

tribologija u industriji

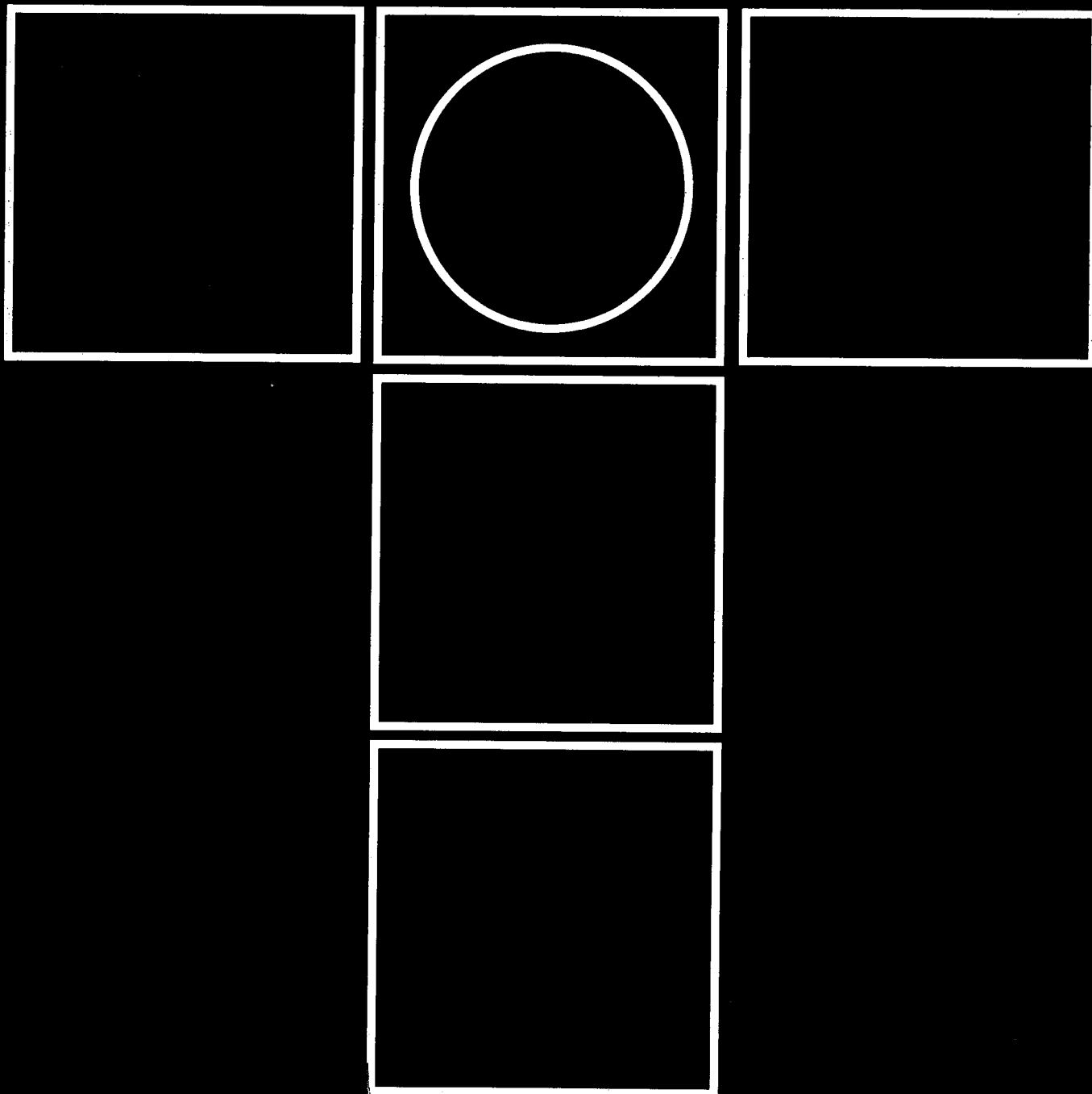
tribology in industry ♦ трибология в промышленности

YU ISSN 0351-1642

GODINA XVII

DECEMBAR 1995.


