

UTICAJ KONTAKTNIH USLOVA NA OBLIKOVANJE DVOSTRANIM ZATEZANJEM TANKIH LIMOVA

Milentije Stefanović¹, Srbislav Aleksandrović², Dragan Adamović³, Milica Samardžić⁴

¹Mašinski fakultet u Kragujevcu, Republika Srbija, stefan@kg.ac.rs

²Mašinski fakultet u Kragujevcu, Republika Srbija, srba@kg.ac.rs

³Mašinski fakultet u Kragujevcu, Republika Srbija, adam@kg.ac.rs

⁴Institut za automobile Zastava, Kragujevac, Republika Srbija, mica@ia.kg.ac.rs

Apstrakt: Dvoosno zatezanje-razvlačenje limova je jedna od karakterističnih naponsko-deformacionih shema, koja pri oblikovanju limova dubokim izvlačenjem može postojati u pojedinim oblastima komada ili potpuno dominirati (Erichsen-ov test). U takvim slovima oblikovanja izuzetan zanačaj imaju tribološki uslovi u kontaktu alata i lima. Pored dubine pri razaranju, osnovnog pokazatelja ispitivanja, u radu se navode i kompleksniji parametri kojima se može oceniti uticaj kontaktnih uslova – sila razaranja i distribucija ostvarenih deformacija. Takođe, pokazuje se da u uslovima višestepenog oblikovanja, odnosno pri izmeni tzv. istorije deformisanja, kontaktni uslovi značajno opredeljuju iznose ostvarenih graničnih deformacija. Navedena metodogija se može uspešno koristiti za ocenu tehnoloških kvaliteta maziva za duboko izvlačenje.

Ključne reči: duboko izvlačenje, razvlačenje, trenje, deformacije.

1. UVOD

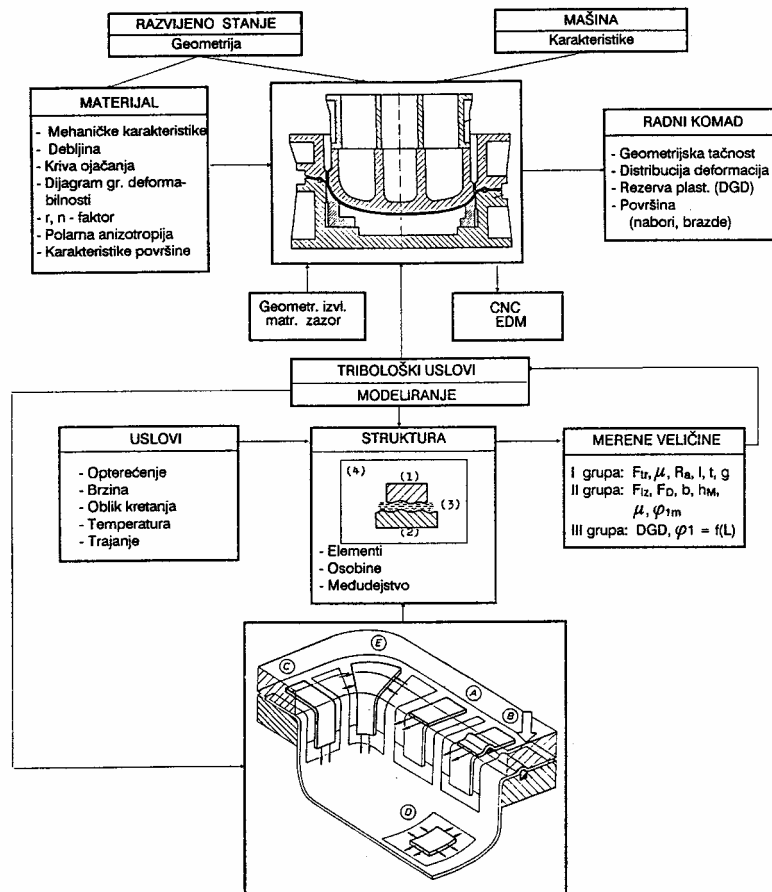
Pri dubokom izvlačenju delova složene geometrije, u pojedinim zonama komada koji se oblikuje mogu postojati različite naponsko-deformacione šeme, sa često kompleksnim uticajem triboloških uslova. Na obodu komada, pored zona čistog tangencijalnog sabijanja, kod delova koji nemaju potpuno zakrivljenu unutrašnju konturu, prisutno je i jednoosno zatezanje, koje na ivici matrice prelazi u polje savijanja. Ukoliko postoje zatezna rebra na obodu, naponska šema se znatno komplikuje. Po pravilu, u zidu komada koji prenosi deformacionu silu, prevladava jednoosno zatezanje. U pomenutim zonama, neophodno je smanjiti trenje, odnosno upravljati trenjem na obodu, kako bi se upravljalo uvlačenjem lima u otvor matrice. Sa aspekta ostvarivanja uspešne obrade, odnosno iskorišćenja potencijala deformabilnosti materijala koji se obrađuje, posebno je važna zona ispod čela izvlakača, u kojoj prevladava naponska šema dvostranog zatezanja.

