihe von Standpunkten ist das Kalteinsenkten ein modernes Verfahren, welches grosse Vorteile in der Wirtschaftlichkeit, der Qualität und eine rasche Herstellung der Formen für Verarbeitung der Plastmassen ermöglicht und deshalb wäre es wünschenswert, diesem Verfahren die ganze Aufmerksamkeit zu widmen.

VI SAVJETOVANJE O PROIZVODNOM STROJARSTVU, OPATIJA, 1970.

V. V u j o v i ć^{x/}

NAPONI I DEFORMACIJE PRI HLADNOM ROTACIONOM KOVANJU CJEVASTIH PROIZVODA^{xx/}

1. Uvod

Razmatraju se veličine napona koji se javljaju u toku izvođenja operacije konificiranja cijevi putem rotacionog kovanja, veličine deformacija i veze između napona i deformacija. Osnovu razmatranja čini teoretska analiza. Međutim, za rešavanje postavljene diferencijalne jednačbe koriste se i rezultati pokusa koji su izvedeni na stroju za rotaciono kovanje u jednom zagrebačkom poduzeću, gdje se taj stroj koristi za oblikovanje nožica metalnog namještaja.

2. Teoretske podloge

Naponsko stanje u nekoj tački tijela najopćenitije je određeno tenzorom napona koji sadrži devet različitih veličina

$$\tau_{\sigma} = \begin{Bmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{Bmatrix} \dots\dots\dots/1/$$

Obzirom da se dokazuje da je

$$\tau_{xy} = \tau_{yx}; \tau_{yz} = \tau_{zy}; \tau_{zx} = \tau_{xz}$$

to tenzor napona sadrži ne devet već šest različitih veličina. Tenzor napona u potpunosti opisuje naponsko stanje u datoj tački. Kod elastičnih deformacija nastupa promjena zapremine i

^{x/} Vlado Vujović, dipl.ing., viši asistent Instituta za alatne strojeve, Zagreb, Đure Salaja 1

^{xx/} Saopćenje iz Instituta za alatne strojeve, Zagreb, dio je teme koju sufinancira Republički fond za naučni rad SRH

promjena oblika, pri čemu se promjena zapremine vrši pod dejstvom srednjeg ili hidrostatičkog pritiska u datoj tački:

$$\sigma_m = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3} = \frac{\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z}{3} \dots\dots\dots /2/$$

a promjena oblika se vrši samo pod dejstvom smičućih napona. Zbog toga je povoljno prikazati tenzor napona u obliku sume

$$\overline{\sigma} = \sigma_m \cdot T_1 + D_\sigma \dots\dots\dots /3/$$

gdje je

$\sigma_m T_1$ - sferični tenzor koji odgovara srednjem pritisku u tački;

T_1 - jedinični tenzor;

D_σ - devijator napona.

Pri tome je

$$T_1 = \begin{Bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{Bmatrix}; \quad \sigma_m T_1 = \begin{Bmatrix} \sigma_m & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_m & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_m \end{Bmatrix}$$

Na taj način devijator napona, koji karakterizira smičuće napone u datoj tački može se prikazati u obliku razlike tenzora napona i sferičnog tenzora

$$D_\sigma = \begin{Bmatrix} \sigma_x - \sigma_m & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y - \sigma_m & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z - \sigma_m \end{Bmatrix} \dots\dots\dots /4/$$

Stanje deformacija u datoj tački u potpunosti je određeno sa šest komponentnih deformacija, tri aksijalne i tri smičuće. Slično tenzoru napona može se sastaviti tenzor deformacija

$$T_\epsilon = \begin{Bmatrix} \epsilon_x & \frac{1}{2}\delta_{xy} & \frac{1}{2}\delta_{xz} \\ \frac{1}{2}\delta_{yx} & \epsilon_y & \frac{1}{2}\delta_{yz} \\ \frac{1}{2}\delta_{zx} & \frac{1}{2}\delta_{xy} & \epsilon_z \end{Bmatrix} \dots\dots\dots /5/$$

Keo i kod napona i tenzor deformacija se može prikazati u obliku

$$T_\epsilon = \epsilon_m T_1 + D_\epsilon \dots\dots\dots /6/$$

gdje je

ϵ_m - srednja deformacija i iznosi

$$\epsilon_m = \frac{1}{3}(\epsilon_x + \epsilon_y + \epsilon_z)$$

$\epsilon_m T_1$ - sferični tenzor, koji karakterizira izmjenu zapremine:

$D_{\mathcal{E}}$ - devijator deformacija koji karakterizira promjenu oblika i jednak je izrazu

$$D_{\mathcal{E}} = \begin{Bmatrix} \mathcal{E}_x - \mathcal{E}_m & \frac{1}{2} \gamma_{xy} & \frac{1}{2} \gamma_{xz} \\ \frac{1}{2} \gamma_{yx} & \mathcal{E}_y - \mathcal{E}_m & \frac{1}{2} \gamma_{yz} \\ \frac{1}{2} \gamma_{zx} & \frac{1}{2} \gamma_{zy} & \mathcal{E}_z - \mathcal{E}_m \end{Bmatrix} \dots\dots\dots /7/$$

Kod razvijenih procesa plastične deformacije, kada se elastične deformacije mogu zanemariti, na primjer pri obradi metala plastičnom deformacijom, interesantan je devijator deformacija a ne cijeli tenzor deformacija.

Veza napona i deformacija u teoriji malih elastično-plastičnih deformacija uspostavlja se uvjetom da su devijatori deformacija i napona slični i koaksijalni /podudaraju im se glavni pravci/:

$$D_{\mathcal{E}} = \Psi D_{\sigma} \dots\dots\dots /8/$$

Međutim ova veza ne vrijedi u teoriji plastičnog tečenja, tj. u području obrade metala deformacijom. Za područje razvijenog procesa plastične deformacije, gdje se elastične deformacije mogu zanemariti /kruta plastičnost/, veza deformacije i napona uspostavlja se uvjetom da je devijator priraštaja plastične deformacije proporcionalan devijatoru napona:

$$D_{d\mathcal{E}}^p = \lambda D_{\sigma} \dots\dots\dots /9/$$

Razvijen oblik izraza /9/ po odgovarajućim komponentama devijatora uz uzimanje u obzir da je $\mathcal{E}_m = 0$, daje sistem od šest algebarskih jednažbi

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_x &= \lambda (\tilde{\sigma}_x - \tilde{\sigma}_m); \gamma_{xy} = 2 \lambda \tau_{xy} \\ \mathcal{E}_y &= \lambda (\tilde{\sigma}_y - \tilde{\sigma}_m); \gamma_{yz} = 2 \lambda \tau_{yz} \\ \mathcal{E}_z &= \lambda (\tilde{\sigma}_z - \tilde{\sigma}_m); \gamma_{zx} = 2 \lambda \tau_{zx} \end{aligned} \dots\dots\dots /10/$$

Početku plastičnog tečenja, dakle nepovratne plastične deformacije, odgovara neki potpuno određeni odnos između napona. Taj odnos se izražava jednažbom plastičnosti, koja ima najprostiji oblik

$$\tilde{\sigma}_1 - \tilde{\sigma}_3 = K \dots\dots\dots /11/$$

pogodan za praktičnu upotrebu pri rješavanju problema obrade metala plastičnom deformacijom. U izrazu /11/ su oznake

$\tilde{\sigma}_1; \tilde{\sigma}_3$ - glavni naponi;

K - specifični deformacioni otpor ili stvarna granica popuštanja.

