

## ZNAČAJ ISTORIJE DEFORMISANJA I TRIBO USLOVA PRI ODREĐIVANJU GRANIČNE DEFORMABILNOSTI TANKIH LIMOVA

M.Stefanović, S. Aleksandrović

UDK 621.7.011

### Rezime

U radu se analizira uticaj istorije deformisanja i tribo-uslova na položaj i oblik krive granične deformabilnosti. Eksperimentalno su realizovane tipične naponsko-deformacione sheme u prvoj fazi oblikovanja- jednoosno zatezanje i čisto razvlačenje, pri čemu je analiza vršena preko pokazatelja distribucija deformacija. Dobijeni rezultati se porede sa odnosima koji važe u uslovima proporcionalnog deformisanja; za iste uslove prethodnog deformisanja, pokazuje se visok uticaj stanja na kontaktnim površinama alata i materijala.

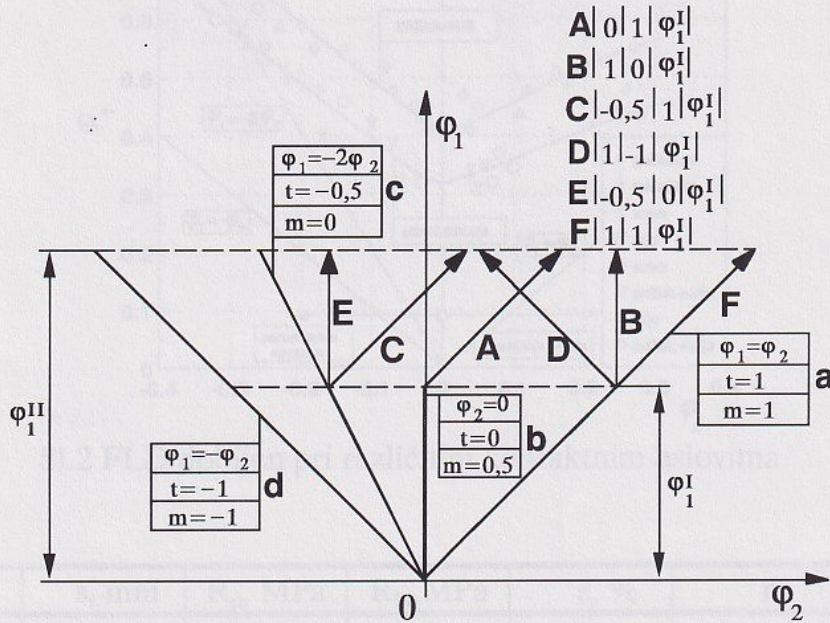
### 1.UVOD

Uobičajena definicija granične deformabilnosti podrazumeva sposobnost za ostvarivanje maksimalnih deformacija u zadatim obradnim uslovima (naponsko-deformaciona shema, brzina, temperatura, tribo-uslovi i sl.). Kod izvlačenja delova od lima, važno je uporediti ostvarene vrednosti deformacija sa graničnim iznosima; korišćenje dijagrama granične deformabilnosti (Flow Limit Diagram-FLD) upravo omogućava definisanje stepena kritičnosti izvučenog dela. Uslovi proporcionalnosti-istorija deformisanja pri dobijanju FLD moraju odgovarati onima pri stvarnom izvlačenju [1].

Na položaj i oblik FLD, koji se određuje eksperimentalno, utiču brojni faktori: vrsta materijala sa osnovnim pokazateljima (mehaničke karakteristike, "n" i "r"-faktor), brzina deformacije, eksperimentalna metodologija, kriterijum za nastanak lokalizacije, veličina merne baze-prečnik kruga merne mreže i td.. Istoriju deformisanja u potpunosti opisuje trajektorija deformacija - putanja tačaka koje se za odgovarajuća merna polja unose u sistem glavnih linijskih deformacija  $\varphi_1$ - $\varphi_2$  za svaki trenutak izvlačenja. Pri tome je realna pretpostavka da je svaka složena trajektorija sastavljena iz više faza, od kojih svaka zadovoljava uslove proporcionalnosti. Potpuni opis za, npr. dvofazno oblikovanje, moguće je izraziti preko koeficijenta pravca ( $t=\varphi_2/\varphi_1$ ) za prvu i drugu fazu i stepena deformacije  $\varphi_1$  na kraju prve faze, u obliku ( $t^I; t^{II}; \varphi_1^I$ ) [1, 2].