Na sl.1. pokazani su elementi obradnog i tribosistema dubokog izvlačenja delova nepravilne geometrije [1], [2].

2. KARAKTERISTIKE DVOSTRANOG ZATEZANJA

Kritični presek komada, koji prenosi deformacionu silu nalazi se neposredno iznad radijusa izvlakača, te je sa gledišta lokalizacije deformacije neophodno da se umanjevanje noseće površine što sporije odigrava. Veći koeficijent normalne anizotropije upravo to i omogućava. Trenje na samom radijusu izvlakača u ovom slučaju bi trebalo uvećati.

Međutim, pri oblikovanju potpunim dvostranim zatezanjem, obod komada je blokiran, te se deformisanje odigrava samo u otvoru matrice. Za postizanje većih stepena deformacije, trenje u kontaktu lima i izvlakača treba što više umanjiti. Na sl.2. pokazana je šema ispitivanja razvlačenjem (zona D na sl.1.).



Slika 1. Elementi obradnog sistema i opšti pristup tribo-modeliranju pri dubokom izvlačenju

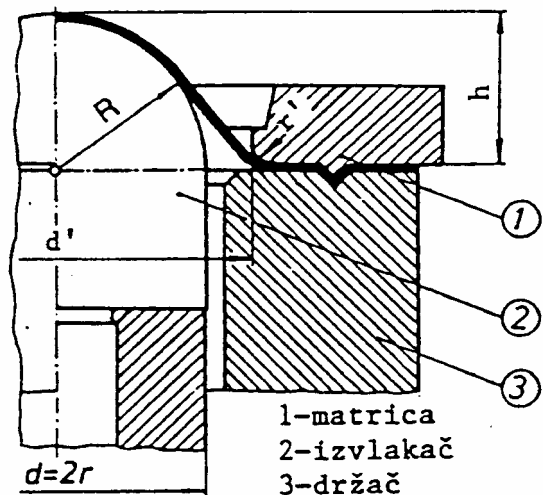
Pokazatelji ovakvog ispitivanja mogu biti po fizičkoj prirodi različiti, ali se mogu i suštinski dopunjavati. To su prvenstveno sila oblikovanja i ostvarena dubina pri razaranju [3]. Znatno složeniji pokazatelj je distribucija glavnih deformacija u glavnom - meridionalnom preseku. Ovakva ispitivanja, koja u osnovi imaju poznati Erichsen-ov test razvlačenja tankih limova, koriste se i kod novih istraživanja u oblasti ekoloških maziva za duboko izvlačenje [4]. Zbog praćenja tzv. istorije deformisanja, pogodno je poznavati promenu distribucije deformacija u pojedinim fazama oblikovanja, do pojave razaranja (npr. upoređenja pri istim dubinama).

U ovom radu se ukazuje na značaj kontaktnih uslova (različita maziva), na proces dvostranog zatezanja, u uslovima proporcionalnog i dvostepenog oblikovanja (izmena istorije deformisanja).

3. EKSPERIMENTALNI REZULTATI

U eksperimentima je korišćen niskougljenični čelični lim za duboko izvlačenje Č0148 P5 (DC04) debljine 0,8 mm. Mehaničke karakteristike ovog materijala, parametri obradivosti i površine lima

detaljno su navedeni u odgovarajućim standardima (takode u [1]).



Slika 2. Šema ispitivanja razvlačenjem

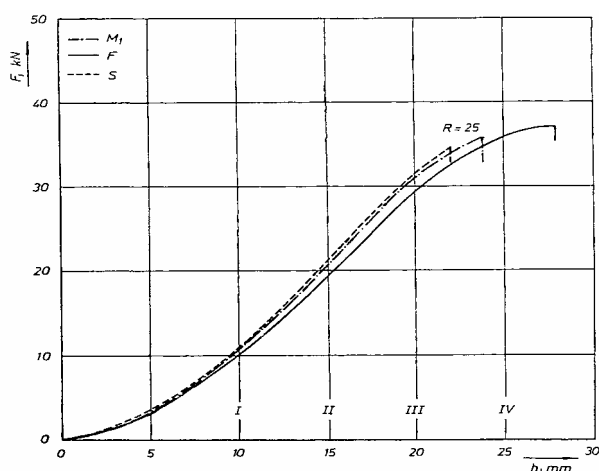
Pri ispitivanju su kao mazivo korišćeni: mineralno ulje sa EP aditivima (M) i folija polietilena sa mazivom (F-kvazihidrodinamičko podmazivanje). Oznaka S se odnosi na suve kontaktne površine, odmašćene trihloretilenom.