4



Nauka i tehnologija o prenosu i rasipanju masa i energije u mehaničkim sistemima

tribologija u industriji

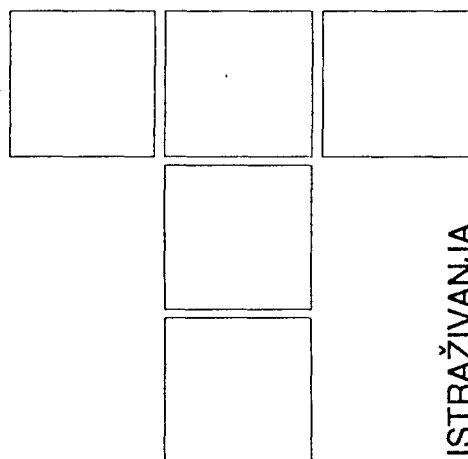
tribology in industry ◇ трибология в промышленности

sadržaj  contents  содержание

UVODNIK INTRODUCTION ВВЕДЕНИЕ	R. MITROVIĆ: 35 godina studija mašinstva u Kragujevcu ◇ 35 Years of Mechanical Engineering Studies in Kragujevac ◇ 35 лет работы Машиностроительного факультета в городе Крагуевац	99
ISTRAŽIVANJA RESEARCH ИССЛЕДОВАНИЯ	S. MITROVIĆ, Z. CANIĆ: Analiza stanja pohabanosti najugroženijih elemenata TMS-a linija za ekstruziju gume i plastike ◇ Analysis of Wear Status of The Most Endangered Elements ◇ of The TMS Lines for The Rubber and Plastics Extrusion ◇ Анализ состояния изношенности наиболее уязвимых элементов ТМС - линий для экструзии резины и пластмассы	103
	S. ALEKSANDROVIĆ: Uticaj promenljivih tribo-uslova na položaj krive granične deformabilnosti tankih limova pri nemonotonom deformisanju ◇ Influence of The Variable Tribo-Conditions on Position of The Limiting Deformability Curve of The Thin Sheets ◇ Влияние изменчивых трибологических условий на положение кривой предельной деформируемости тонкой листовой стали	107
	V. JEREMIĆ, M. BABIĆ, M. MEYER, P. TODOROVIĆ, N. MILIĆ: PVD Coatings and Dynamic Processes in The Contact Zone ◇ PVD prevlake i dinamički procesi u zoni kontakta ◇ ПВД покрытия и динамические процессы в зоне контакта	111
	R. MITROVIĆ, N. VOJKOVIĆ: Kapacitet linija za ekstruziju gume i plastike kao funkcije pohabanosti elemenata TMS ◇ Capacity of The Rubber and Plastics Extrusion Lines as a Function of The TMS Elements Wear ◇ Производительность линии для экструзии резины и пластмассы в качестве функции изношенности деталей трибо-механической системы	116
	S. MARKOVIĆ, D. JOSIFOVIĆ: Uštede u materijalu i troškovima obrade pohabanih zupčanika metodom regeneracije ◇ Savings in Material and Machining Costs of The Worn Tooth Gears by The Regeneration Method ◇ Экономия материала и понижение расходов восстановления изношенных зубчатых колёс	120
	N. MILIĆ, V. JEREMIĆ, M. BABIĆ: Dinamičko ponašanje glavnih vretena obradnih centara ◇ Dynamic Behavior of The Machining Centers Main Spindle ◇ Динамическое поведение шпинделя токарного станка, обрабатывающих систем	127
NOVOSTI NEWS НОВОСТИ	133
KNJIGE I ČASOPISI BOOKS AND JOURNALS КНИГИ И ЖУРНАЛЫ	134
NAUČNI SKUPOVI SCIENTIFIC MEETINGS НАУЧНЫЕ СОБРАНИЯ	136

S. ALEKSANDROVIĆ

Uticaj promenljivih tribo-uslova na položaj krive granične deformabilnosti tankih limova pri nemonotonom deformisanju



