

UPRAVLJANJE SILOM DRŽANJA PRI DUBOKOM IZVLAČENJU – ZNAČAJ I OGRANIČENJA

S. Aleksandrović¹, M. Stefanović², T. Vujinović³

Rezime: Upravljanje silom držanja omogućava upravljanje trenjem na obodu komada tokom procesa dubokog izvlačenja. Na taj način značajno se utiče na tok i rezultate procesa. U radu se analizira stepen uticaja trenja na obodu na proces plastičnog deformisanja, a u okviru toga značaj promenljive sile držanja (PSD) kao normalne sile. Takođe, dati su rezultati eksperimentalnih istraživanja uticaja PSD na tok i rezultate procesa dubokog izvlačenja. Posmatra se izvlačenje cilindričnog komada i to u uslovima: a) primene konstantne sile držanja (KSD) definisane prema empirijskim preporukama, b) primene, posebnim postupkom optimizirane, vrednosti KSD i c) primene PSD. Materijal je niskouglenični čelični lim, a variraju se tri režima podmazivanja (suvo, ulje, ulje + PET folija). Prati se promena: dubina izvlačenja, deformacija u ravni lima, deformacija debljine lima, sila izvlačenja i sila držanja.

Na kraju se može zaključiti da i pored evidentnih ograničenja PSD može značajno poboljšati rezultate procesa dubokog izvlačenja tankih limova.

Ključne reči: tanki limovi, duboko izvlačenje, sila držanja, upravljanje procesom

CONTROL OF BLANK HOLDING FORCE IN DEEP DRAWING PROCESS- SIGNIFICANCE AND LIMITATIONS

Abstract: Control of the blank holding force (BHF) enables control of friction on the flange during deep drawing process and significantly influence on course and process results in that way. Presented in the paper are analysis of the influence degree of flange friction on plastic forming process and significance of variable blank holding force (VBF) like normal force as a part of that. Also given are the results of experimental researches of VBF influence on deep drawing process. Realized is cylindrical part deep drawing in conditions of: a) constant BHF application (literature recommendation), b) constant BHF application (optimized) and c) VBF application. Material is low carbon steel sheet and 3 regimes of friction are used (dry, oil and oil + PET foil). Monitored are: drawing depths, sheet surface deformations, thinning deformations, drawing forces and BHF forces.

¹ Doc. dr Srbslav Aleksandrović, Mašinski fakultet Kragujevac, (srba@kg.ac.yu)

² Prof. dr Milentije Stefanović, Mašinski fakultet Kragujevac, (stefan@kg.ac.yu)

³ Mr Tomislav Vujinović, Čajavec Mega, Banja Luka, (vujinovic@blic.net)

We can conclude, at the end, that there is possibility of important process improving by application of VBF beside evident limitations.

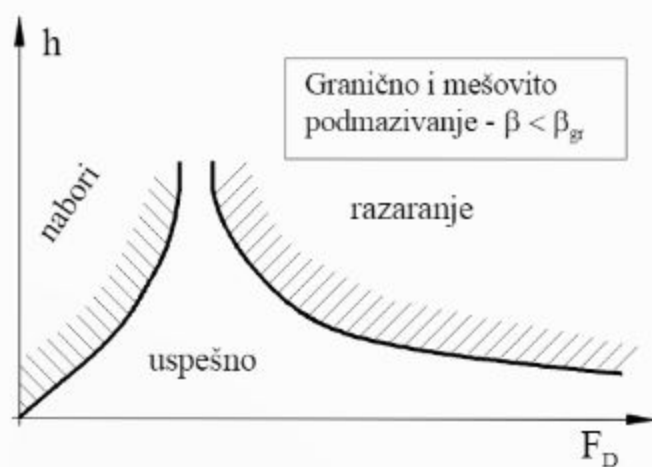
Keywords: thin sheets, deep drawing, blank holding force, process control

