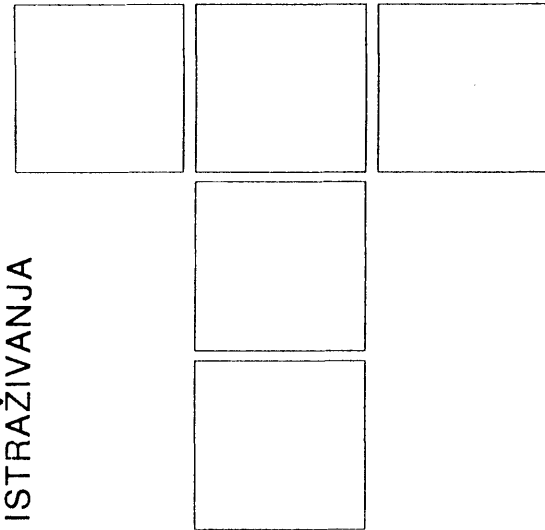


M. STEFANOVIĆ

Klizanje preko zateznog rebra - specifičan tribotest u obradi dubokim izvlačenjem *

ISTRAŽIVANJA



1. UVOD

Klizanje trake od lima preko zateznog rebra je karakterističan tribo-test u oblasti tribologije procesa dubokog izvlačenja tankih limova iz više razloga. Za razliku od poznatih postupaka za ocenu obradivosti limova dubokim izvlačenjem (Swift, Erichsen), koji na određeni način uključuju granične uslove, ovakvo ispitivanje neposredno modelira zonu na obodu komada koji se izvlači. Takođe, ovakvo ispitivanje podrazumeva i realnu makrogeometriju alata - širinu, visinu i radijus zaobljenja rebra, uz odgovarajuće vrednosti brzine i pritiska, čime se postiže tzv. potpuno modeliranje procesa.

U skladu sa klasifikacijom tribo-modeliranja [1], rezultati ovog ispitivanja pripadaju 1. grupi relevantnih parametara, koju čine: sila trenja, koeficijent trenja, parametri hrapavosti, dužina klizanja (kod testova abrazije), temperatura, težinski iznos habanja i sl.

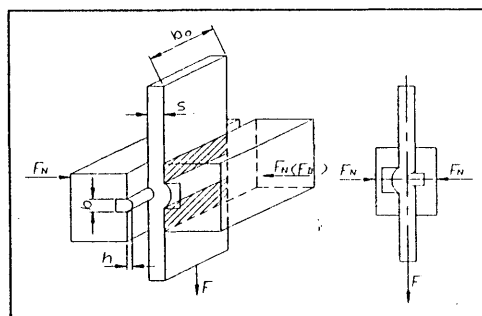
Šire posmatarno, optimizacija geometrije zateznih rebra je izuzetno značajna za proces dubokog izvlačenja, s obzirom da se njihovom korekcijom i mazivom (vrsta i zona nanošenja) može efikasno uticati na proces obrade; ostale mogućnosti - izmena materijala, promena geometrije izvlačkača i matrice, korekcija zazora i sile držača su znatno složenije. Ova problematika je detaljno razmatrana u više radova [2], [3], [4].

2. KARAKTERISTIKE PROCESA KLIZANJA PREKO ZATEZNOG REBRA

Pri klizanju preko zateznog rebra, prema sl.1, deformaciono stanje je ravansko, bez promene širine trake; ravansko naponsko stanje u zonama malih poluprečnika savijanja, prvenstveno na matrici, prelazi u prostorno.

Tačno izračunavanje sile, koja savlada otpor pri klizanju je složeno, pri čemu najveću teškoću predstavlja precizno određivanje deformacionog otpora pri cikličnom opterećenju - naizmeničnom savijanju i ispravljanju preko ivica matrice i zateznog rebra.