1. UVOD

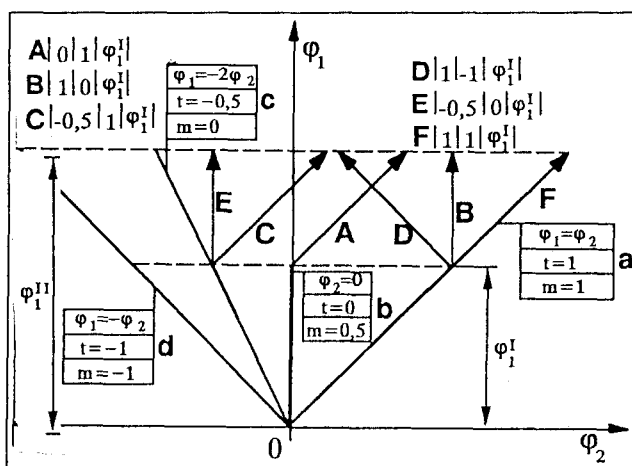
Dijagrami granične deformabilnosti (DGD) dobijaju se uglavnom u uslovima monotonog deformisanja (svaka tačka dijagrama dobija se deformisanjem po jednoj naponsko-deformacionoj shemi uz konstantnu brzinu deformacije). Višefazni postupci sa promenom naponskih shema u pojedinim fazama uzrokuju nemonotonost koja se odražava na položaj krivih DGD [1]. Promenljivi tribo-loški uslovi na kontaktnim površinama pri monotonom deformisanju ne dovode do promene položaja krivih DGD [2], međutim kod nemonotonih postupaka taj uticaj se zapaža što govori o velikoj osetljivosti ovakvih procesa deformisanja na promenu tribo-uslova.

2. EKSPERIMENTALNI REZULTATI

Realizovana su dva postupka. Prvi (shema 2) u prvoj fazi sadrži jednoosno zatezanje široke trake lima (200 mm) brzinom 20 mm/min. Time se ostvaruje putanja c sa sl. 1. Zatezanje je rađeno na hidrauličnoj kidalici WPM ZD 40 Pu (maksimalna sila 400 kN). Ostvarena je prirodna deformacija od 0.172 za komade bez podmazivanja i 0.182 za komade sa podmazivanjem. Veličina trake je tako izabrana da iz nje mogu (i posle zatezanja) da se isecaju epruvete za naredne faze deformisanja. Drugi postupak (shema 4) u prvoj fazi sadrži formiranje dvoosno zategnutog komada dovoljne veličine. Na taj način se ostvaruje putanja a sa sl. 1. Izvođenje ovakve naponske

sheme rešeno je čistim dubokim izvlačenjem po principu datom na sl. 2. Izvlače se istovremeno dva komada. Donji se koristi, a gornji je pomoćni sa otvorom odgovarajućeg prečnika.

Svrha pomoćnog lima je aktivno korišćenje radijalnih sila trenja u kontaktu limova. Time se ostvaruje veći stepen deformisanja. Analogno prvom slučaju ostvarene su deformacije 0.172 i 0.182. Rađeno je brzinom deformisanja 20 mm/min na pomenutoj hidrauličnoj kidalici.

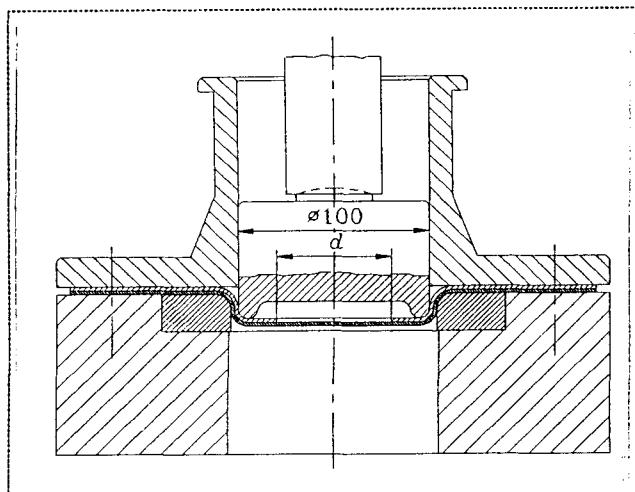


Sl.1 Prikaz najčešće realizovanih putanja deformisanja

Materijal je lim inostrane proizvodnje St.1405 po DIN-u (približno Č0148P5 po JUS- u). Karakteristike su date u [1]. Druga faza oba postupka je razvlačenje serije od 10 epruveta za dobijanje tačaka DGD [1, 2]. Realizovana