Primeri različitih oblika istorije deformisanja dati su na sl.1. Detalji u vezi uticaja istorije deformisanja na položaj i oblik FLD izloženi su u brojnim radovima, npr. [3,4]. S obzirom na specifičan uticaj tribo-uslova pri izmeni istorije deformisanja, za eksperimentalni rad su odabrane sheme označene sa C i F na sl.1. Shema C u prvoj fazi sadrži jednoosno zatezanje a u drugoj razvlačenje i u nastavku biće označavana kao shema 2. Shema F u prvoj fazi sadrži dvostrano zatezanje, a u drugoj razvlačenje. U nastavku biće označavana kao shema 4. Shema 1 podrazumeva proporcionalno

jednofazno razvlačenje, za koje pri potpunom ravnomernom deformisanju važi  $\varphi_1 = \varphi_2$ , ili pravac "a".



Sl. 1 Mogući oblici istorije deformisanja

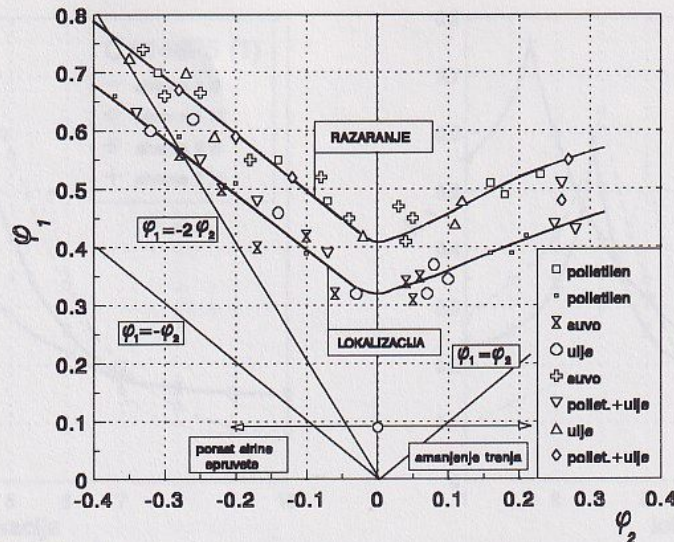
U prethodnim istraživanjima autora [5] pokazano je da tačke koje odgovaraju različitim kontaktnim uslovima leže na istoj krivoj granične deformabilnosti. Na sl. 2 pokazan je položaj tačaka u FLD dobijen pri korišćenju različitih maziva [5].

Pri izvlačenju čvrstim izvlakačem, u oblasti  $\varphi_2 > 0$ , veće vrednosti glavnih deformacija ostvaruju se u uslovima smanjenog trenja; povećanjem trenja blokira se tečenje metala u tangencijalnom pravcu, čime se pogoršavaju uslovi deformisanja (granični slučaj je ravanska deformacija, pri  $\varphi_2 = 0$ ). U radu [6] se neprecizno navodi da položaj FLD zavisi od kontaktnih uslova, odnosno da visok gradijent distribucije omogućava postizanje većih vrednosti maksimalnih deformacija.

## 2. EKSPERIMENTALNA PROCEDURA

Ispitivani materijali spadaju u grupu niskougleničnih čeličnih limova, namenjenih dobijanju delova karoserija putničkih automobila. Dva materijala, u klasi Č 0148P5 oznaka (1) i (2) su limovi uobičajenih površina ali različitih proizvođača. Materijali Č 0148 (Zn1) i (Zn2) imaju antikorozijsku prevlaku od zinka sa jedne i obe strane. Karakteristike i osnovni parametri obradivosti ovih materijala, pokazani su u tabeli 1 (srednje vrednosti s obzirom na polarnu anizotropiju).