Svi eksperimenti su realizovani na univerzalnoj mašini za ispitivanje limove Erichsen 142/12.

Brzina izvlačenja iznosi 20 mm/min. Distribucija glavne deformacije je određivana grafometrijski, merenjem deformisanih elemenata merne mreže sastavljene od krugova nominalnog prečnika 3 mm. Očitavanja su vršena optičkim putem. Prečnik polusfernog izvlakača, prema sl.2, iznosi $d=50$ mm, a prečnik razvijenog stanja, koje se u potpunosti blokira po obodu iznosi 120 mm.

Promena sila izvlačenja za različite uslove podmazivanja pokazana je na sl.3.

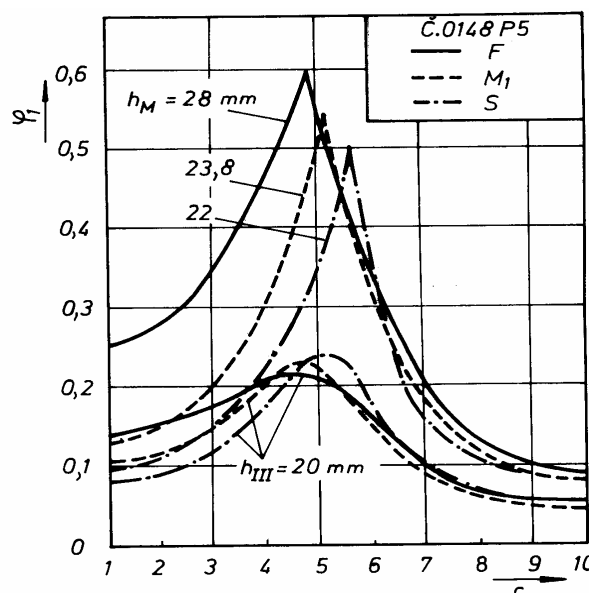
Očigledno je da se značajne razlike u ostvarenim silama i dubinama odnose na stanja S i F, što je i očekivano. Treba napomenuti da se sa povećanjem prečnika izvlakača i uključivanjem većih količina materijala u oblikovanje i ove razlike uvećavaju [3].



Slika 3. Promena sile izvlačenja sa hodom

Boljem podmazivanju odgovaraju veće dubine pri razaranju i veće deformacione sile. Zbog relativno male brzine klizanja u kontaktu i visokih lokalnih pritiska, ponašanje materijala pri deformisanju je znatno drugačije od onog na obodu (veća brzina, duži putevi klizanja). Pri istim dubinama, smanjenje trenja dovodi do manjih deformacionih sila.

Ukoliko se prethodni pokazatelji – sila i dubina pri razaranju mogu prihvatiti kao "spoljašnji" pokazatelji, ostvareno deformaciono polje, odnosno distribucija deformacija, suštinski, na "unutrašnji" način opisuje ponašanje materijala pri oblikovanju. Na sl.4. pokazana je karakteristična raspodela glavne deformacije u meridionalnom preseku, gde tački 1 odgovara polje na vrhu oblikovane polusfere. Polje 10 se poklapa sa ivicom matrice. Pokazane raspodele se odnose na najveću (dubina razaranja) i dubinu od 20 mm, pri korišćenju različitih maziva. Bolje podmazivanje pomera mesto razaranja ka centru komada, pri čemu je distribucija ravnomernija.

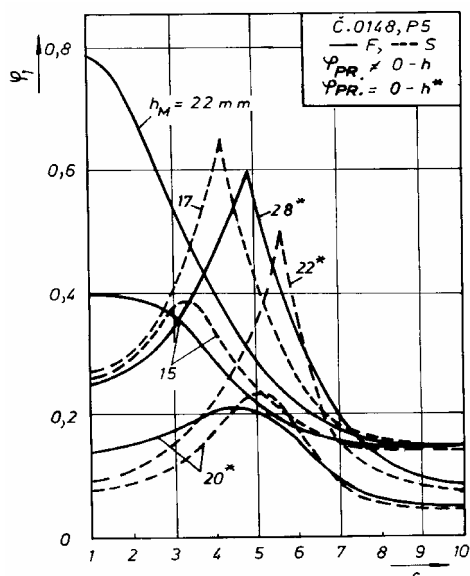


Slika 4. Distribucija deformacija za različite kontaktne uslove.

Prethodni rezultati se odnose na tzv. proporcionalno deformisanje, kada su trajektorije deformacija u pojedinim mernim poljima u prostoru glavnih linijskih deformacija približno prave linije [5], [6]. Međutim, do ključnih razlika u prirodi deformisanja dolazi pri izmeni glavnih pravaca deformacija u toku oblikovanja. Zbog složene prirode fizičko-metalurških pojava unutar strukture materijala u uslovima ovakvog deformisanja, do važnih karakteristika deformabilnosti materijala može se doći upravo eksperimentalnim postupcima određivanja deformacionih polja i analizom dijagrama granične deformabilnosti [6].