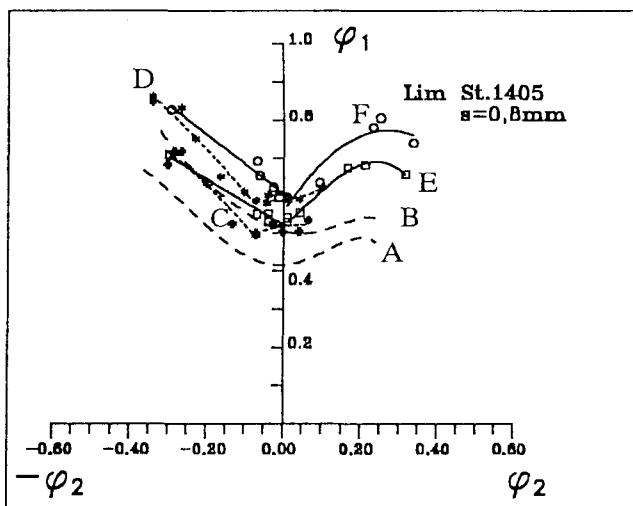
Mr Srbislav Aleksandrović, dipl. ing.,
Mašinski fakultet Kragujevac

je na mašini ERICHSEN 142/12 (maksimalna sila 120 kN) brzinom deformisanja 15 mm/min. Prečnik polusfernog izvlakača je 50 mm.



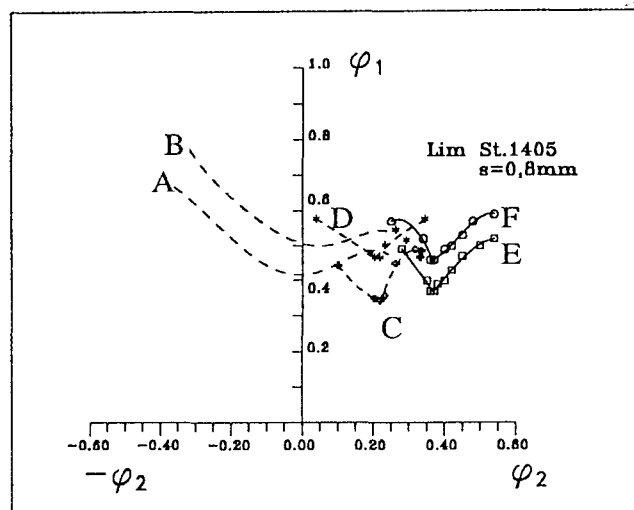
Sl.2 Princip ostvarenja razvlačenja na dnu komada

Sl. 3 prikazuje tri para eksperimentalnih krivih. Par A,B su osnovne krive dobijene monotonim deformisanjem. Krive C i D dobijene su deformisanjem po shemi 2 u uslovima suvih površina, a krive E i F u uslovima podmazivanja uljem i folijom. Donje krive u paru odnose se na lokalizaciju, a gornje na razaranje. Primenom ulja i folije trenje u kontaktu izvlakača i lima svedeno je na najmanju meru. Zapaža se efekat porasta druge glavne deformacije, dok prva ne pokazuje veće promene. Sa smanjenjem koeficijenta trenja efekat je izraženiji.



Sl.3 Položaj DGD pri postupku po shemi 2

Na sl. 4 dato je, takođe, tri para krivih. A i B su osnovne krive kao i na sl. 3. Krive C i D pokazuju znatan uticaj nemonotonog deformisanja po shemi 4. Ovaj par se odnosi na slučaj pojačanog trenja (suve kontaktne površine). Par krivih E,F daje DGD pri smanjenom trenju (primena ulja i folije). Efekat priraštaja druge glavne deformacije uočen na sl. 3 ovde je pojačan.



Sl. 4 Položaj DGD pri postupku po shemi 4

3. REZULTATI TEORIJSKOG PRISTUPA I UPOREĐENJE SA EKSPERIMENTOM

Kao teorijski model ovde je korišćen tzv. quasi- teorijski pristup detaljno izložen u [1, 3, 5]. Na ovom mestu biće navedene samo konačne vrednosti graničnih deformacija. Vrednost φ_2 biće korigovana za uočen priraštaj na eksperimentalnim krivim uzrokovan smanjenim trenjem.

Na osnovu sledećih relacija i potrebnih podataka razvijen je program u Turbo Pascalu za dobijanje DGD. Krive se izračunavaju tačka po tačka i formiraju se dva fajla (za levu i desnu granu krive DGD). Pored podataka o samom procesu (deformacioni odnos t) treba poznavati samo debljinu lima i eksponent deformacionog ojačavanja (n -faktor). Na slikama 5 i 6 vide se korigovane krive. Prednost ovakvog pristupa je njegova jednostavnost. Granične deformacije date su relacijama:

$$\varphi_{1L(i)}^T = \varphi_1^{(1)} + f q_{(i)} \frac{(1 + 1.8 \cdot s) \cdot n}{6 A_{\varphi(i)}^{(2)} - 2} \sqrt{3(t_{(j)}^{(2)} + 1)} \quad \text{za } t_{(j)}^{(2)} > 0$$

$$\varphi_{1L(i)}^T = \varphi_1^{(1)} + f q_{(i)} \frac{(1 + 1.8 \cdot s) \cdot 2t_{(j)}^{(2)} + 3}{3(t_{(j)}^{(2)} + 1)} n}{6 A_{\varphi(i)}^{(2)} - 2} \sqrt{3} \quad \text{za } t_{(j)}^{(2)} < 0$$