Navedene teoretske podloge čine osnovu u obradi postavljenog problema.

3. Određivanje napona

U toku procesa deformacije pojavljuje se smanjenje promjera cijevi, povećanje debljine stjenke i aksijalno produženje. Na slici 1 šematski je prikazan presjek konificirane cijevi pri čemu je polazni spoljni polumjer R_0 i krajnji /nakon deformacije/ R_1 . U procesu rotacionog kovanja uslijed nagiba površine alata, koji formira određeni konus na cijevi, nije po cijeloj dužini aktivnog dijela alata /konusa/ isti smjer aksijalnog tečenja metala. Kao posljedica ovoga na početnom /prvom/ dijelu konusa sila trenja ima smjer pozitivan, a na drugom dijelu konusa suprotan ovome. Zbog toga se za određivanje napona razmatraju dvije zone deformacije duž konusa: prvo zona - lijevo od ravnine A - A i druga zona - desno od ove ravnine.

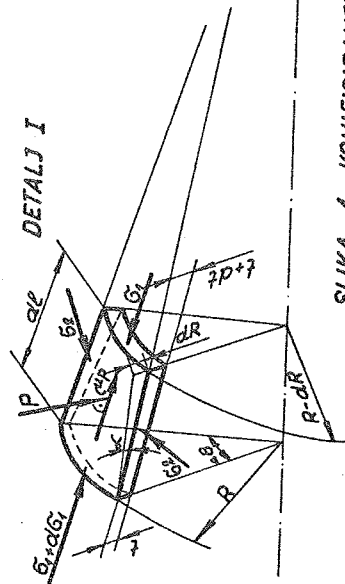
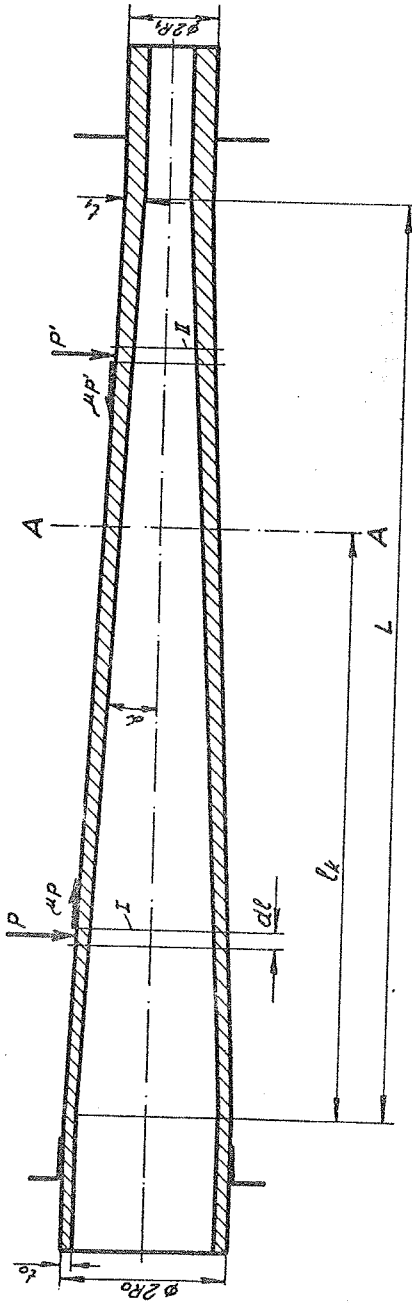
Za prvu zonu šema napona koji djeluju na izrezani element pokazana je na detalju I, a za drugu zonu na detalju II. U suštini razlika je samo u smjeru sile trenja. Granicu između ove dvije zone deformacije predstavlja presjek u kome nema aksijalnog tečenja metala. Ovaj presjek označen je sa A - A.

Jednažbe za napone i deformacije posebno se određuju za svaki slučaj - za svaku zonu, a zatim se određuje kritični presjek, gdje nema aksijalnog tečenja - premještanja metala.

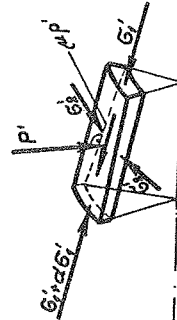
3.1 Naponi u području I

Da bi se došlo do diferencijalne jednažbe koja opisuje naponsko stanje, promatra se ravnoteža svih sila koje djeluju na izrezani element u pravcu izvodnice konusa cijevi i pravcu okomitom na ovaj.

OD.16.4



DETALJ II



SLIKA 1 - KONIFIRANJE ROTACIONIM KOVANJEM

Ravnoteža sila u pravcu okomitom na vanjsku površinu elementa

$$\sum F_R = 0$$

$$p \cdot R \cdot \Delta\theta \frac{dR}{\sin\alpha} - 2G_2 \cdot t \cdot \frac{dR}{\sin\alpha} \cdot \sin \frac{\Delta\theta}{2} \cos\alpha = 0 \quad \dots/12/$$

Pošto je kut $\Delta\theta$ mala veličina to se aproksimativno može uzeti da je $\sin \frac{\Delta\theta}{2} \approx \frac{\Delta\theta}{2}$. Uzimajući ovo u obzir jednačba /12/ prelazi u oblik

$$p = G_2 \cdot \frac{t}{R} \cdot \cos\alpha \quad \dots \dots /13/$$

Ravnoteža sila duž elementa

$$\sum F_1 = 0$$

$$(G_1 + dG_1)R\Delta\theta \cdot t - G_1(R-dR)\Delta\theta(t+dt) + pR\Delta\theta \frac{dR}{\sin\alpha} - 2G_2 \frac{dR}{\sin\alpha} \cdot t \cdot \sin\alpha \cdot \sin \frac{\Delta\theta}{2} = 0 \quad \dots/14/$$

Obzirom na relaciju /13/ i nakon matematskih sređivanja dobiva se

$$dG_1 \cdot R \cdot t - G_1 R dt + G_1 dR \cdot t + \mu G_2 t dR \cot\alpha - G_2 dR \cdot t = 0 \quad \dots/15/$$

U diferencijalnoj jednačbi /15/ pojavljuju se dvije varijable napona - G_1 i G_2 i dvije varijable koje predstavljaju geometrijske karakteristike sa njihovim diferencijalima. Želja je da se dođe po mogućnosti do funkcionalne zavisnosti napona od promjene polumjera. Da bi se došlo najprije do diferencijalne jednačbe koja daje takvu vezu potrebno je eliminirati iz jednačbe /15/ napon G_2 debljinu stjenke cijevi t i diferencijal te debljine. Eliminacija napona G_2 može se izvršiti korištenjem jednačbe plastičnosti. Za eliminaciju debljine t potrebno je naći neku vezu između R i t .