Ispitivanja razvlačenjem su vršena u alatu sa polusfernim izvlakačem prečnika 50 mm, brzinom 0,333 mm/s. Metodologija određivanja deformacionih polja i FLD opisana je u radovima [3], [7]. Pri realizaciji dvofaznog oblikovanja, po shemi "C" u prvoj fazi su epruvete širine 130 i 200 mm jednoosno zatezane do vrednosti  $\varphi_1 = 0,135 - 0,2$  a zatim je vršeno razvlačenje (shema 2). Prema shemi 4, u prvoj fazi je vršeno dvostrano zatezanje do vrednosti  $\varphi_1 = \varphi_2 = 0,182$  (pravac "a" na sl. 1), a zatim razvlačenje, po shemi "F". U svakoj fazi oblikovanja zadovoljen je uslov  $t^I = \text{const}$ ,  $t^{II} = \text{const}$  (do trenutka lokalizovanja).



Sl.2 FLD dobijen pri različitim kontaktnim uslovima

Tabela 1

Materijal	s, mm	R <sub>p</sub> , MPa	R <sub>M</sub> , MPa	ε, %	n	r
Č 0148.P5(1)	0,8	180,0	314,6	36,2	0,235	1,51
Č 0148.P5(2)	0,8	178,1	326,5	35,2	0,226	1,32
Č 0148 (Zn1)	0,7	176,5	311,4	36,2	0,220	1,37
Č 0148 (Zn2)	0,7	177,4	290,9	38,6	0,217	1,45

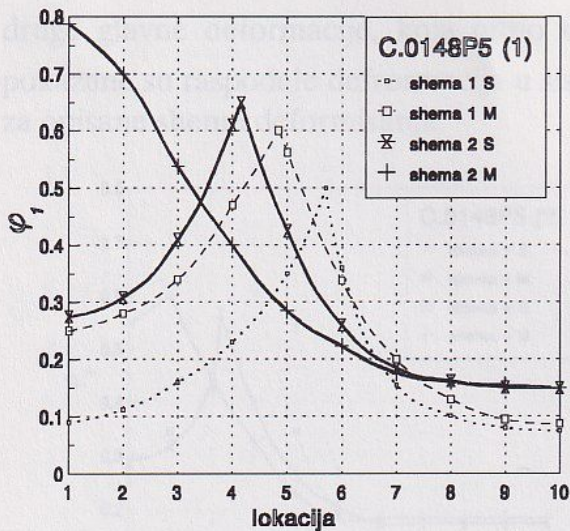
Pri ispitivanju su realizovani granični režimi podmazivanja - kao mazivo je korišćena folija polietilena (M), ili su kontaktne površine bile tehnički suve (S).

### 3. REZULTATI I DISKUSIJA

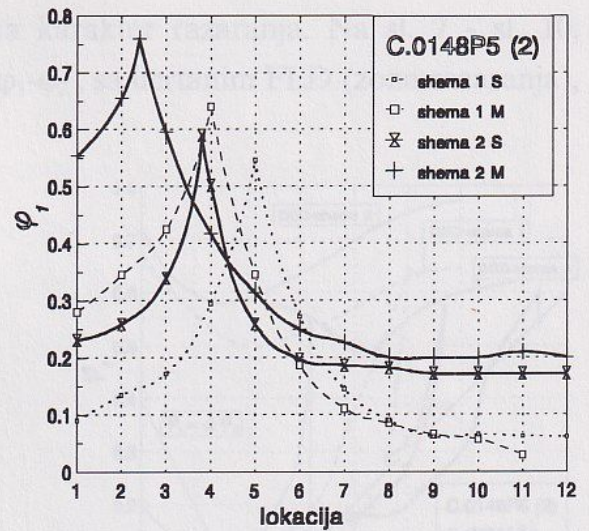
Efekti tribo-uslova i realizovanih istorija deformisanja prikazani su na sl. 3 - sl. 6. Prikazne su distribucije glavne prirodne deformacije  $\varphi_1$  u meridionalnom preseku komada; tački 1 odgovara sredina- pol komada, a tački 10-13 zona na obodu u kojoj je tangencijalna deformacija jednaka 0. U tabeli 2 date su vrednosti najvećih dubina pri shemama 1 i 2 i iznosi glavnih deformacija ostvarenih u prvoj fazi deformisanja ( $\varphi_1^I$ ).