$\varphi_1^{(1)}$ je deformacija na kraju prve faze procesa, a: $t = \frac{\varphi_2}{\varphi_1}$

deformacioni odnos. $t^{(1)}$ je konstantna vrednost za prvu fazu (-0.5 za shemu 2; 1 za shemu 4). $t_{(j)}^{(2)}$ je nezavisno promenljiva (na to ukazuje indeks j) i uzima vrednosti u granicama približno -0.5 do 1. Ostale veličine imaju sledeći oblik:

$$f q_{(i)} = \frac{1 - q_a^{(1)}}{1 + f(t^{(1)} - t_{(j)}^{(2)}) q_a^{(1)}}; \quad q_a^{(1)} = \frac{\varphi_1^{(1)}}{\varphi_{1L}^{(1)}}$$

$$\varphi_{1L}^{(1)} = \frac{(1 + 1.8 \cdot s) \cdot n}{\frac{6A_{\varphi}^{(1)}}{\sqrt{3}(t^{(1)} + 1)} - 2} \quad \text{za } t^{(1)} > 0$$

$$\varphi_{1L}^{(1)} = \frac{(1 + 1.8 \cdot s) \frac{2t^{(1)} + 3}{3(t^{(1)} + 1)} n}{\frac{6A_{\varphi}^{(1)}}{\sqrt{3}} - 2} \quad \text{za } t^{(1)} < 0$$

$$\varphi_{2L(j)}^T = t^{(1)} \varphi_1^{(1)} + t_{(j)}^{(2)} (\varphi_{1L(j)}^T - \varphi_1^{(2)})$$

Vrednost $A\varphi^{(1)}$ se dobija analogno (uzima se $t^{(1)}$).

$f=3$ za $t^{(1)} > t^{(2)}$; $f=1/3$ za $t^{(1)} < t^{(2)}$. s je debljina lima, a n eksponent deformacionog ojačavanja (n -faktor).

Druga glavna granična deformacija izračunava se po sledećoj relaciji:

Korigovana vrednost za priraštaj druge glavne deformacije se određuje po izrazu:

$$\varphi_{2L(j)}^T = \varphi_{2L(j)}^T + \Delta\varphi_2$$

$\Delta\varphi_2$ može da se pretpostavi kao kvadratna funkcija koeficijenta trenja. Ako se uzmu vrednosti za koeficijent trenja dati u [4] i funkcionalna zavisnost u obliku kvadratne parabole moguće je dobiti metodom najmanjih kva-

$$A_{\varphi(j)}^{(2)} = \sqrt{1 + t_{(j)}^{(2)} + (t_{(j)}^{(2)})^2}$$

drata priraštaj $\Delta\varphi_2$.

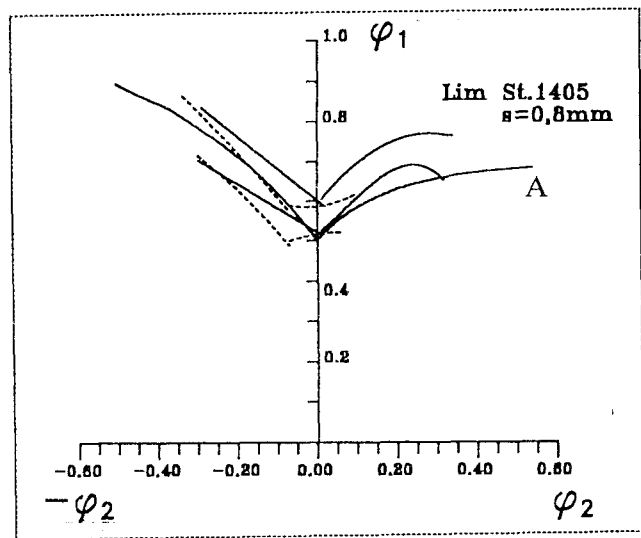
Vrednosti koeficijenta trenja su [4]:

- za suve kontaktne površine 0.14 ;
- primena ulja za duboko izvlačenje 0.1 ;
- primena plietilenske folije 0.085 ;
- primena ulja i folije 0.06.