1. UVOD

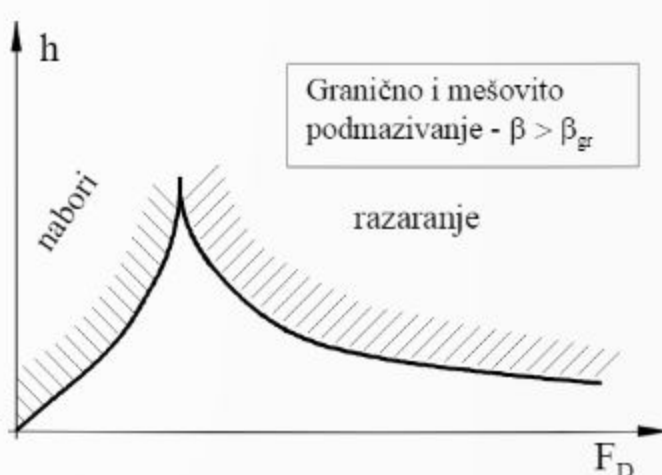
Duboko izvlačenje tankih limova predstavlja jednu od dominantnih tehnologija u savremenoj industriji. Najbolji dokaz za ovu tvrdnju su količine limova koje se troše i intenzitet razvoja ovih materijala tokom poslednje decenije. Trenutno stanje razvoja tehnologije dubokog izvlačenja („state of art“) karakterisano je naporima da se ostvari potpuno upravljanje procesom. Realizovani su brojni kompjuterski upravljački sistemi, često veoma velike složenosti. U svakom od njih upravljajuća dejstva izvode se samo na dva načina: preko trenja na obodu i preko upravljanja klizanjem lima na obodu. U prvom slučaju ključan parametar predstavlja sila držanja a u drugom visina utiskujućih zateznih rebara. To su jedina dva parametra kojima je moguće upravljati (menjati ih po željenim zakonima) tokom procesa deformisanja. Kvantifikovanje stepena njihovog uticaja na ceo proces je složen zadatak. Ovaj rad predstavlja doprinos u tom cilju kad je reč o sili držanja.

2. UTICAJ SILE DRŽANJA NA PROCES

Pogodno je posmatrati kako promena sile držanja utiče na promenu dubine izvlačenja kao ključnog tehnološkog pokazatelja (sl. 1 do sl. 4) i na promenu deformacione sile izvlačenja, drugog značajnog parametra procesa (sl. 5 i 6)[1].



Sl. 1 Zavisnost dubine od sile držanja (a)

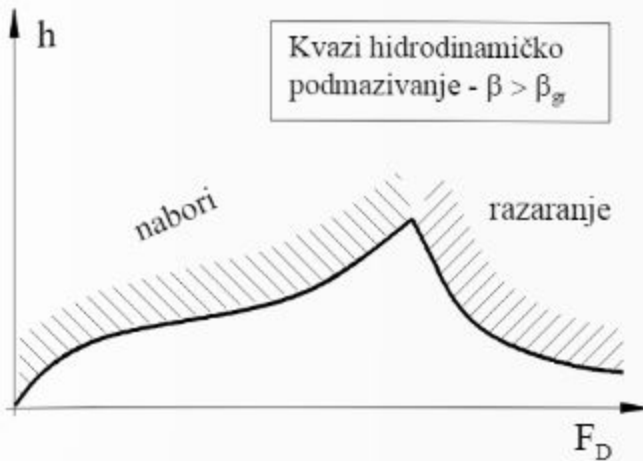


Sl. 2 Zavisnost dubine od sile držanja (b)

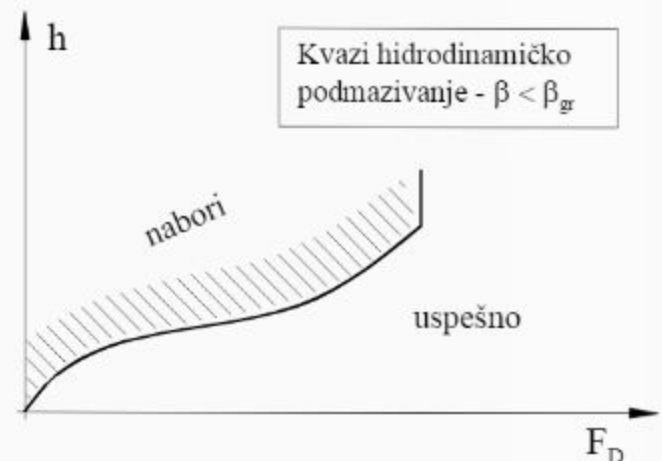
Sa sl. 1 do 4 vidi se da ima smisla govoriti o uticaju sile držanja samo uz obavezno navođenje tipa podmazivanja t.j. trenja i poznavanje graničnog stepena izvlačenja. Očigledno je da u svakom slučaju postoji optimalni opseg sile držanja (postizanje maksimalne dubine izvlačenja). Dobijanje ovakvih dijagrama eksperimentalnim putem je dugotrajan i skup posao. Kvalitetne kompjuterske simulacije mogu da predstavljaju pomoć u tom smislu.

