

Маши́нски факултет
 Универзитета у Нишу
 Faculty of Mechanical Engineering
 University of Nis

27. Savetovanje proizvodnog mašinstva
 Jugoslavije sa međunarodnim učešćem
 27. Conference on Production Engineering
 of Yugoslavia with foreign participants

PROIZVODNO MAŠINSTVO
 JUGOSLAVIJA

Dobro došli >>>>
 Welcome >>>>

Copyright CIM TTC lab. Mašinskog fakulteta u Nišu
 Autori: Ivan Mitić, dipl.ing.el, sa saradnicima CIM TTC-a i studentima Mašinskog fakulteta

Obrada metala plastičnom deformacijom (1)

- Živanović Saša
[Prilog proračunu dinamike noseće strukture paralelne masine alatke](#)
- Šljivić Milan
[THIXO deformisanje, tehnološki izazov](#)
- Adamović Dragan, Milentije Stefanović, Miodrag Petrović
[Analiza naponsko-deformacionog stanja dubokog izvlačenja sa stanjenjem zida metodom gomje procene](#)
- Aleksandrović Srbislav, Milentije Stefanović
[Obradivost tankih limova izvlačenjem pri promenljivim kontaktnim uslovima](#)
- Bogdanov Ljubomir, Ljubodrag Đorđević
[Perspektive razvoja kovanja u hladnom stanju](#)
- Domazetović Vuko, Milan Vukčević, Mileta Janjić
[Prilog istraživanju zapreminskog deformisanja primjenom metode diskretizacije](#)
- Epatu Ion, Bogdan Epatu
[The Shakedown of Pipes with Thin Walls - Elastična prilagodljivost cevi sa tankim zidovima](#)
- Gusel Leo
[Mehaničke karakteristike hladno deformisane legure CuCrZr](#)
- Hedrih Katica
[O modelima rezanja sa naslednim vezama i vibroudanim elementima](#)

[Spisak radova po oblastima](#)
 [povratak na meni](#)
 [Spisak autora](#)

MAŠINSKI FAKULTET UNIVERZITETA U NIŠU
27. Savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije
Niška Banja, 23.-25. septembar 1998

*

**OBRADIVOST TANKIH LIMOVA DUBOKIM IZVLAČENJEM PRI
PROMENLJIVIM KONTAKTNIM USLOVIMA**

*S. Aleksandrović, M. Stefanović**

REZIME

Rad daje uporedni prikaz eksperimentalnih rezultata za duboko izvlačenje cilindričnog komada u uslovima konstantne sile držanja sa različitim kontaktnim uslovima (suvo, ulje, polietilenska folija i ulje) s jedne strane i za izvlačenje sa promenljivom silom držanja i različitim kontaktnim uslovima, s druge strane. Koristi se klasičan čelični lim, a prate se distribucije deformacija φ_1 , φ_2 i φ_3 zavisno od lokacije i u dijagramu granične deformabilnost, sila izvlačenja i dubina komada. Primjenjuju se tri modela programski zadate sile držanja: opadajući, rastući i kombinovani. Prvi rezultati ukazuju da je promenom sile držanja moguće značajno uticati na proces dubokog izvlačenja i karakteristike gotovog komada.

Ključne reči: čelični lim, duboko izvlačenje, promenljiva sila držanja

ABSTRACT

Presented in the article is comparative view of experimental results of pure deep drawing (deep drawing of cylindrical cup) in conditions of constant blank holding force with different contact conditions (dry, oil, polyethylene foil) in one side and the results of deep drawing with variable blank holding force and different contact conditions in other side. Classical thin steel sheet is used and given are both: main strains φ_1 , φ_2 and φ_3 dependence on location and strain distribution in forming limit diagram (FLD). Also, forming force and working piece depth are controlled. Three program controlled variable blank holding force models are used: decreased, increased and combined. First results, presented here, shows that variable blank holding force has significant influence on deep drawing process and work piece characteristics.