Praktično je nemoguće odrediti krivu cikličnog ojačanja, koja pouzdano prati ovakvo deformisanje, kada su polja materijala sa jedne i druge strane neutralne naponske linije naizmenično opterećena na zatezanje i pritisak. Pri

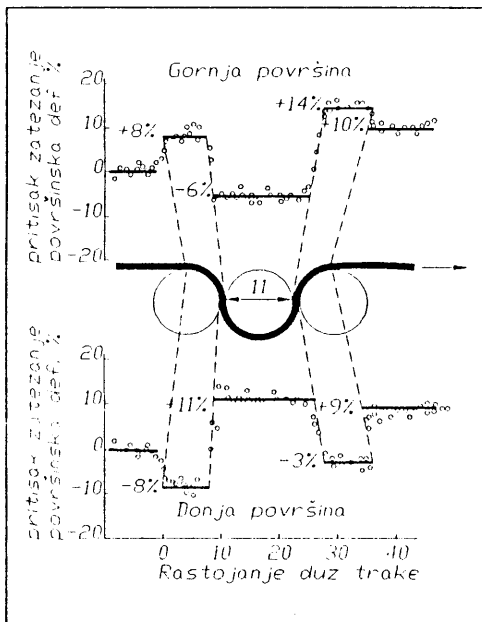


Sl. 1. Šema ispitivanja klizanjem preko zateznog rebra
Scheme of the investigation over the tensile rib
Схема исследования скольжением через
наиболее сильное ребро

Dr Milentije Stefanović,
vanr. prof., Mašinski fakultet u Kragujevcu

jednoosnom zatezanju deformaciono ojačanje se monotono uvećava sa rastom deformacije. Najveća prirodna deformacija pri ovakvom ispitivanju je znatno niža od sumarne deformacije koja se ostvaruje pri klizanju preko rebra (prema slici 2, ona iznosi 46% i 53% [5]).

Ukupnu silu klizanja čine sila cikličnog savijanja (sila oblikovanja), i sila trenja. U posebnim tribološkim uslovima (slabo podmazivanje, zaprljane kontaktne površine, povišena hrapavost alata i lima) sila koja savladava otpor trenju može porasti do polovine ukupne sile na zateznom rebru.



Sl. 2. Ostvarene deformacije pri naizmeničnom savijanju i ispravljavanju lima [5]
Realized deformations during cyclic folding and straightening of the tin sheet
Степень деформации при последовательном сгибании и правке листовой стали

Eksperimentalno je moguće razdvojiti silu čistog oblikovanja od sile trenja, korišćenjem uređaja sa osloncima u vidu valjčića [5]. Primenjena metodologija je identična dekompoziciji sila pri savijanju sa zatezanjem [6], s obzirom da je vrednost koeficijenta trenja kotrljanja praktično zanemarljiva.

Test klizanja preko zateznog rebra može se uspešno koristiti kod ocene maziva za duboko izvlačenje, istraživanja pojave habanja alata, ispitivanja postojanosti prevlaka na zaštićenim limovima i sl. [7],[8].

Tabela 1.

R_p [MPa]	R_m [MPa]	A_{80} [%]	n	r	R_a [μ m]	R_t [μ m]	R_z [μ m]
177.0	300.4	38.1	0.24	1.5	1.81	12.4	10.8
Kriva ojačanja: $K = 177.0 + 388.2 \varphi^{0.448}$ [MPa]							

Komercijalno su realizovani uređaji za ovakva ispitivanja [9], u skladu sa standardima pojedinih proizvođača limova, (DACRAL, KRUPP, THYSEEN). Sklonost ka prilepljivanju - atezionom dejstvu lima i alata, najčešće se izučava u uslovima tzv. redukovano podmazivanja, kada se mazivo nanosi samo na prvi komad, a zatim prati porast sile klizanja i pogoršanje izgleda površine epruvete (nastajanje hladnog privarivanja, [10]). Sklonost ka prilepljivanju zavisi od tvrdoće, hrapavosti i hemijskih karakteristika površina u kontaktu, kao i reoloških svojstava maziva.

3. EKSPERIMENTALNA ISPITIVANJA

Osnovna shema ispitivanja je pokazana na slici 1. Dimenzije epruveta, sečenih u pravcu valjanja, iznose 200X20X0.8 mm. Uslovi ispitivanja:

- brzina deformisanja: $v=20$; 200 mm/min
- širina rebra: $b=10$ mm
- visina rebra: $h=2$; 4; 6 mm
- radijus na rebru: $r=2$; 3; 4; 5 mm.