Prvi pokušaj u ovom pravcu bio je da se pretpostavi debljina stjenke u toku deformacije konstantnom. Ovu sugestiju daje literatura, gdje se za slučaj izvlačenja cijevi bez unutrašnjeg trna kaže da se sa ovom pretpostavkom ne griješi puno, jer za taj slučaj promjena debljine stijenke nema velikog utjecaja na naponsko stanje. Smatrajući da se ova analogija može primjeniti i na rotaciono kovanje pokušalo se tim putem doći do rješenja za napone i deformacije.

Ako se uzme da je $t = \text{const}$, odn. $dt = 0$ onda se jedan član

u jednadžbi /15/ eliminira /postaje nula/ a svi drugi sadrže varijablu t pa se time varijabla t eliminira. Tada jednadžba /15/ prelazi u oblik.

$$d\tilde{\sigma}_1 \cdot R + \tilde{\sigma}_1 dR + \mu \tilde{\sigma}_2 dR \cotg \alpha - \tilde{\sigma}_2 dR = 0 \quad \dots\dots/16/$$

Jednadžba plastičnosti obzirom na šemu napona za ovaj slučaj glasi

$$\tilde{\sigma}_2 - \tilde{\sigma}_1 = K \quad \dots\dots/17/$$

Zamjenom vrijednosti za $\tilde{\sigma}_2$ iz /17/ u /16/ dobiva se diferencijalna jednadžba koja se može riješiti razdvajanjem promjenljivih.

Međutim, kad su ovim putem dobiveni naponi i kasnije deformacije i ti rezultati uspoređeni sa rezultatima pokusa došlo se do zaključka, da se u slučaju rotacionog kovanja ne može uvesti pretpostavke $t = \text{const}$ jer se rezultati pokusa, na mjerenju zadebljanja zida cijevi, bitno razlikuju od onih koji se dobiju putem jednadžbi izvedenih sa ovom pretpostavkom.

Jasno je bilo da se mora uspostaviti veza između R i t i putem supstitucije u jednadžbi /15/ dovesti je u oblik moguć za rješavanje.

Ova veza je zatim tražena u samim rezultatima pokusa. Radi toga se u narednom izlaganju prvo izlažu rezultati mjerenja debljine stijenke cijevi i njenog polumjera sa statističkom obradom i dokazom veze između R i t , a zatim se daje rješenje jednadžbe /15/.

Analiza ovisnosti zadebljanja stijenke cijevi od smanjenja polumjera

U cilju otkrivanja rješenja diferencijalne jednadžbe koja određuje napone u toku deformacije potrebno je na temelju pokusa ustanoviti vezu između $\frac{t}{t_0}$ i $\frac{R_0}{R}$, dakle vezu između odnosa debljine stijenke cijevi i polazne debljine te polaznog polumjera i polumjera u toku deformacije. Analiza se provodi putem korelacije na temelju podataka iz pokusa. Prethodnim provjeravanjem je utvrđeno da ovisnost ovih vari-

jabli je približno linearna. Zbog toga se korelaciona analiza vrši pod tom pretpostavkom.

Iz statističke teorije je poznato da se pravac koji predstavlja ovisnost varijabli definira sistemom jednažbi

$$\begin{cases} \sum_i \sum_j f_{ij} y_{ij} = a \sum_i f_i X_i + Nb \\ \sum_i \sum_j f_{ij} y_{ij} X_i = a \sum_i f_i X_i^2 + b \sum_i f_i X_i \end{cases} \quad \dots/18/$$

Na temelju podataka iz pokusa nužno je odrediti koeficijente a i b u sistemu /18/ i na taj način se definira ovisnost između varijabli u obliku

$$y = ax + b \quad \dots\dots\dots/19/$$

gdje je $x = \frac{R}{R_0}$ i $y = \frac{t}{t_0}$

Rezultati pokusa se odnose na čelik i leguru AM S1 na temelju mjerenja u šest različitih položaja duž cijevi. Polazni podaci za analizu su direktni podaci mjerenja koji su sređeni u tabeli 1, gdje su izračunate i vrednosti varijabli x i y .

Vrijednosti varijabli koje su izračunate na temelju podataka pokusa i svrstane u tabelu 1 služe direktno za analizu korelacije između varijabli. Za izvođenje računa korelacije podaci o varijablama se sređuju tako da se za varijablu x uzimaju sve vrijednosti koje su dobivene, a vrijednosti varijable y svrstavaju se u razrede i u daljnji račun ulazi sredi na razreda. Ti podaci su sređeni u tabeli 2. U srednjem dijelu ove tabele unesene su frekvencije varijable y za određene vrijednosti varijable x .

Pomoću ove tabele izračunate su i sve potrebne sume za račun korelacije. Na temelju izračunatih suma, sistem jednažbi /18/ dobiva konkretni oblik

$$\begin{aligned} 208.105 &= a \cdot 209,522 + 144 b \\ 313,647 &= a \cdot 315,845 + 209,522 b \end{aligned} \quad \dots\dots\dots/20/$$

Nepoznanice u ovom sistemu su koeficijenti jednažbe /19/ a i b .

Rješenjem jednažbi /20/ po a i b dobivaju se vrijednosti za konkretni oblik jednažbe /19/.

TABELA 1.