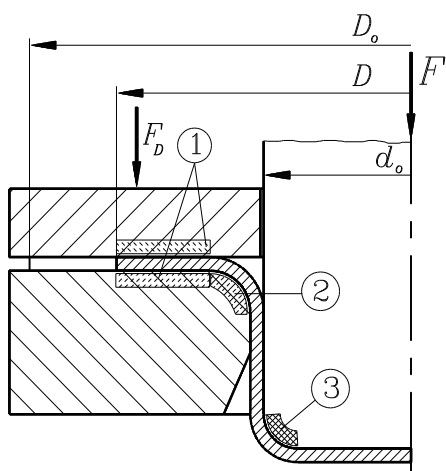
Key words: steel sheet, deep drawing, variable blank holding force

1. UVOD

U okviru kompletne tribološke šeme odvijanja procesa dubokog izvlačenja zona držača lima (sl. 1) ima poseban značaj. S jedne strane trenje na držaču značajno utiče na tok i rezultat procesa plastičnog oblikovanja, a s druge, sila držanja je veoma pogodan parametar za kontrolu i upravljanje. Najviše iz tog razloga aktuelna su brojna istraživanja uticaja sile držanja u mnogim istraživačkim i industrijskim centrima u svetu /1, 2/.

Pri izvlačenju mogu da se pojave dve vrste defekata: nabori na površini lima i razaranje. Ove pojave, na neki način, čine okvir za uspešno odvijanje procesa. Pored osobina materijala i stanja alata i mašine na proces i gotov komad može se uticati preko: stepena izvlačenja, stanja

* Mr Srbislav Aleksandrović, asist., Mašinski fakultet, S. Janjić 6, 34000 KRAGUJEVAC
Dr Milentije Stefanović, red. prof., Mašinski fakultet, S. Janjić 6, 34000 KRAGUJEVAC



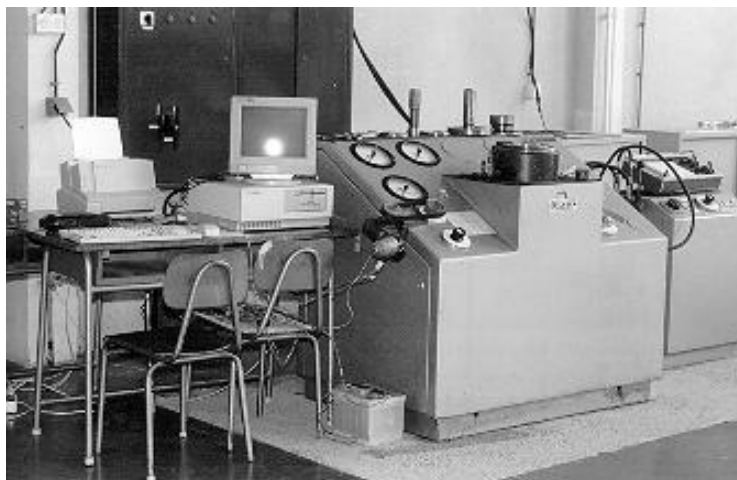
Sl. 1 Zone trenja

kontaktnih površina alat-lim i sile držanja. Druga grupa uticajnih faktora je znatno pogodnija za promenu, ako je to potrebno. Na pr. relativno je lako zameniti mazivo, a znatno teže alat ili presu. Uglavnom, dosadašnja realizacija dubokog izvlačenja podrazumevala je konstantnu silu držanja i to je smatrano opšte prihvaćenim. Tek usled razvoja novih generacija limova i povećanih zahteva, zadnjih nekoliko godina intenzivno se radi na istraživanju uticaja promenljive sile držanja (**PSD**) primenom savremenih kompjuterskih sistema za akviziciju i upravljanje.

Na Mašinskom fakultetu u Kragujevcu izvršena je dogradnja laboratorijske prese za ispitivanje lima ERICHSEN 142/12 kompjuterskim sistemom koji pored akvizicije omogućava dobijanje programski definisane sile držanja (fot. 1).