Tabela 2

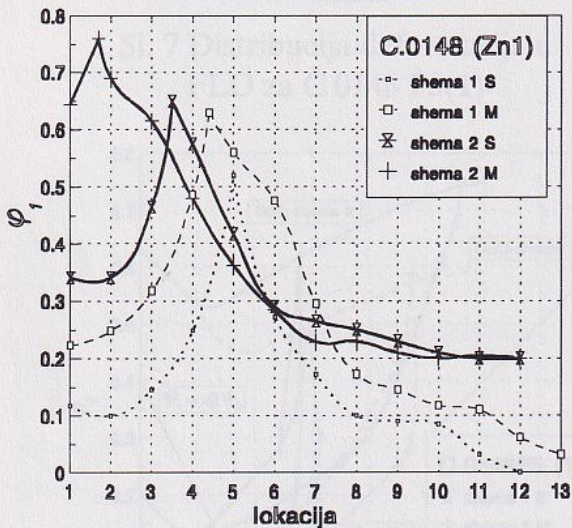
Materijal	Shema 1		Shema 2				Shema 4			
	maz.S	m. M	maz. S		maz. M		maz. S		maz. M	
	$h_M$ , mm	$h_M$ , mm	$\varphi_1^I$	$h_M$ , mm	$\varphi_1^I$	$h_M$ , mm	$\varphi_1^I$	$h_M$ , mm	$\varphi_1^I$	$h_M$ , mm
Č0148P5(1)	22,0	28,0	0,135	17,0	0,135	22,0	-	-	-	-
Č0148P5(2)	23,9	26,9	0,172	16,3	0,200	21,0	0,172	14,8	0,182	17,1
Č0148(Zn1)	21,3	25,7	0,200	15,7	0,170	21,3	-	-	-	-
Č0148(Zn2)	22,3	25,7	0,170	17,8	0,185	20,9	-	-	-	-



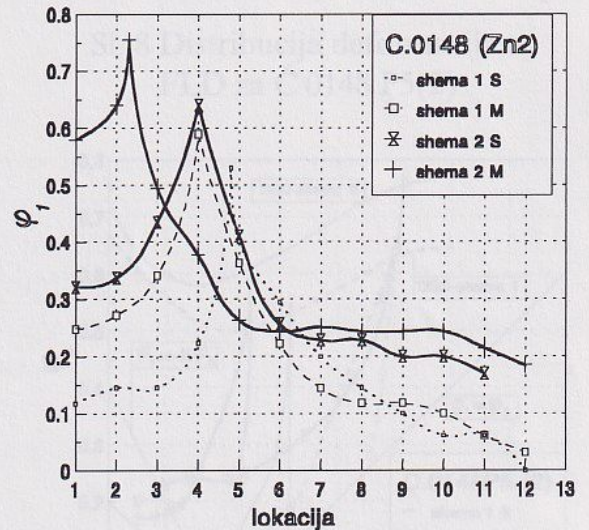
Sl.3 Distribucija deformacija za materijal Č0148P5(1)



Sl.4 Distribucija deformacija za materijal Č0148P5(2)



Sl.5 Distribucija deformacija za materijal Č0148(Zn1)