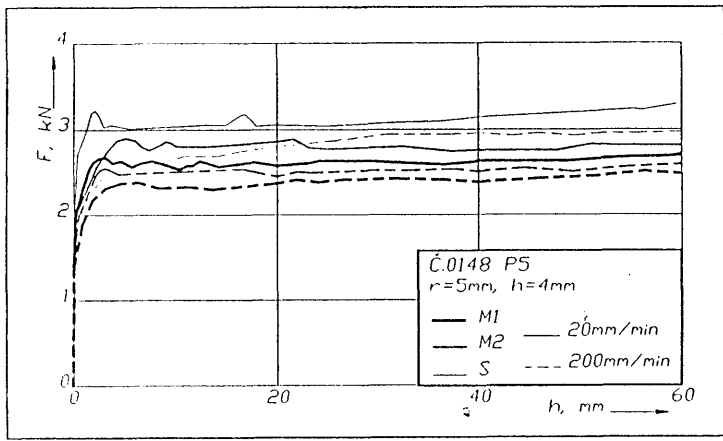
Smanjenjem poluprečnika r u radnoj zoni rebra, povećava se neophodna sila savijanja. Vrednosti specifičnih pritiska na držaču izabrane su s obzirom na mogućnost potpunog savijanja, odnosno razaranja i iznose: $p_D = 2.4$; 5.0; 7.6; 10.8 MPa. U radu je korišćen niskouglenični čelični lim Č.0148 P5, čije su karakteristike navedene u tabeli 1.

Za podmazivanje su korišćene dve vrste maziva za duboko izvlačenje (M1 i M2); serija eksperimenata je rađena sa tehnički suvim kontaktnim površinama (S).

Kompletan uređaj za ispitivanje, opremljen dopunskim pogonom za obezbeđenje sile držanja, kao i elementima za registrovanje mernih veličina, instaliran je na hidrauličnoj presi ERICHSEN 142/12 (detaljan opis instalacije dat je u radu [11]).

Na slici 3 pokazana je zavisnost sile klizanja preko zateznog rebra od puta - dužine klizanja. Karakteristični iznosi sila se uzimaju na dužini od 15 mm, u zoni stacionarnog klizanja, pri tzv. nepromenljivom niskom trenju. U odsustvu maziva (stanje S) dolazi do brazdanja površine lima, kidanja čestica mekšeg metala i porasta sile u drugoj fazi klizanja. Za razliku od klizanja između ravnih kontaktnih parova, u ovom slučaju ne dolazi do pojave Stick-Slip-a.

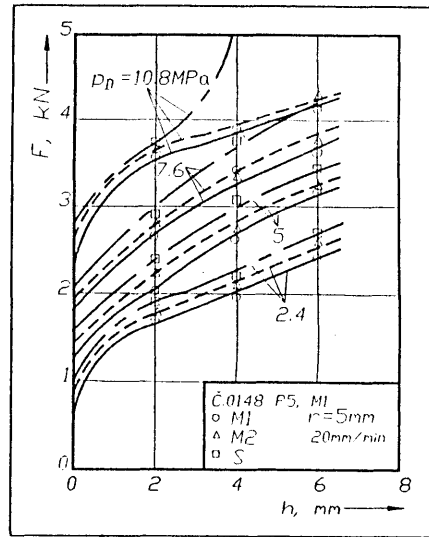
S obzirom da se eksperiment odvija u 5-to dimenzionom faktornom prostoru, prikazani su samo neki karakteristični rezultati. Na slici 4 i 5 date su zavisnosti sile klizanja pri promeni visine rebra, pritiska držača, izmeni maziva i brzina klizanja.



Slika 3. - Zavisnost sile od hoda za različite kontaktne uslove
 Dependence of the force on the step for various contact conditions
 Зависимость силы от хода для различных условий контакта

U slučaju male visine rebra ($h=2\text{mm}$) značajan je uticaj pritiska; sa porastom visine izražen uticaj imaju i mazivo i brzina. Ovo je razumljivo, pošto se većim silama na držaču, pored potpunijeg savijanja oko zateznog rebra, ostvaruje i veće trenje.