2. EKSPERIMENTALNA ISTRAŽIVANJA

U okviru planiranih opsežnih istraživanja uticaja promenljive sile držanja, ovde se iznose početni rezultati do sada realizovanih eksperimenata. Mašina na kojoj se izvode eksperimentalna istraživanja je pomenuta hidraulična laboratorijska presa trostrukog dejstva ERICHSEN 142/12. Maksimalni merni opseg sile je 0-130 kN, brzine deformisanja 0-200 mm/min a sile držanja 0-32 kN. Maksimalni prečnik izvlačka je 50 mm, a maksimalni stepen izvlačenja 2,4. Integralno, u mašini postoje induktivni davači sile i hoda uz standardne manometre sa Burdonovim cevima za sva radna dejstva. Za potrebe ovih istraživanja izvršena je dogradnja u delu ostvarivanja sile držanja. Reč je o motornom pogonu hidro ventila kojim se ona definiše. Paralelno sa tim realizovan je kompjuterski sistem za akviziciju (fot. 1) koji putem AD konverzije omogućava dobijanje zavisnosti sile izvlačenja od hoda (t.j. vremena), sile držanja od hoda i DA konverzijom upravljanje motornim pogonom koji reguliše otvaranje ventila sile držanja. Softverski je omogućen izbor proizvoljnog tipa zavisnosti sile.



Fot. 1 Izgled kompletnog uređaja

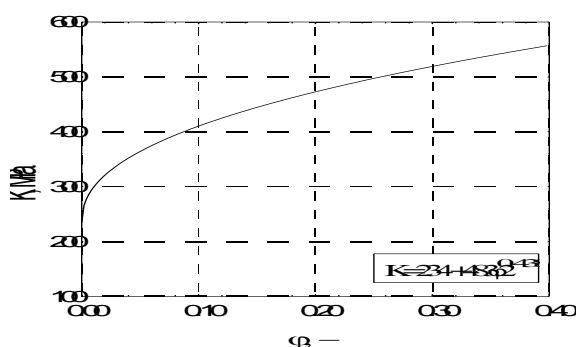
Princip upravljanja se zasniva na konstantnom broju obrtaja (2,5 o/min) koji se prenosi na osovину ventila sa oba smera obrtanja i stanjem čekanja (zastoja). Programski definisanim kombinacijama ova tri osnovna stanja (u okviru mogućnosti i tačnosti celog sistema) ostvaruje se željena PSD. Zbog ograničenog prostora nije moguće dati sve detalje vezane za projektovanje, izradu i primenu ovog sistema, pa se zainteresovani upućuju na autore.

Materijal korišćen za ispitivanje je čelični lim iz klase Č0148P5 (poreklo THYSEN-Nemačka) sa karakteristikama datim u sledećoj tabeli.

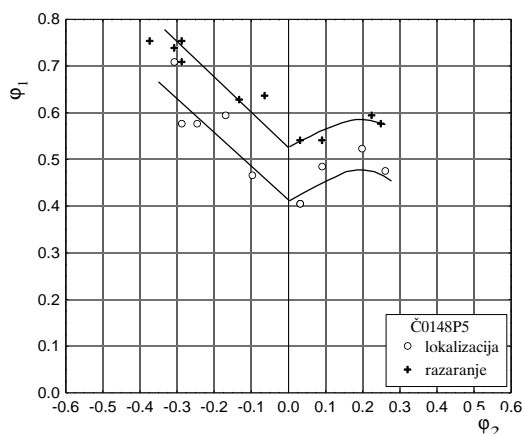
Tab. 1 Karakteristike materijala

Č0148P5 $s_0=0,8$ mm				
R_M , MPa	R_P , MPa	A_{80} , %	n	r
385,5	234	34,0	0,23	1,242

U tabeli su osrednjene vrednosti s obzirom na ravansku anizotropiju lima. Na sl. 2 je prikazana kriva ojačanja, a na sl. 3 dijagram granične deformabilnosti (DGD).