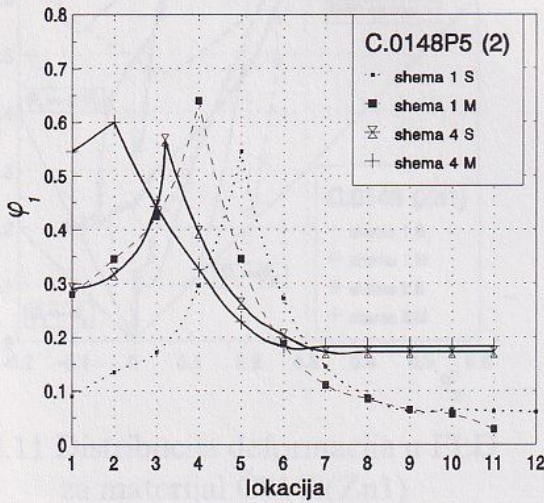
Sl.6 Distribucija deformacija za materijal Č0148(Zn2)

Osnovna karakteristika prikazanih distribucija je ostvarivanje većih graničnih deformacija u uslovima dvofaznog oblikovanja i poboljšanih uslova podmazivanja. Poznato je da pri razvlačenju smanjenje trenja pomera zonu lokalizacije ka centru-polu komada, i omogućava ostvarivanje veće dubine razaranja. Pri upoređenju distribucija iste dubine, ostvareni stepen deformacije i distribicioni gradijent su niži pri manjem trenju. Kvantitativne pokazatelje distribucije deformacija (ravnomernost, gradijent u kritičnoj zoni) moguće je definisati po metodologiji, opisanoj u radu [8].

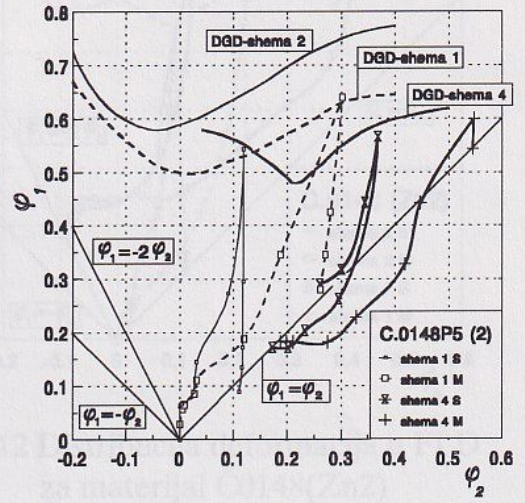
Pri razvlačenju materijala C 0148P5 (1), po shemi 2M, do razaranja dolazi u sredini komada, sa distribucijom vrlo sličnoj raspodeli pri hidrauličnom oblikovanju. Međutim, deformacija  $\varphi_2$ , je znatno niža, pa je i deformisanje izraženo neravnomerno ( $t \neq 1$ ), sl. 7.

Izmenom istorije deformisanja može se ostvariti veći iznos lokalnih defomacija, ali na račun smanjenja sposobnosti oblikovanja čitavog komada (videti tabelu 2). Osnovni nedostatak pri razmatranju pokazanih distribucija je ne uzimanje u obzir i

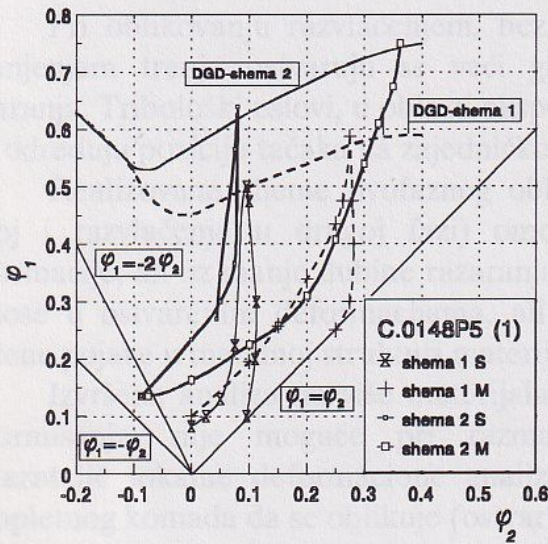
druge glavne deformacije, koja bitno utiče na karakter razaranja. Na sl. 7 - sl. 10, pokazane su raspodele deformacija u sistemu  $\varphi_1$ - $\varphi_2$ , sa ucrtanim FLD (zona razaranja), za opisane sheme deformisanja.