R ₀	Grivnaka	M J E R N O M J E S T O																								
		1			2			3			4			5			6									
		R	$\frac{R_0}{R}$	$\frac{t}{t_0}$	R	$\frac{R_0}{R}$	t	R	$\frac{R_0}{R}$	t	R	$\frac{R_0}{R}$	t	R	$\frac{R_0}{R}$	t	R	$\frac{R_0}{R}$	t							
1	16,00	1,50	14,40	1,10	1,70	1,133	13,05	1,225	1,90	1,268	11,90	1,345	2,10	14,00	10,85	14,75	2,30	1,535	9,50	1,685	2,70	1,800	8,40	1,905	3,10	2,135
2	16,00	1,55	14,40	1,10	1,70	1,085	13,05	1,225	1,95	1,192	11,90	1,345	2,05	1,337	10,85	14,75	2,35	1,516	9,50	1,685	2,65	1,775	8,40	1,905	3,10	2,000
3	16,00	1,60	14,40	1,10	1,70	1,062	13,05	1,225	2,00	1,150	11,90	1,345	2,10	1,315	10,85	14,75	2,40	1,500	9,50	1,685	2,60	1,780	8,40	1,905	3,10	1,940
4	16,00	2,10	14,35	1,15	2,30	1,097	13,00	1,230	2,60	1,239	11,85	1,349	2,85	1,359	10,75	14,69	3,20	1,522	9,60	1,665	3,850	1,835	8,50	1,885	4,75	2,262
5	16,00	2,10	14,35	1,15	2,30	1,046	13,00	1,230	2,50	1,195	11,85	1,349	2,80	1,334	10,75	14,69	3,20	1,522	9,60	1,665	3,70	1,765	8,50	1,885	4,55	2,170
6	16,00	2,10	14,35	1,15	2,30	1,097	13,00	1,230	2,60	1,239	11,85	1,349	2,90	1,360	10,75	14,69	3,25	1,548	9,60	1,665	3,90	1,860	8,50	1,885	4,65	2,215
10	16,00	1,50	14,40	1,10	1,60	1,065	13,05	1,225	1,75	1,165	11,90	1,345	2,00	1,335	10,85	14,75	2,20	1,470	9,30	1,684	2,50	1,670	8,40	1,905	2,80	1,955
11	16,00	1,60	14,40	1,10	1,70	1,062	13,05	1,224	1,80	1,125	11,90	1,340	2,10	1,312	10,85	14,75	2,30	1,438	9,30	1,680	2,70	1,685	8,40	1,900	3,00	1,975
12	16,00	1,55	14,40	1,10	1,75	1,180	13,05	1,225	1,90	1,225	11,90	1,345	2,05	1,322	10,85	14,75	2,20	1,440	9,50	1,684	2,70	1,742	8,40	1,905	3,10	2,000
13	16,00	2,40	14,35	1,15	2,30	1,095	13,00	1,230	2,35	1,215	11,85	1,350	2,80	1,335	10,75	14,65	3,20	1,525	9,60	1,665	3,70	1,765	8,50	1,885	4,50	2,145
14	16,00	2,05	14,35	1,12	2,20	1,073	13,00	1,230	2,35	1,148	11,85	1,358	2,65	1,343	10,75	14,65	2,80	1,365	9,60	1,680	3,20	1,560	8,50	1,898	3,80	1,950
15	16,00	2,10	14,35	1,15	2,30	1,095	13,00	1,230	2,60	1,238	11,85	1,350	2,80	1,335	10,75	14,65	3,00	1,430	9,60	1,665	3,60	1,715	8,50	1,885	4,30	2,080
25	16,00	1,50	14,40	1,10	1,60	1,085	13,05	1,225	1,80	1,202	11,90	1,345	2,00	1,332	10,85	14,75	2,20	1,468	9,50	1,685	2,40	1,600	8,40	1,905	2,80	1,970
26	16,00	1,60	14,40	1,10	1,60	1,000	13,05	1,225	1,80	1,125	11,90	1,345	2,00	1,290	10,85	14,75	2,20	1,375	9,50	1,685	2,45	1,532	8,40	1,905	2,80	1,952
27	16,00	1,60	14,40	1,10	1,60	1,000	13,05	1,225	1,90	1,189	11,90	1,345	2,00	1,250	10,85	14,75	2,25	1,405	9,50	1,685	2,50	1,560	8,40	1,905	3,00	1,975
28	16,00	2,10	14,35	1,15	2,10	1,000	13,00	1,230	2,30	1,095	11,85	1,350	2,40	1,145	10,75	14,65	2,80	1,335	9,60	1,665	3,20	1,525	8,50	1,885	3,80	1,910
29	16,00	2,10	14,36	1,15	2,10	1,112	13,00	1,230	2,50	1,180	11,85	1,350	2,75	1,310	10,75	14,65	3,10	1,475	9,60	1,665	3,50	1,665	8,50	1,885	4,30	2,050
30	16,00	2,10	14,35	1,15	2,30	1,095	13,00	1,230	2,50	1,190	11,85	1,350	2,90	1,362	10,75	14,65	3,30	1,570	9,60	1,665	3,60	1,710	8,50	1,885	4,50	2,145
31	16,00	1,50	14,40	1,10	1,65	1,100	13,05	1,225	1,90	1,267	11,90	1,345	2,05	1,368	10,85	14,75	2,25	1,500	9,50	1,685	2,80	1,735	8,40	1,905	2,90	1,935
32	16,00	1,60	14,40	1,10	1,70	1,082	13,05	1,225	1,80	1,125	11,90	1,345	2,00	1,252	10,85	14,75	2,15	1,342	9,50	1,685	2,40	1,505	8,40	1,905	2,80	1,950
33	16,00	1,55	14,40	1,10	1,60	1,032	13,05	1,225	1,80	1,161	11,90	1,345	1,90	1,225	10,85	14,75	2,10	1,355	9,50	1,685	2,50	1,615	8,40	1,905	2,90	1,975
34	16,00	2,10	14,35	1,15	2,30	1,095	13,00	1,230	2,50	1,190	11,85	1,350	2,70	1,285	10,75	14,65	3,10	1,430	9,60	1,665	3,50	1,670	8,50	1,885	4,20	2,000
35	16,00	2,10	14,35	1,15	2,30	1,095	13,00	1,230	2,55	1,212	11,85	1,350	2,80	1,335	10,75	14,65	3,10	1,475	9,60	1,665	3,60	1,715	8,50	1,885	4,40	2,100
36	16,00	2,10	14,35	1,15	2,35	1,118	13,00	1,230	2,50	1,192	11,85	1,350	2,80	1,335	10,75	14,65	3,10	1,475	9,60	1,665	3,60	1,715	8,50	1,885	4,35	2,060