Najjednostavnije kvantifikovanje uticaja sile držanja moguće je izvesti preko izračunavanja komponenti napona izvlačenja [1, 2]. Zbog nedostatka prostora postupak i formule su izostavljeni. Materijal je lim od Č0148P5 sa zateznom čvrstoćom

$R_M=298$ MPa, granicom tečenja $R_P=206$ MPa i krivom ojačanja $K=512\varphi^{0,212}$, MPa. Koeficijent trenja je $\mu=0,1$ (mešovito trenje, podmazivanje uljem). Geometrijski podaci su: prečnik komada $d=50$ mm ; visina $h=52,5$ mm ; debljina lima $s=0,8$ mm ; radijus dna $r=6,5$ mm ; radijus matrice $r_M=3,5$ mm ; prečnik razvijenog stanja $D_0=110$ mm.



Sl. 3 Zavisnost dubine od sile držanja (c)

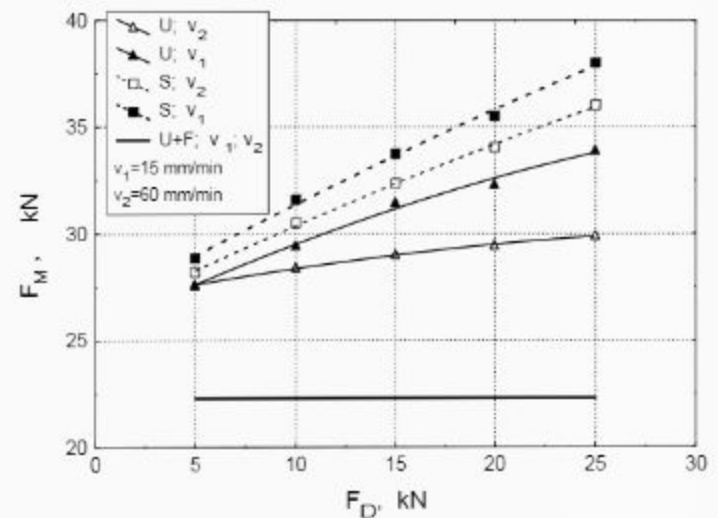


Sl. 4 Zavisnost dubine od sile držanja (d)

Tabela 1 daje vrednosti ukupnog max. napona izvlačenja (σ_{uiz}) i njegovih komponenti (σ_r -radijalni napon na obodu, σ_{trd} -napon usled trenja na držaču, σ_{trm} -napon usled trenja na radijusu matrice i σ_{savis} -napon usled savijanja i ispravljanja oko ivice matrice). Takođe, dati su procentualni iznosi svih komponenti u odnosu na ukupni napon. Sa 4,4 % napon usled trenja na držaču uzima najmanje učešće. Sila držanja ima intenzitet 13716 N određen prema preporukama i metodu datom u [1]. Najmanje procentualno učešće odgovara realnosti ali ono se menja promenom sile držanja i uslova trenja. To najbolje pokazuju eksperimentalni rezultati dati na sl. 5 [2] i sl. 6 [3].