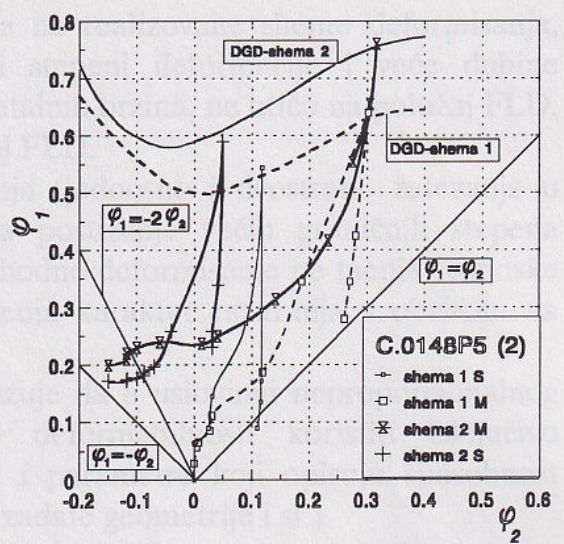
Sl. 7 Distribucija deformacija u FLD za Č 0148 P5(1)



Sl. 8 Distribucija deformacija u FLD za Č 0148 P5(2)



Sl.9 Distribucija deformacija u FLD za materijal Č0148P5(1)

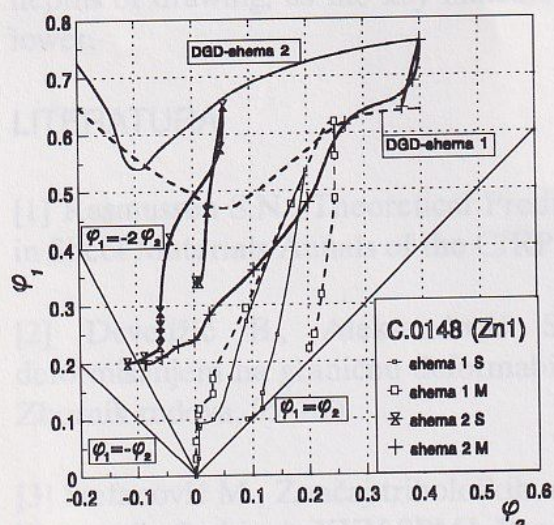


Sl.10 Distribucija deformacija u FLD za materijal Č0148P5(2)

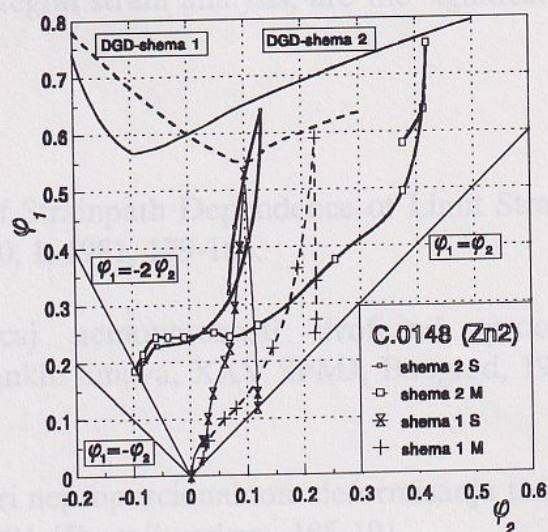
Prikazane su završne raspodele; ukoliko se formiraju raspodele za više uzastopnih faza, dobijaju se tzv, konstitutivni dijagrami, u kojima je, za odgovarajuća merna polja, moguće uneti i trajektorije deformacija.

Deformisanje u dve faze nema karakterističnu petlju distribucija, s obzirom da se zona razaranja pomera ka polju "1". Nagli porast deformacije  $\varphi_1$  pri  $\varphi_2 = \text{const}$ , odigrava se polju lokalizovane deformacije, i izraženiji je pri povećanom trenju.

U dijagramima za dvofazno oblikovanje prikazane su vrednosti ukupnih (zbirnih) deformacija, s obzirom da bi za drugu fazu koordinatni početak bio u tački sa koordinatama  $\varphi_2^I, \varphi_1^I$ .