Vrednosti priraštaja $\Delta\varphi_2$ eksperimentalno su utvrđene za ekstremne uslove (suve površine i površine podmazane uljem i polietilenskom folijom) i vidljive su sa sl. 3 i sl. 4. Za prelazne kontaktne uslove pretpostavljene su vrednosti priraštaja 0.04 (za korišćenje plietilenske folije) i 0.06 (za primenu ulja za duboko izvlačenje). Za ove vrednosti potrebna je eksperimentalna provera koja će se obaviti tokom predstojećih istraživanja. Relacija za određivanje $\Delta\varphi_2$ je:

$$\Delta\varphi_2 = 0.228 - 2.51\mu + 6.29\mu^2.$$

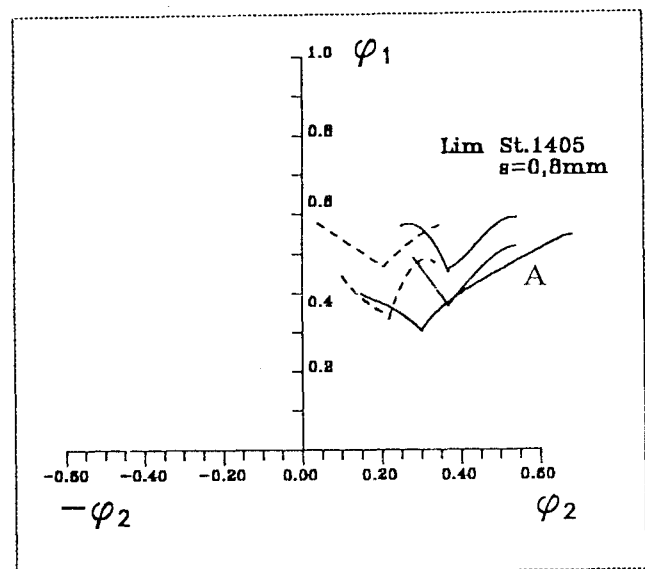
Sl. 5 prikazuje položaj teorijske krive DGD po ukratko izloženom modelu uz korekciju za iznos priraštaja druge glavne deformacije usled promenljivih tribo-uslova na kontaktnim površinama alata i lima. Pomenuta kriva



Sl.5 Položaj korigovane teorijske krive DGD po shemi 2

označena je sa A dok su ostale krive eksperimentalne (već prikazane na sl. 3 sa eksperimentalnim tačkama koje su ovde izostavljene zbog jasnoće prikaza). Kriva A se odnosi na razaranje i upoređujući njen položaj sa eksperimentalnim krivama moguće je zapaziti solidno poklapanje iako je teorijski model relativno jednostavan. Uočava se da kompletna kriva leži nešto niže od eksperimentalne što obezbeđuje zonu sigurnosti, bitnu iz praktičnih razloga. Pošto je reč o krivoj razaranja (gornjoj krivoj pojasa DGD, kako se obično predstavlja eksperimentalni DGD) bilo bi opasno očekivati da lim može da izdrži veće granične deformacije (u ovom slučaju prvu glavnu graničnu deformaciju) nego što stvarno može. Taj rizik uvek postoji ako teorijska kriva razaranja leži visoko.

Sl. 6 (analogno sl. 5) daje prikaz teorijske granične krive za shemu deformisanja 4 (kriva A). Ostale neobeležene krive su eksperimentalne. I na ovom prikazu izostavljene su eksperimentalne tačke radi preglednosti. Uočava se nešto niži položaj krive A u odnosu na pojas lokalizacije



Sl. 6 Položaj korigovane teorijske krive DGD po shemi 4

eksperimentalnog DGD što daje nešto veću zonu sigurnosti za praktičnu primenu od potrebne. Što se tiče priraštaja $\Delta\varphi_2$, vidljiva je razlika između eksperimentalnih krivih i krive A. Sve ovo navodi na zaključak da tribo-uslovi različito utiču na položaj DGD ako se menja tip nemonotonosti odnosno deformaciona shema. Prema tome u izrazu za priraštaj druge glavne granične deformacije treba, pored koeficijenta trenja, uvesti i odgovarajući faktor koji bi uzeo u obzir putanju u prvoj fazi deformisanja (na pr. deformacini odnos t). Naredna ispitivanja obuhvatiće i ovo pitanje.