Interval X_i	1,105	1,110	1,115	1,122	1,225	1,230	1,345	1,350	1,475	1,485	1,490	1,655	1,680	1,685	1,905	1,905	f_i	$f_i \cdot X_i$	$\sum f_i \cdot X_i^2$
1000-1050; 1025	1	3	1														5	5.550	5.250
1050-1100; 1075	1	5	7	1		1											15	16.810	17.400
1100-1150; 1125		3	2		3	1		1									9	11.815	12.700
1150-1200; 1175					4	5											15	11.050	12.430
1200-1250; 1225					3	5	5	2									5	6.185	8.100
1250-1300; 1275					2		3										12	16.145	21.200
1300-1350; 1325							3	7	1	1							8	2.188	11.400
1350-1400; 1375							1	2	2		1						5	7.395	10.200
1400-1450; 1425									3	2							7	10.355	15.200
1450-1500; 1475									4	3			2				7	13.940	16.300
1500-1550; 1525									2	1	3	1		2			4	2.534	9.950
1550-1600; 1575										1							1	1.695	2.650
1600-1650; 1625												2	1	1			4	6.935	11.200
1650-1700; 1675												4	1	2			9	15.580	26.700
1700-1750; 1725												2	1	2			6	8.395	15.750
1750-1800; 1775																	4	7.380	13.350
1800-1850; 1825												1					5	9.285	17.000
1850-1900; 1875												1					2	3.810	7.150
1900-1950; 1925																	3	5.695	11.700
1950-2000; 1975																	1	1.885	4.100
2000-2050; 2025																	3	5.635	12.900
2050-2100; 2075																	2	3.770	9.000
2100-2150; 2125																	1	1.885	4.720
2150-2200; 2175																	2	3.770	9.000
2200-2250; 2225																	2	3.770	9.000
$\sum f_i$	2	11	10	1	12	12	12	12	12	8	4	4	11	3	11	11	144	209.300	389.350
$\sum f_i \cdot Y_j$	2.400	11.825	10.800	1.075	4.200	4.700	4.750	15.600	17.300	11.700	4.700	5.950	19.025	4.975	18.275	22.925	209.108		
$\sum f_i \cdot X_i$	2.240	12.240	11.150	1.122	4.700	14.750	16.150	16.200	17.700	11.970	5.960	18.310	5.040	18.550	20.750	3.600	209.532		
$\sum f_i \cdot X_i^2$	2.440	18.360	12.400	1.260	18.000	18.200	21.700	21.900	25.200	17.700	8.880	30.500	8.167	31.300	39.000	7.230	315.845		
$\sum X_i \cdot f_i \cdot Y_j$	2.320	13.150	12.030	1.208	17.500	17.480	20.625	21.050	25.500	17.375	8.960	31.650	8.340	30.800	43.200	6.930	315.917		
$\sum Y_j$	4.048	1075	1.080	1.075	1.192	1.185	1.275	1.302	1.442	1.462	1.488	17.320	1.625	1.662	2.062	1.830	1.875		

TABELA 2.

Vrednosti traženih koeficijenata su slijedeće

$$a = 0,9880 \quad \text{i} \quad b = 0,0171$$

Zamjenom vrijednosti za a i b jednačba /19/ prelazi u oblik

$$\boxed{y = 0,988x + 0,0171} \quad \dots\dots\dots /21/$$

Dokaz da je ovisnost između varijabli x i y linearna svodi se na izračunavanje koeficijenta korelacije i u koliko je njegova vrijednost bliska jedinici, ovisnost varijabli je bliska linearnoj.

Iz statističke teorije je poznato da je koeficijent korelacije

$$r = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \cdot \sigma_y} \quad \dots\dots\dots /22/$$

Najprije se izračunavaju kovarijanca σ_{xy} i standardne devijacije σ_x i σ_y

Kovarijanca

$$\sigma_{xy} = \frac{1}{N} \sum_i \sum_j f_{ij} \cdot X_{ij} \cdot Y_{ij} - \bar{X} \cdot \bar{Y}$$
$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_i f_i \cdot X_i = \frac{209,522}{144} = 1,453$$

gdje je

$$N = \sum_i \sum_j f_{ij} = 144$$
$$\bar{Y} = \frac{1}{N} \sum_j f_j \cdot Y_j = \frac{208,107}{144} = 1,438$$
$$\sigma_{xy} = \frac{315,647}{144} - 1,453 \cdot 1,438 = 0,0806$$

Standardne devijacije se također izračunavaju na temelju podataka iz tabele 2.

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{N} \sum_i f_i \cdot X_i^2 - \bar{X}^2 = \frac{315,845}{144} - 2,11209 = \sigma_x^2 = 0,092.000$$
$$\sigma_y^2 = \frac{1}{N} \sum_j f_j \cdot Y_j^2 - \bar{Y}^2 = \frac{309,35}{144} - 1,438 = \sigma_y^2 = 0,076279$$

Koeficijent korelacije bit će

$$r = \frac{0,0806}{\sqrt{0,092 \cdot 0,076279}} = 0,966$$

Kada bi koeficijent korelacije bio jednak jedinici onda bi sve tačke ovisnosti varijabli y i x ležale na pravcu /21/.

Međutim u toku pokusa nastupaju određene greške, koje se ovdje mogu pripisati slučaju. Vrijednost koeficijenta korelacije od 0,966 može se smatrati veoma bliskom jedinici i time se dokazuje da je ovisnost između varijabli y i x bliska linearnoj ovisnosti.

Iz prirode samog problema je jasno da taj pravac mora prolaziti kroz tačku sa koordinatama /1,1/.

Na temelju ovoga dokaza može se aproksimativno pisati ovisnost između varijabli u obliku

$$\frac{t}{t_0} = C \cdot \frac{R_0}{R} \text{ odn. } t = C_1 \cdot \frac{1}{R} \quad \dots\dots\dots /23/$$

Ova relacije se koristi u rješavanju diferencijalne jednadžbe ravnoteže /15/. U jednadžbi /23/ C_1 je konstanta. Grafički prikaz korelacije varijabli x i y daje se na slici 2, pri tome se za prevac izračunavaju vrijednosti prema jednadžbi /21/ i prikazuju se punom linijom. Aritmetičke sredine se uzimaju iz tabele 2, i prikazuju crtkanom /izlomljenom/ linijom.

Zamjenom vrijednosti za t iz /23/ u diferencijalnoj jednadžbi /15/ dobiva se

$$dG_1 \cdot R \cdot \frac{C_1}{R} + G_1 \cdot R \cdot \frac{dR}{R^2} \cdot C_1 + G_1 \cdot dR \cdot \frac{C_1}{R} + \mu \cdot G_2 \cdot \frac{C_1}{R} dR \cotg \alpha + G_2 dR \frac{C_1}{R} = 0 \quad \dots\dots /24/$$

Mogućim skraćivanjem i sređivanjem dobiva se

$$\frac{dG_1}{R(\mu \cotg \alpha - 1) + G_1(\mu \cotg \alpha + 1)} = - \frac{dR}{R} \quad \dots\dots /25/$$

Rješenje diferencijalne jednadžbe /25/ daje funkcionalnu ovisnost napona duž stijenke cijevi od promjene polumjera.