Eksperimentalna realizacija neproporcionalnog deformisanja je ostvarena dvofaznim postupkom; u prvoj fazi je traka iz koje se dobija razvijeno stanje jednoosno zategnuta do iznosa $\varphi_1 = 0,138$, a zatim je obavljeno izvlačenje-razvlačenje do određenih dubina i do najveće dubine. S obzirom da ovakva procedura zadovoljava uslove proporcionalnog deformisanja u svakoj pojedinačnoj fazi, ispunjavaju se i uslovi obuhvaćeni teorijom lokalizovanog deformisanja u području pozitivne druge glavne deformacije.

Pri dvofaznom izvlačenju ostvaruju se veći iznosi graničnih deformacija od onih pri jednofaznom, monotonom postupku, ali su dubine znatno manje, sl.5. Pri korišćenju folije pri dvofaznom oblikovanju ($\varphi_{PR} \neq 0$) ostvaruje se deformacija $\varphi_1 = 0,78$ i dubina $h = 22$ mm, pri jednofaznom $\varphi_1 = 0,6$ i dubina od 28 mm. Kod stanja S razlike su nešto umanjene.



Slika 5. Distribucije deformacija

Rezultati pokazuju izuzetnu osetljivost postupka dvostranog zatezanja pri dvofaznom oblikovanju prema zadatoj trajektoriji deformacija: jednoosno zatezanje, zatim razvlačenje, prema kontaktnim uslovima.

4. ZAKLJUČAK

Dvoosno zatezanje - razvlačenje tankih limova je specifičan test za definisanje posebnih parametra obradivosti, ali i kompleksan postupak za ocenu triboloških uslova u kontaktu lima i alata. Pri tome se moraju poštovati opšti uslovi o sličnosti naponsko-deformacionih i tribo-uslova ovog modela i realnog procesa dubokog izvlačenja.

Standarni pokazatelj ispitivanja je najveća ostvarena dubina pri ispitivanju. U uslovima smanjenog trenja, povećava se dubina pri

razaranju, sila i ostvarena granična glavna deformacija. Međutim, u radu se pokazuje da je u uslovima složene istorije deformisanja moguće ostvariti veći stepen granične deformacije, pri manjim kritičnim dubinama. U ovakvim slučajevima, neophodno je koristiti pokazatelje distribucija deformacija, čime se u potpunosti opisuju uticaj kontaktnih uslova pri deformisanju.

LITERATURA

- [1] M.Stefanović: Tribologija dubokog izvlačenja, Monografija, Jugoslovensko društvo za tribologiju, Kragujevac, 1994., 150 str.
- [2] N. Bay, D.D. Olss: Lubricant test methods for sheet metal forming, *Tribology International*, Volume 41, Issues 9-10, September-October 2008, Pages 844-853
- [3] M.Stefanović, S.Aleksandrović: Tribo-modeling in Stretching of thin Sheets, Symposium on Computational and Experimental Methods in Mechanical and Thermal Engineering, Gant, 1998. Proceed. pp.85-89.
- [4] K.P. Rao, C.L. Xie: A comparative study on the performance of boric acid with several conventional lubricants in metal forming processes, *Tribology International*, Volume 39, Issue 7, July 2006, Pages 663-668
- [5] M.Stefanović, S. Aleksandrović: Influence of the Strain Path and Tribo-conditions on Limiting Formability in Deep Drawing, *Journal for Technology of Plasticity*, Novi Sad, 1/2, 1994., 47-56.
- [6] S.Aleksandrovic, M. Stefanovic: Significance of Strain Path in Conditions of Variable Blank Holding Force in Deep Drawing, *Journal for Technology of Plasticity*, Novi Sad, Vol. 30 (2005), No 1-2, pp.25-36.

INFLUENCE OF CONTACT CONDITION ON STRETCHING OF THIN SHEETS

Abstract: Two-axis tension-stretching of sheet metals is one of the typical stress-strain schemes which, at metal forming by deep drawing, can exist in particular piece zones or it can completely dominate (Ericksen test). In such forming conditions, tribological conditions at tool and sheet metal contact are of extreme significance. In addition to depth at rupture, which is the main investigation indicator, the paper also specifies more complex parameters by which the influence of contact conditions can be estimated – fracture force and realized strains distribution. Also, it shows that in conditions of multistage forming, i.e. at change of so called strain paths, contact conditions influence significantly the amounts of realized limit strains. The specified methodology can be used successfully for estimation of technological quality of the lubricant for deep drawing.

Key words: deep drawing, stretching, friction, strains.