4. ZAKLJUČAK

Suštinsko objašnjenje efekata uticaja nemonotonosti procesa deformisanja na položaj krivih granične deformabilnosti pri promenljivim tribo-uslovima leži u složenim procesima na mikro-nivou koji se dešavaju u metalnoj rešetki lima. Sa inženjerskog aspekta važniji je fenomenološki pristup koji omogućava sagledavanje zakonitosti i uticajne faktore na makro nivou. Pravilno utvrđivanje tih relacija omogućava kvalitetno rešavanje problema u tehnološkoj praksi obrade deformisanjem.

Pokušaj jednostavnog uključenja tribo-uslova u postojeće relacije položaja krivih dijagrama granične deformabilnosti pri dvofaznim nemonotonim procesima deformisanja dao je zadovoljavajuće, ali početne rezultate koje narednim istraživanjima treba unaprediti. Prime-

njeni teorijski model sa korekcijom, u slučaju dvofaznog deformisanja kad se u prvoj fazi vrši jednoosno zatezanje (shema 2) daje zadovoljavajuće rezultate. Nešto su veća odstupanja u slučaju deformisanja po shemi 4 (u prvoj fazi dvoosno zatezanje - razvlačenje), ali su rezultati još uvek primenljivi sa praktičnog stanovišta.

LITERATURA

- [1.] S. ALEKSANDROVIĆ: Granična deformabilnost tankih limova u uslovima nemonotonog procesa plastičnog deformisanja, magistarski rad, Mašinski fakultet, Kragujevac, 1993.g.
- [2.] M. STEFANOVIĆ: Tribologija dubokog izvlačenja, Jugoslovenski komitet za tribologiju, Kragujevac, 1994.g.
- [3.] B. DEVEDŽIĆ: Granična deformabilnost limova pri različitim istorijama deformisanja, 24. savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Novi Sad, 1992.g.
- [4.] E. G. GUCKER: The Analysis of Frictional Behaviour and Formability under the Conditions of the real Cup-Drawing Process, Institut für Fertigungstechnik, University Siegen, Germany, 1989.g.
- [5.] B. DEVEDŽIĆ, S. ALEKSANDROVIĆ: Uticaj nemonotonosti dvofaznih procesa deformisanja na graničnu deformabilnost tankih limova, 25. savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Beograd, 1994.g.

Influence of The Variable Tribo - Conditions on Position of The Limiting Deformability Curve of The Thin Sheets

The paper contains the experimental results of investigations of the tribo conditions influence on the position of the limiting deformability curve (LDC) in non - monotonous straining and a proposition of the simple empirical - analytical way for definition of the LDC position with respect to contact conditions.

Experiments includes two two - phase non - monotonous procedures. The first one (denoted as the schematics 2) in the first phase contains the uniaxial stretching of the thin sheet strips of the 200 mm width, while the second one (denoted as the schematics 4) the biaxial stretching realized by the special stretching tool.

In the second phase is the procedure of the LDC determination by stretching the series of samples with the variable thickness by the semispherical stretching tool. The influence of the tribo conditions was investigated by application of the extremal contact conditions. On one side those are the dry contact surfaces degrease by acetone, and on the other side surfaces lubricated with oil and polyethylene foil.

Влияние изменчивых трибологических условий на положение кривой предельной деформируемости тонкой листовой стали

В работе изложены результаты экспериментальных исследований влияния трибологических условий на положение кривой предельной деформируемости (ДГД) при немоноотонном деформировании и предложен простой способ определения этого положения в зависимости от условий контакта.

Опыт состоит из двух этапных немоноотонных способов. Первый (показанный как схема 2) на первом этапе подразумевает одноосное растяжение листовой ленты, шириной 200 мм, а второй (схема 4) как функции двухосное растяжение, проводимое на дне цилиндричного куска материала диаметра 100 мм, полученного глубокой вытяжкой с помощью специального приспособления.

На втором этапе определялось положение кривой предельной деформируемости растяжением серии образцов различной ширины полусферическим вытягивателем. Влияние трибологических условий исследовалось в экстремальных условиях контакта, т.е. при вполне сухих поверхностях и с применением масла и полиэтиленовой фольги.