Sl.11 Distribucija deformacija u FLD za materijal Č0148(Zn1)



Sl.12 Distribucija deformacija u FLD za materijal Č0148(Zn2)

#### 4. ZAKLJUČAK

Pri oblikovanju razvlačenjem, bez obzira na realizovane sheme deformisanja, smanjenjem trenja ostvaruju se veći granični stepeni deformacije i veće dubine razaranja. Tribološki uslovi, u oblasti eksperimentalnih brzina, ne utiču na položaj FLD, već određuju poziciju tačaka na zajedničkoj krivoj FLD.

Realizovane sheme dvofaznog oblikovanja (jednosno i dvostrano zatezanje u prvoj i razvlačenje u drugoj fazi) omogućava postizanje većih graničnih stepena deformacije, ali uz manje dubine razaranja. Prethodno deformisanje ne menja suštinske odnose u ostvarenim deformacijama, ali se menja karakter razaranja s obzirom na složene pojave u metalnoj strukturi materijala.

Izvršena analiza na više materijala, pokazuje da u uslovima neproporcionalnog deformisanja, nije moguće pri razmatranju deformabilnosti koristiti isključivo pokazatelje lokalne deformacione analize, već i parametre koji opisuju sposobnost kompletnog komada da se oblikuje (ostvarivanje zadate geometrije i sl.).

#### ABSTRACT

Presented in the paper are the influences of the tribo conditions and the strain path on realization of limiting relations in typical stress-strain scheme of deep drawing-stretching. Investigation was performed on four materials aimed for deep drawing, out of which the two types of thin sheets have anti-corrosion coating of zinc. Standard stretchings were realized, and as examples of non proportional forming were realized two phased trajectories with usage of different lubricants. We conclude that realized two different two phased forming - in the first phase uniaxial tension and biaxial tension, in the second stretching - enables realization of greater degree of limiting strain, than in the conditions of proportional forming process. However, realized values of the greatest

depths of drawing, as the key indicators of integral strain analysis, are the significantly lower.

## LITERATURA

- [1] Rasmussen S.N., Theoretical Prediction of Strainpath Dependence of Limit Strains in Sheet Materials Annals of the CIRP, Vol. 30, 1, 1981, 179-184.
- [2] Devedžić B., Aleksandrović S., Uticaj nemonotonosti dvofaznih procesa deformisanjem na graničnu deformabilnost tankih limova, XXV SPMJ, Beograd, 1944, Zbornik radova, 95-100.
- [3] Stefanović M., Značaj triboloških uslova pri neproporcionalnom deformisanju tankih limova, (in Serbian), XXV SPMJ, Beograd, 1994, Zbornik radova, 185-191.
- [4] Aleksandrović S., Granična deformabilnost tankih limova u uslovima nemonotonog procesa plastičnog deformisanja, Magistarski rad, Maš. fakultet u Kragujevcu, 1993.
- [5] Stefanović M., Tribologija dubokog izvlačenja, Jugoslovenski komitet za tribologiju, Kragujevac, 1994.
- [6] Gronostajski J., Ali W.J., Ghattas M.S., Analysis of the Limit Strains of Coated Sheet Steel for different Strain Path, Journal of Materials Processing Technology, 22(1990), 137-145.
- [7] Devedžić B., Stefanović M., Effects of Friction and Deformation Path on Stretch-Formability of Sheet Metal, 2nd Int. Conf. of Plasticity, Stuttgart, 1987, Proceedings, 437-444.
- [8] Devedžić B., Effects of Lubrication on Sheet Metal Forming, Second Int. Conf. Lubric. in Metalworking and Processing, Chicago, 1979, Proc. 27-29.
- [9] Stefanović M., Aleksandrović S., Influence of Strain Path and Tribo-conditions on Limiting Relationship in Deep Drawing, Journal for Technology of Plasticity, Novi Sad, (1994), Vol.19, No 1/2, 47-55.