Sl. 2 Kriva ojačanja



Sl. 3 Dijagram granične deformabilnosti

Prilikom planiranja eksperimenta izabran je model čistog dubokog izvlačenja (cilindrični komad sa ravnim dnom) sa prečnikom izvlačača 50 mm, radijusom dna 6,5 mm i radijusom matrice 3,5 mm. Brzina deformisanja je fiksirana na 20 mm/min. Step en izvlačenja je trebalo tako izabrati da bude blizu graničnog kako bi se uočile razlike izazvane uticajem PSD. Pri stepenu 2 i tehnički suvim kontaktnim površinama uz konstantnu silu držanja $F_D=15$ kN proces je tekao do kraja bez defekata. Sa stepenom 2,2 sa suvim površinama (odmašćene acetonom) i uz primenu ulja za duboko izvlačenje domaće proizvodnje ($F_D=6-10$ kN) dolazilo je do razaranja. Sa primenom polietilenske folije i ulja i $F_D=10$ kN pri kraju hoda javljali su se nabori, dok sa silom $F_D=12$ kN proces teče uspešno do kraja, što je značilo da prečnik razvijenog stanja 110 mm odgovara za ovakvo ispitivanje. Pošto je poznato /3/ da uslovi na kontaktnim površinama vrlo značajno utiču na izvlačenje trebalo je izabrati jedan tip od prethodno pomenuta tri. Odabrano je podmazivanje uljem iz dva razloga: ne spada u ekstremna kontaktnih stanja i odgovara najčešćim pogonskim uslovima u industriji. Opšti pristup u realizaciji eksperimenta je da se komad odabrane geometrije (uz pomenute kontaktne uslove) podvrgne, s jedne strane, ispitivanju konstantnom silom držanja odgovarajućeg intenziteta, a s druge, ispitivanju uz primenu PSD takođe odgovarajućeg opsega intenziteta i zakona promene zavisno od hoda, odnosno vremena.

2.1 IZBOR KONSTANTNE (KSD) I PROMENLJIVE SILE DRŽANJA (PSD)

Pri izboru KSD usvojen je opšte prihvaćen princip da je $F_D=q \cdot A$ gde je q specifični pritisak držača, a A maksimalna površina kontakta (na početku izvlačenja) između držača i lima. U konkretnom slučaju:

$$A = \frac{D_o^2 - (d_1 + 2s + 2r_M)^2}{4} \pi = \frac{110^2 - (50 + 2 \cdot 0,8 + 2 \cdot 3,5)^2}{4} \pi = 68063 \text{ mm}^2$$

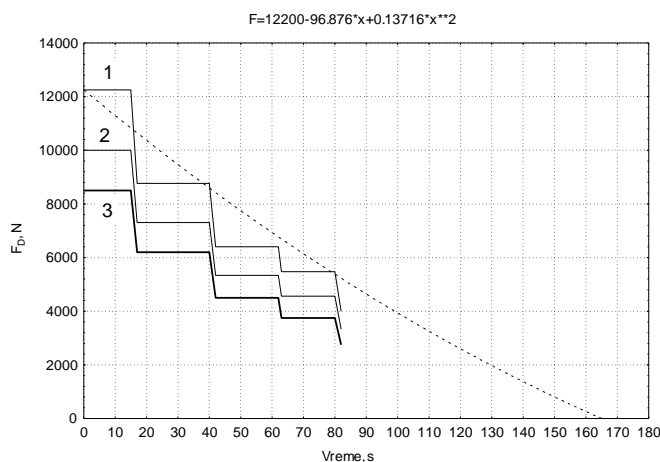
Što se tiče vrednosti q , u sledećoj tabeli je prikazano nekoliko načina za izračunavanje :

Tabela 2

Red. broj	Način određivanja q , autor i godina	q , MPa	F_D , kN
1	$q = \frac{1}{200}(R_M + R_p)$, G. Sachs, 1931. /4/	3,1	21,08
2	$q = 0,002 \div 0,0025(\beta - 1)^2 R_M$, E. Siebel, 1954. /4/ $\beta = 2,2$ stepen izvlačenja	1,11- 1,388	7,55-9,45
3	E. Siebel, H. Beisswanger, 1955., /4/ $q = 0,002 \div 0,0025 \left[(\beta - 1)^3 + 0,5 \frac{d}{100 \cdot s} \right] R_M$	1,351- 1,689	9,2-11,5 $F_{Dsr} = 10,35$
4	B. Zunkler, 1985. /4/ $q = 0,0757 \frac{\beta^{\frac{2}{n+1}} - 1}{\beta^2 - 1} R_M \cdot n \cdot e^n \left(\frac{\ln \beta}{n+1} \right)^{n+2}$, n-eksp. def. ojač.	2,125	14,05

Sagledavanjem vrednosti u tabeli 2, uz uvažavanje sopstvenih iskustvenih podataka iz prethodnih /2, 4/ i ovog istraživanja usvojena je KSD kao srednja vrednost iz rubrika 3 i 4. $F_D = 12,2$ kN.