Obzirom na polezne uvjete

$$\text{za } R = R_0; G_1 = 0$$

dobiva se definitivni oblik rješenja.

$$\frac{G_1}{K} = \frac{\mu \cotg \alpha - 1}{\mu \cotg \alpha + 1} \cdot \left[\left(\frac{R_0}{R} \right)^{\mu \cotg \alpha + 1} - 1 \right] \quad \dots\dots /26/$$

Korištenjem jednadžbe plastičnosti /17/ dolazimo do napona

$$\frac{G_2}{K} = \frac{\mu \cotg \alpha - 1}{\mu \cotg \alpha + 1} \cdot \left[\left(\frac{R_0}{R} \right)^{\mu \cotg \alpha + 1} - 1 \right] + 1 \quad \dots\dots /27/$$

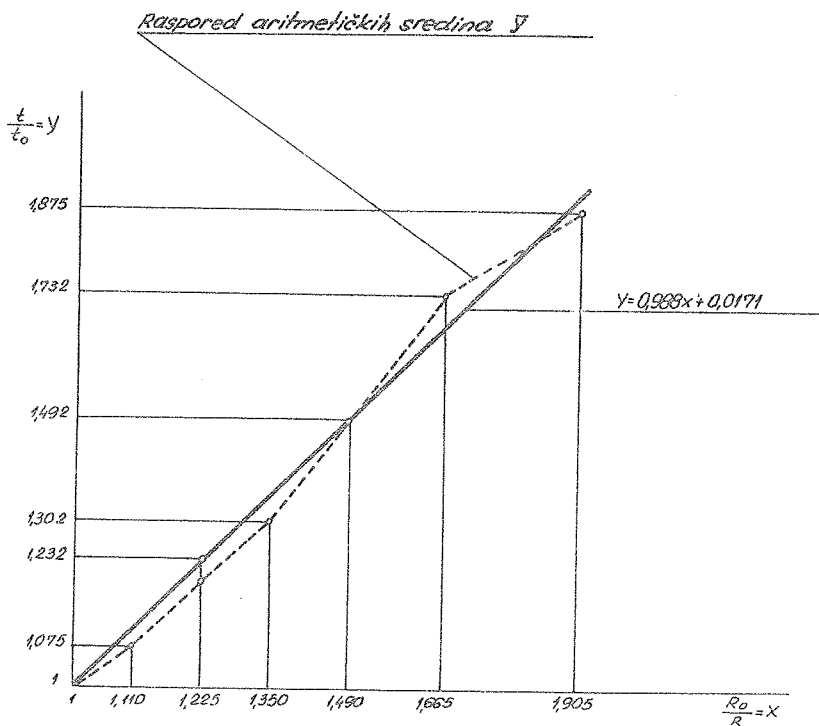
a korištenjem relacije /13/ dobiva se i izraz za pritisak p

$$\frac{p}{K} = \frac{G_2}{K} \cdot \frac{t}{R} \cos \alpha$$

$$\frac{p}{K} = \left\{ \frac{\mu \cotg \alpha - 1}{\mu \cotg \alpha + 1} \left[\left(\frac{R_0}{R} \right)^{\mu \cotg \alpha + 1} - 1 \right] + 1 \right\} \frac{t}{R} \cdot \cos \alpha \quad \dots\dots /28/$$

3.2 Naponi u području II

Ze određivanje napona u području II koristi se detalj II i presjek II.



- t - Debljina stijene cijevi nakon deformacije
- t_0 - Polazna debljina stijena cijevi
- R - Polunjer cijevi nakon deformacije
- R_0 - Polazni polunjer cijevi

Napomena:

*Za korelacioni račun uzeta su 144 mjerenja.
Na 24 uzorka od čelika i Al-legure.*

SLIKA 2 - Prikaz zavisnosti odnosa $\frac{t}{t_0}$ i $\frac{R_0}{R}$

*Puna linija - pravac dobiven računom korelacije
crtkana linija povezuje tačke aritmetičkih sredina.*

Za ovaj slučaj uslov ravnoteže radijalnih sila daje također vezu između pritiska p' i napona σ_2'

$$p' = \sigma_2' \frac{t}{R} \cos \alpha \quad \dots\dots/13'/$$

Uslov ravnoteže sila duž elemenata na isti način dovodi do diferencijalne jednačbe

$$d\sigma_1' R t - \sigma_1' R dt + \sigma_1' dR t - \mu \sigma_2' t dR \cot \alpha - \sigma_2' dR \cdot t = 0 \quad \dots\dots/15'/$$

Korištenjem veze između t i R dobivene pokusno i za granične uvjete

$$\text{za } R = R_1; \sigma_1' = 0$$

dobivaju se izrazi za napone σ_1' , σ_2' i p' u području II koji su slični onima za područje I. Rezultati računa daju se u tabeli 3, gdje se usporedno vide vrijednosti u oba područja.

Da bi se mogle računati konkretne vrijednosti pojedinih napona nužno je odrediti položaj kritičnog presjeka odnosno presjeka u kome nema aksijalnog tečenja metala. Taj presjek se određuje posebnim računom iz uvjeta $\sigma_1 = \sigma_1'$ koji se ovdje ne navodi, već se koristi rezultat tog računa: $R_k = 11,6$ mm odnosno $l_k = 189$ mm.

U tabeli 4 izračunavaju se vrijednosti za $\frac{\sigma_1}{K}$, $\frac{\sigma_2}{K}$ i $\frac{p}{K}$ odnosno $\frac{\sigma_1'}{K}$, $\frac{\sigma_2'}{K}$ i $\frac{p'}{K}$ primjenjujući ranije izvedene jednačbe za konkretni primjer. Vrijednosti su izračunate za tri različite vrijednosti koeficijenta trenja i to $\mu = 0,1$, $0,12$ i $0,14$.

Vrijednosti iz tabele 4 za napone prikazane su grafički na slikama 3, 4 i 5. Prikaz je dat na taj način da se na ordinatama nanose vrijednosti odnosa $\frac{\sigma_1}{K}$, $\frac{\sigma_2}{K}$ i $\frac{p}{K}$ odnosno $\frac{\sigma_1'}{K}$, $\frac{\sigma_2'}{K}$ i $\frac{p'}{K}$ a na apscisama odnos $\frac{R}{R_0}$.

Navedeni grafički prikazi mogu dobro poslužiti za ocjenu toke napona, odnosno specifičnog pritiska, duž alata kao i za uvid u njihove odnose. Na temelju provedene analize napona i specifičnog pritiska mogu se izvesti slijedeći zaključci:

TABELA 3.