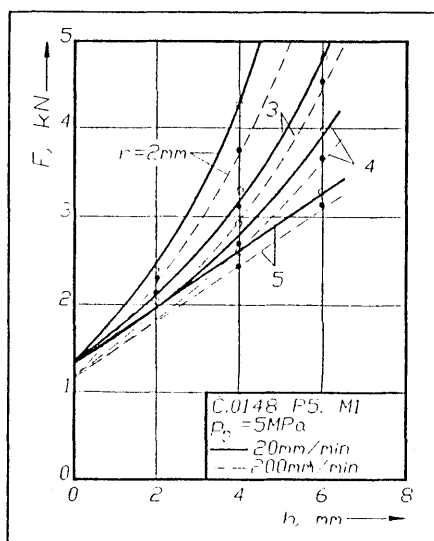
Jednaku silu klizanja-kočenja moguće je, prema slici 5, ostvariti različitim kombinacijama radijusa i visine rebra, ali se smanjenjem vrednosti r bitno menjaju uslovi u mikro-kontaktu (intenzivno ciklično savijanje i kombinacija izravnjenja pikova u kontaktu i razvlačenja podnožja neravnina). Prema slici 6 uticaj r je izrazit sa povećanjem visine h . Zatezna rebra polukružnog preseka omogućavaju klizanje i pri visokim silama držanja.



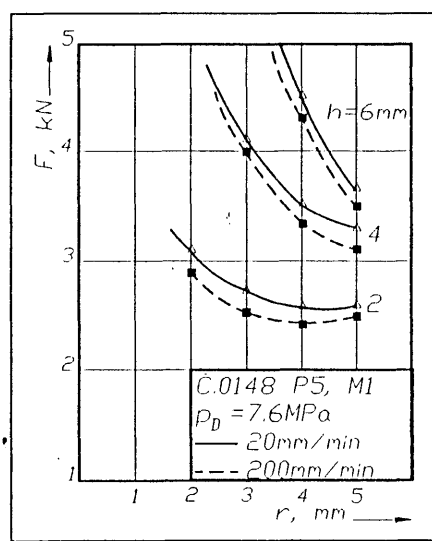
Sl. 4. Zavisnost sile klizanja od uslova ispitivanja
 Dependence of the sliding force on test conditions
 Зависимость силы скольжения от условий испытания

Umesto sa vrednostima specifičnih površinskih pritisaka p_D , pogodnije je raditi sa tzv. linijskim (svedenim) pritiskom p_r , koji se dobija svedenjem sile držača na aktivnu dužinu zateznog rebra. Na slici 7 prikazana je ovakva zavisnost, pri čemu se vrednost $h=0$ odnosi na ravne kontaktne površine (bez rebra).

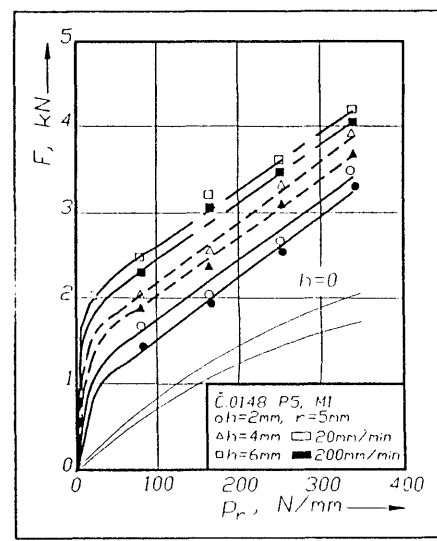
U svim pokazanim slučajevima smanjuje se sila klizanja pri porastu brzine, s obzirom na zanemarljiv uticaj promene brzine klizanja - deformisanja na deformaciono ojačanje. Mazivo M1 pokazalo je pri svim ispitivanjima najbolja svojstva.



Sl. 5. Zavisnost sile klizanja od uslova ispitivanja
 Dependence of the sliding force on test conditions
 Зависимость силы скольжения от условий испытания



Sl. 6. Zavisnost sile klizanja od poluprečnika rebra
 Dependence of the sliding force on the rib radius
 Зависимость силы скольжения от диаметра ребра



Sl. 7. Zavisnost sile klizanja od linijskog pritiska
 Dependence of the sliding force on the linear pressure
 Зависимость силы скольжения от линейного давления

4 . ZAKLJUČCI

Klizanje trake od lima preko zateznog rebra spada u grupu modelnih ispitivanja u oblasti tribologije dubokog izvlačenja, koja su osnova za izučavanje uticaja trenja na obodu komada. Realizuje se u uslovima ravanskog deformacionog stanja sa složenim karakterom cikličnog ojačanja.