Pri izboru opadajuće zavisnosti PSD postavljen je princip ostvarenja konstantnog specifičnog pritiska držača, s obzirom na to da se kontaktna površina smanjuje od početne maksimalne vrednosti do 0. Pri tome prečnik oboda uzima vrednosti od $D_o = 110$ mm do 58,6 mm na radijusu matrice. Posle toga, na samom kraju procesa, kad se ostvaruje puna dubina komada nema držanja lima. Površina oboda je $A = 0,7854D^2 - 2697$, mm². Zbog zahteva upravljanja ventilom za PSD potrebno je ustanoviti zavisnost F_D od vremena. Pri usvojenoj brzini deformisanja za potpunu dubinu komada –54 mm proces traje 165 s. Radi pojednostavljenja, smatra se da obod zadržava kružni oblik i da postoji linearna veza prečnika oboda i vremena. Na osnovu proporcije dobija se sledeća zavisnost: $D = 110 - 0,3115t$, mm.



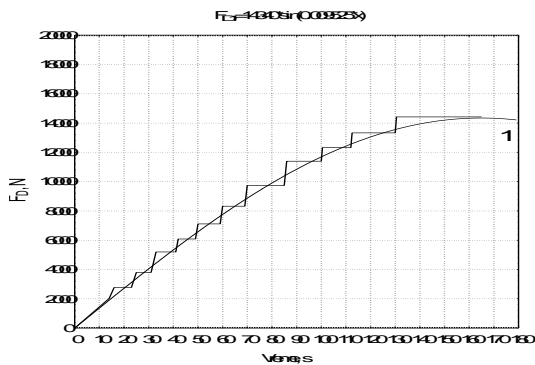
Sl. 4 Opadajuća zavisnost PSD

Sa t je označeno vreme. Konačno, za opadajući režim, funkcija PSD ima formu: $F_D = qA = 12200 - 96,9 \cdot t + 0,137 \cdot t^2$, N. $q = 1,8$ MPa = const. s obzirom na KSD od 12,2 kN i $A_{max} = 6806,3$ mm². Ova zavisnost prikazana je na sl. 4 isprekidanom linijom. Tri stepenaste linije odgovaraju stvarno ostvarenoj promeni. Primenom PSD po šemi 1, koja je najbliža postavljenoj krivoj, dobija se dubina 23,3 mm. Za liniju 2 dobija se 25,6 mm, a za liniju 3 - 26,7 mm, tako da je komad dobijen po toj zavisnosti izabran za upoređenje sa drugim tipovima PSD.

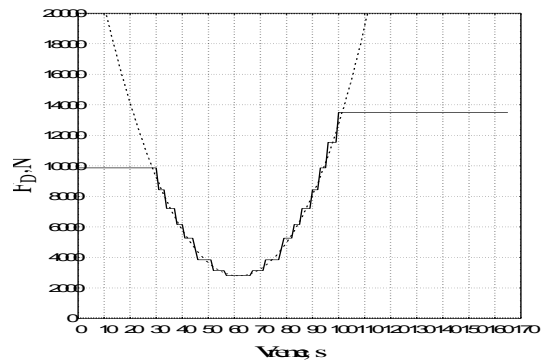
Za rastuću zavisnost primenjen je oblik PSD prema detaljnom istraživanju sprovedenom u /7/. Na konkretnom primeru se dobija oblik funkcionalne zavisnosti:

$$F_D = 14340 \cdot \sin(0,546 \cdot t), \text{ N}$$

Sl. 5 daje oblik ove krive uz eksperimentalno ostvarenu stepenastu zavisnost. Argument sinusne funkcije u prethodnom izrazu je u stepenima, a na sl. 5 u radianima.