NAPON	PODRUČJE I	PODRUČJE II
AKSIJALNI	$\frac{G_1}{K} = \frac{\mu \cot \alpha - 1}{\mu \cot \alpha + 1} \cdot \left[\left(\frac{R_0}{R} \right)^{\mu \cot \alpha + 1} - 1 \right]$	$\frac{G_1'}{K} = \frac{\mu \cot \alpha + 1}{\mu \cot \alpha - 1} \left[\left(\frac{R}{R_1} \right)^{\mu \cot \alpha - 1} - 1 \right]$
TANGENCIJALNI	$\frac{G_2}{K} = \frac{\mu \cot \alpha - 1}{\mu \cot \alpha + 1} \cdot \left[\left(\frac{R_0}{R} \right)^{\mu \cot \alpha + 1} - 1 \right] + 1$	$\frac{G_2'}{K} = \frac{\mu \cot \alpha + 1}{\mu \cot \alpha - 1} \left[\left(\frac{R}{R_1} \right)^{\mu \cot \alpha - 1} - 1 \right] + 1$
RADIJALNI	$\frac{P}{K} = \left[\frac{\mu \cot \alpha - 1}{\mu \cot \alpha + 1} \left[\left(\frac{R_0}{R} \right)^{\mu \cot \alpha + 1} - 1 \right] + 1 \right] \frac{1}{R} \cos \alpha$	$\frac{P'}{K} = \left[\frac{\mu \cot \alpha + 1}{\mu \cot \alpha - 1} \left[\left(\frac{R}{R_1} \right)^{\mu \cot \alpha - 1} - 1 \right] + 1 \right] \frac{1}{R} \cos \alpha$

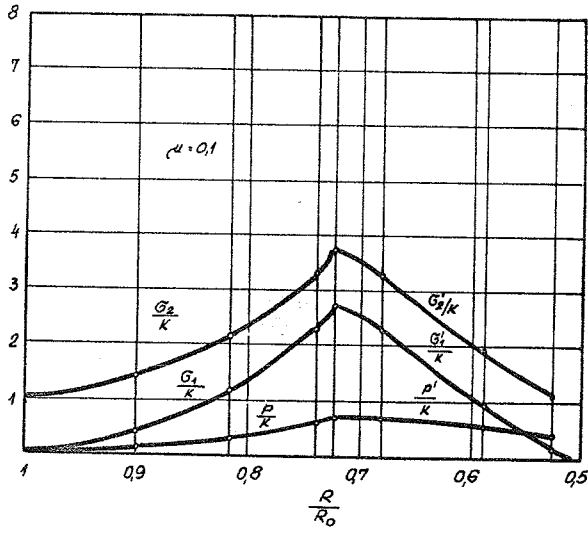
$$\frac{G'_1}{K} = \frac{\alpha}{b} \left[\left(\frac{R_0}{R_1} \right)^b - 1 \right]; \quad \frac{G'_1}{K} = \frac{b}{a} \left[\left(\frac{R}{R_1} \right)^a - 1 \right]; \quad \alpha = \mu \cot \gamma \alpha - 1; \quad b = \mu \cot \gamma \alpha + 1$$

$$\frac{G'_2}{K} = \frac{\alpha}{b} \left[\left(\frac{R_0}{R} \right)^b - 1 \right] + 1; \quad \frac{G'_2}{K} = \frac{b}{a} \left[\left(\frac{R}{R_1} \right)^a - 1 \right] + 1; \quad \frac{R}{K} = \frac{G'_2}{K} \cdot \frac{1}{R} \cos \alpha; \quad \frac{R'}{K} = \frac{G'_2}{K} \cdot \frac{1}{K} \cdot \frac{1}{R} \cos \alpha$$

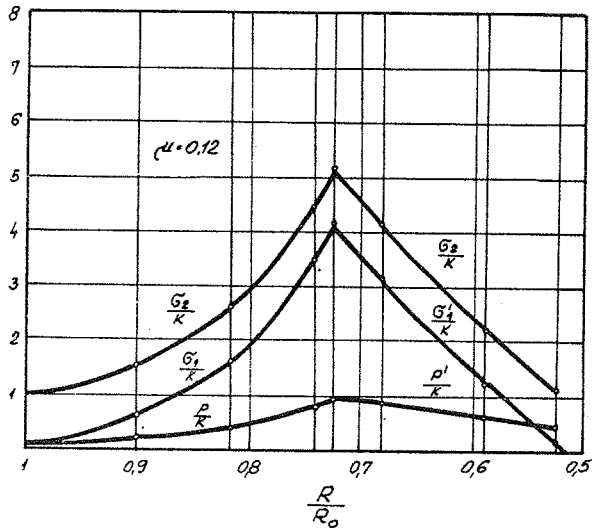
$\alpha = 10^\circ 20'$; $\cot \gamma \alpha = 42,96$; $R_0 = 16 \text{ mm}$; $R_1 = 8,25 \text{ mm}$.

TABELA 4.