S obzirom na realnu mikro i makro - geometriju kontaktnih parova, pri istraživanju se ostvaruje princip potpunog modeliranja.

Pri ispitivanju je moguće realizovati otežane tribo-uslove (visoki lokalni pritisci u zonama savijanja, velike dužine klizanja), kao preduslova za pouzdano ocenjivanje mazi-va za duboko izvlačenje, postojanosti prevlaka na zaštićenim limovima i sl.

Dominantan uticaj na veličinu sile klizanja, posebno komponente koja se odnosi na trenje, ima visina rebra. Izražen je i uticaj pritiska držača i brzine.

LITERATURA

- [1] M. STEFANOVIĆ, Razvoj triboloških modela u obradi dubokim izvlačenjem, YUTRIB '91, Kragujevac 1991, 135-141.
- [2] C. WEIDEMANN, The Blankholding Action of Draw Beads, Sheet Met.Ind. Sept. 1978, 984-989.

- [3] A. D. TOMLENOV, Teoria plastičeskogo deformirovania metalov, "Metalurgia", Moskva 1972.
- [4] M. J. PAINTER, R. PEARCE, Metal flow through a Draw Bead, Sheet Met.Ind. July 1976, 12-16.
- [3] N. HARMEN, Draw Bead Forces in Sheet Metal Forming Mech., Sheet Metal Forming Mater. Behav. and Det, Warren, Mich, 1977.
- [6] P. Witthuser, Untersuchung von prüfverfahren zur Beurteilung der Reibungsverhältnisse beim Tiefziehen, Dissert., Hannover, 1980.
- [7] M. KOJIMA, C.SUDO, Y.HAYSHI, Effectiveness of Flange Holding on the Die Surface with Draw Beads, 9th Congress of IDDRG, 1976, 207-219.
- [8] N. HARMEN, Assessment of Lubricants for Aluminium Forming SAE Tech.Pap, Sept. 1978, No 780394.
- [9] Prospekt - Stamping Lubricant Tester, SLT, Keil Division of Ferro Corporation, USA.
- [10] A. BRAGARD... Present State of the CRM Work Related to Surface Analysis of Cold Rolled Steel Sheets, 10th IDDRG, Warmick 1978, 253-277.
- [11] M. STEFANOVIĆ, Prilog istraživanju uticaja kontaktnog trenja pri dubokom izvlačenju tankih limova, Doktorska disertacija, Kragujevac, 1985.

* Rad je izložen na Trećoj jugoslovenskoj konferenciji o tribologiji YUTRIB'93, Kragujevac, 24.-25. juna 1993.god.

Sliding Over The Tensile Rib - A Specific Tribo-test in Machining By Deep Drawing

In the paper are presented basic characteristics of tribo-modeling of the special zone of the working piece that is being drawn - at the point of tensile rib on the holder (matrix). Investigation includes intensive deformation and friction during bending and straightening around the tensile rib, accompanied by complex cyclic hardening of material. Presented results show the dependence of the sliding force (stretching over) on geometry of the rib, holding force, used lubricant, and sliding speed. Presented methodology enables investigation of tribological phenomena, as well as definition of corresponding relations in the holder's zone in drawing the parts of the complex shape.

Скольжение через натяжительное ребро - особый трибологический тест при обработке глубокой штамповкой

В работе изложены основные характеристики трибологического моделирования особой зоны штампуемой заготовки - на месте опоры ребра на суггории (матрицу). В исследованиях наблюдались интенсивности трения и деформирования при изгибе и правке вокруг натяжительного ребра, сопровождаемые сложным циклическим усилением материала. Изложенные результаты показывают зависимость силы скольжения от геометрии ребра, силы суггории, вида смазки и скорости скольжения. Применённая методика обеспечивает изучение в зоне суггории при глубокой штамповке деталей сложной формы.