Sl. 5 Rastuća zavisnost PSD

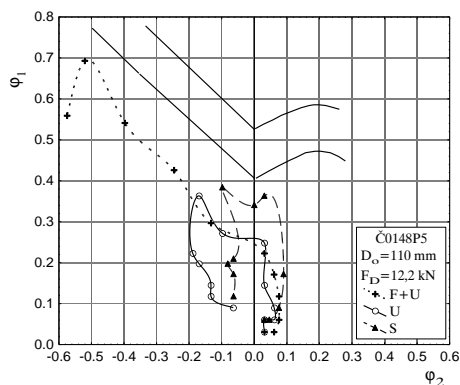


Sl. 6 Kombinovana zavisnost PSD

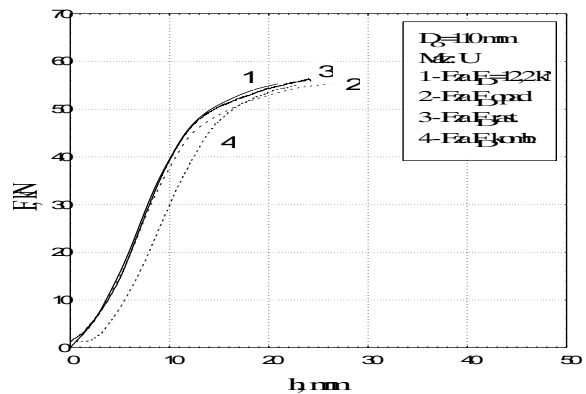
Kod određivanja kombinovane zavisnosti, kao osnova, korišćen je analitički izraz za silu izvlačenja dobijen analizom i modifikovanjem klasičnog pristupa /3, 5, 6/. Zbog ograničenog prostora biće data gotova formula:

$$F_D = 2F_C - \pi d_1 s \left[\left(1,15 \frac{K_M}{1 - \varphi_M} \cdot \ln \frac{\sqrt{1 + m^2 - \rho^2}}{m \cdot \rho} \cdot \ln \frac{\rho}{m} + \frac{2 \cdot \mu \cdot F_{DC}}{\pi d_1 s} \right) e^{\frac{\mu \pi}{2}} + \frac{R_M}{2 \frac{r_M}{s} + 1} \right]$$

$d_1 = d_u + s$ je srednji prečnik komada, $\varphi_M = n$ maksimalna vrednost ravnomerne prirodne deformacije, K_M deformacioni otpor za φ_M , $m = d_u / D_o = r / R_o$, $\rho = D / D_o = R / R_o$ nezavisno promenljiva, r_M radius matrice. Analitički oblik je dobijen sa idejom da se pomoću F_D izvrši izvesno rasterećenje sile izvlačenja, pa je postavljena horizontalna osa simetrije $F_C = 28,8$ kN (vrednost empirijski određena) i kriva sile izvlačenja preslikana, što pokazuje prethodna formula i sl. 6. Kriva sa sl. 6 je korigovana (translirana u levo) da bi se povećao uticaj opadajućeg dela.