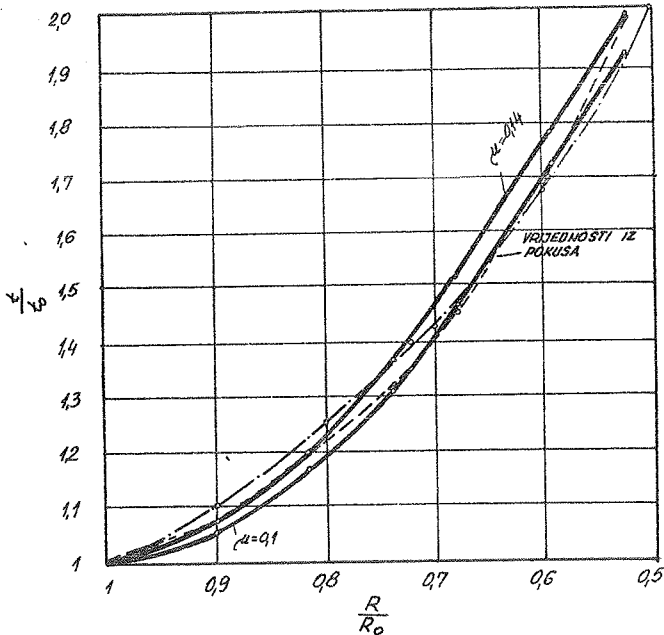
R	$\frac{R_0}{R}$	$\lg \frac{R_0}{R}$	$\left(\frac{R_0}{R} \right)^b$	$\frac{G'_1}{K}$	$\frac{G'_2}{K}$	t	$\frac{t}{R}$	$\frac{P}{K}$	$\frac{R}{R_1}$	$\frac{R}{R_1} \lg \frac{R}{R_1}$	$\frac{R}{R_1} \left(\frac{R}{R_1} \right)^a$	$\frac{b}{a}$	$\frac{G'_1}{K}$	$\frac{G'_2}{K}$	$\frac{P'}{K}$	
$\mu = 0,1; \mu \cot \gamma \alpha = 4,296; \alpha = 3,296; b = 5,296$																
4,40	1,10	0,0453	1,14	0,622	0,460	1,40	0,118	0,172								
43,05	1,225	0,0880	2,93	0,622	1,200	1,90	0,146	0,321								
11,90	1,345	0,1295	4,79	0,622	2,350	2,40	0,176	0,590								
11,60	1,380	0,1599	5,50	0,622	2,800	2,43	0,183	0,695								
10,85						2,35	0,216									
9,50						2,70	0,284									
8,40						3,40	0,369									
$\mu = 0,12; \mu \cot \gamma \alpha = 5,15; \alpha = 4,15; b = 6,15$																
4,40	1,10	0,0453	1,90	0,675	0,607	1,40	0,118	0,190								
43,05	1,225	0,0880	3,18	0,675	1,670	1,90	0,146	0,390								
11,90	1,345	0,1295	6,17	0,675	3,490	2,40	0,176	0,790								
11,60	1,380	0,1599	7,25	0,675	4,210	2,43	0,183	0,953								
10,85						2,35	0,216									
9,50						2,70	0,284									
8,40						3,40	0,369									
$\mu = 0,14; \mu \cot \gamma \alpha = 6,01; \alpha = 5,01; b = 7,01$																
4,40	1,10	0,0453	2,07	0,714	0,764	1,40	0,118	0,204								
43,05	1,225	0,0880	4,13	0,714	2,230	1,90	0,146	0,471								
11,90	1,345	0,1295	7,96	0,714	4,960	2,40	0,176	1,049								
11,60	1,380	0,1599	9,56	0,714	6,100	2,43	0,183	1,298								
10,85						2,35	0,216									
9,50						2,70	0,284									
8,40						3,40	0,369									



Sl. 3



Sl. 4



Slika 6 - Grafički prikaz ovisnosti odnosa $\frac{t}{t_0}$ i $\frac{R}{R_0}$

Legend a:

- ovisnost prema relacijama /33/ i /34/
- rezultati pokusa
- · - · - · ovisnost prema relaciji /21/ preslikanoj u ovaj koordinatni sistem

Na slici 6 sa linijom crta-tačka prikazana je i ovisnost prema relaciji /21/. Ta relacija preslikana u koordinatni sistem $\frac{R}{R_0}$: $\frac{t}{t_0}$ / ima oblik

$$\frac{t}{t_0} = \frac{0,988}{R/R_0} + 0,0171 \quad \dots\dots\dots/21' /$$

Iz izvedenih analitičkih izraza koji povezuju tangencijalnu i radijalnu deformaciju i posebno sa grafičkih prikaza slika 6 može se zaključiti:

- U početnom dijelu redukcije opaža se sporije zadebljanje stijenke, dakle u početnoj fazi deformacije veće su tangencijalne nego radijalne deformacije, drugim rječima, brže je smanjenje promjera nego povećanja debljine stijenke;

- Koeficijent trenja utječe na vezu između radijalnih i tangencijalnih deformacija. Taj utjecaj u početnoj fazi redukcije manje je izražen nego pri većoj redukciji promjera, sa povećanjem koeficijenta trenja povećava se radijalna /zadebljanje stijenke/ u odnosu na tangencijalnu /redukcija promjera/ deformaciju. Ovo je jasno vidljivo sa slike 6, gdje je položaj krivulje za $\mu = 0,14$ iznad krivulje za $\mu = 0,10$;
- Analitički izrazi /33/ i /34/ daju rezultate koji dosta blisko odgovaraju rezultatima dobivenim pokusom. Ovo je vidljivo iz usporedbe prikazanih krivulja na slici 6.

Napominje se da se deformacije u aksijalnom pravcu dobivaju iz uslova nekompresibilnosti metala u toku plastične deformacije i poznatih deformacija u tangencijalnom i radijalnom pravcu. Taj račun se ovdje ne navodi.

Literatura

- [1] Johnson W., Plasticity for Mechanical Engineers, London 1962
- [2] Cox D.R., Planning of Experiments, New York 1958
- [3] Cottrell A.H., Dislocations and Plastic Flow in Crystals, Oxford 1958
- [4] Rogers A., The Nature of Metals, Cambridge 1965
- [5] Scheffe H., The Analysis of Variance, New York 1959
- [6] Hald A., Statistical Theory with Engineering Applications New York 1962
- [7] Reuthe RR. M., Werkstattstechnik Heft 9, 12 1962
- [8] Musafija Dr B., Obrada metala plastičnom deformacijom I dio, Sarajevo 1965
- [9] Uik Č., Obrabotka metallov bez snjatia stružki, Moskva 1965
- [10] Šnajder Ju.G., Hladnaja bešampovaja obrabotka metallov davlenijem, Leningrad 1967
- [11] Ljubvin V.I., Obrabotka djetaljejj rotacionim obžatijem Moskva 1959
- [12] Tarnovskij I.Ja., Deformacii i usilija pri obrabotke metallov davlenijem, Moskva 1959
- [13] Pavlić Mr. I., Statistička teorija i primjena, Zagreb 1965

V. V u j o v i ć

DIE SPANNUNGEN UND VERFORMUNGEN BEI RUNDKNETEN DER
ROHRERZEUGNISSE

Hier werden betrachtet der Lauf der Spannungen und Verformungen, als auch deren zwischeneinsendere Beziehung. Die Diferentialgleichung kommt aus Bedingungen des Kraftgleichgewichtes entlang - und vertikal auf der Kegelfläche des Rohres. Diese Gleichung wird mit einige Begrenzungen vereinfacht und mit Hilfe Resultaten aus Versuche gelöst.

Aus praktischen Versuchen wird die Beziehung

$$t = \frac{C}{R}$$

benützt, d.h. zwischen Wandstärke t des Rohres und Halbdurchmessers R besteht obige Beziehung, wo $C = \text{const}$ ist.

Die Lösung der Diferentialgleichung gibt die Relationen für Axial - und Tangentialspannung und spezifischer Druck p .

Die Verformungen werden auf Grund der Beziehungen zwischen Verformungen und Spannungen festgestellt.

Alle Resultaten sind in Abhängigkeit von R und bestimmte konstante gegeben.

Auf Grunde praktischen Beispilen werden die Abhängigkeiten graphisch dargestellt.