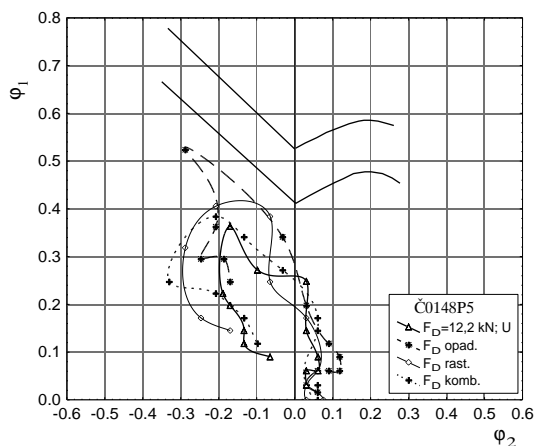
Sl. 7 Distribucija deformacija u DGD



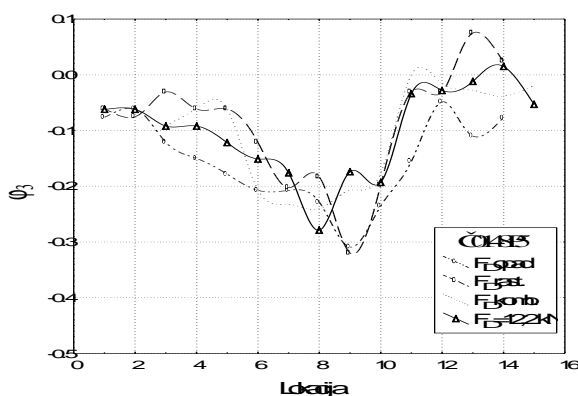
Sl. 8 Zavisnost sile izvlačenja od hoda

2.2 REZULTATI

Sl. 7 prikazuje distribucije deformacija (putanje u DGD) za slučaj KSD i sva tri korišćena kontaktna stanja. Sa sl. 8 vide se zavisnosti sila izvlačenja od hoda. Kriva 1 je za KSD, a 2, 3 i 4 za PSD. Oblici krivih su uobičajeni, ali vreme trajanja procesa, t.j. ostvarena maksimalna dubina je promenjena. Za slučaj 2 porast dubine je 27,8%, za slučaj 3 porast je 15%, a za slučaj 4 10,05%, što je jedan od pokazatelja značajnog pozitivnog dejstva PSD.



Sl. 9 Distribucija deformacija u DGD



Sl. 10 Distribucija deformacija ϕ_3

Sl. 9 daje komparativni prikaz distribucija deformacija u koordinatnom sistemu glavnih deformacija u ravni lima (DGD). Oblik i ravnomernost ostvarene petlje je najbolja u slučaju rastuće i kombinovane PSD. To je još vidljivije na dijagramu distribucija treće glavne deformacije zavisno od lokacije (sl. 10). Najravnomernija kriva, bez izrazitih stanjenja dobijena je za kombinovanu PSD.

3. ZAKLJUČAK

Oblast uticaja PSD pri dubokom izvlačenju tankih limova je značajna za unapređenje tehnoloških rezultata obrade i upoznavanje suštine samog procesa. Istraživanja su otvorena i u mnogim svetskim centrima, ali još uvek bez potpunije sistematizacije rezultata da bi se došlo do konačnih zaključaka. Rezultati izloženi u ovom radu (u sasvim redukovanoj formi), dobijeni na Mašinskom fakultetu u Kragujevcu ukazuju na pozitivan uticaj opadajuće sile (pri $q \approx \text{const.}$) na dubinu izvlačenja i kombinovane zavisnosti PSD na distribuciju deformacija.

LITERATURA

- /1/ S.A. Saedy, S.A. Maylessi: An improved manufacturing process in sheet metal forming, 19th IDDRG Biennial Congress, Eger, Hungary, 1996. Proc., 119-130.
- /2/ S. Aleksandrović, M. Stefanović: Uticaj sile držanja pri dubokom izvlačenju tankih limova, Tribologija u industriji, 20, 2, Mašinski fakultet Kragujevac, juni 1998, 47-52.
- /3/ M. Stefanović: Tribologija dubokog izvlačenja, Jugoslovensko društvo za tribologiju i Mašinski fakultet Kragujevac, 1994., monografija.
- /4/ B. Zunkler: Zur Problematik des Blechhaldedruckes beim Tiefziehen, Blech Rohre Profile 32, 7, 1985., 323-326.
- /5/ L.A. Šofman: Teorija i rasčeti procesov holodnoj šampovki, Mašinstroenie, Moskva, 1964.
- /6/ E. A. Popov: Osnovi teoriji listovoj šampovki, Mašinstroenie, Moskva, 1968.
- /7/ N.P. Katkov, V.F. Rešetov: Opredelenie optimalnih uslovij prižima flanca zagotovki, Kuznečno šampovočnoe proizvodstvo, N^o 9, 1971, 16-18.