Tabela 1

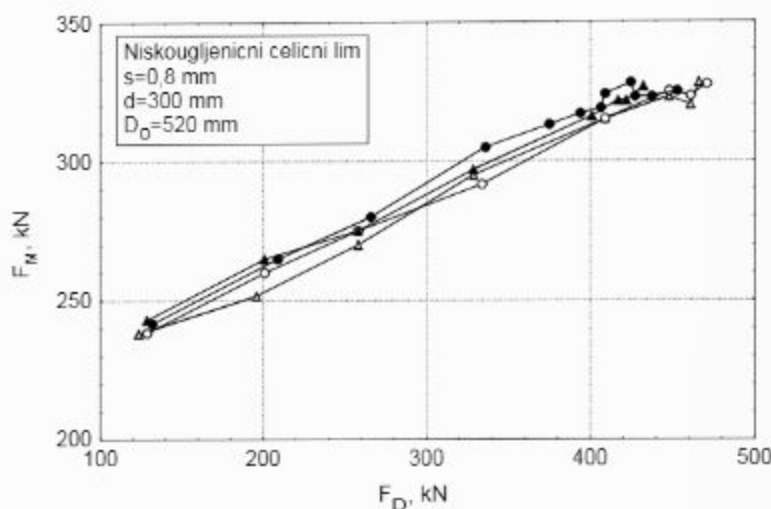
Naponi pri izvlačenju (MPa)		
σ_{uiz}	504	%
σ_R	382,8	75,9%
σ_{trd}	21,83	4,4%
σ_{trm}	68,8	13,7%
σ_{savis}	30,56	6,0%



Sl. 5 Zavisnost max. sile izvlačenja od sile držanja

Sa jačim trenjem (S-suve kontaktne površine, sl. 5), manjom brzinom deformisanja i većim intenzitetom sile držanja, uticaj na maksimalnu silu izvlačenja raste. Sl.5 se odnosi na lim od Č0148 i čisto duboko izvlačenje komada prečnika $d=50$

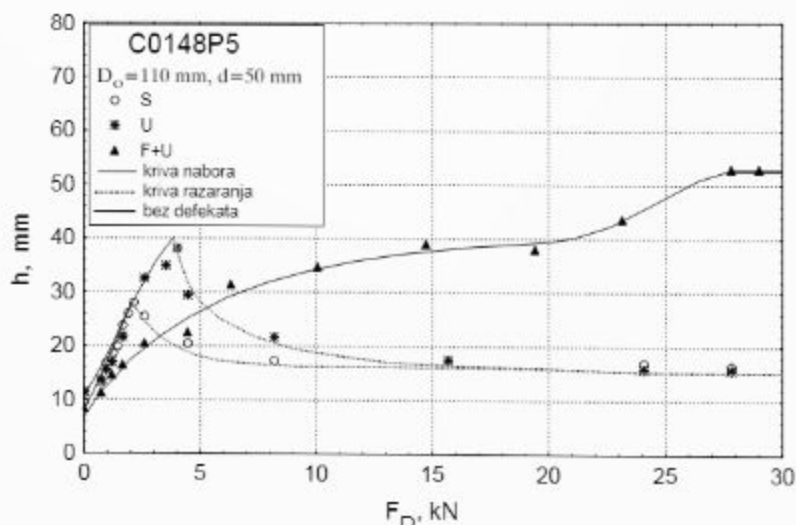
mm. U slučaju većih dimenzija komada (sl. 6) evidentan je uticaj intenziteta sile držanja, pri čemu je trenje mešovito (podmazivanje uljem).



Sl. 6 Zavisnost max. sile izvlačenja od sile držanja

3. EKSPERIMENTALNI REZULTATI

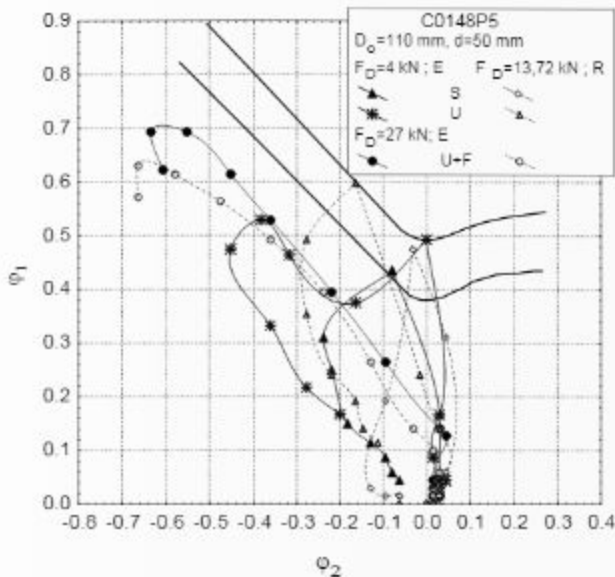
Na osnovu prethodno navedenog, jasno je da sila držanja ima znatan uticaj na proces deformisanja iako trenje na obodu ne utiče na ukupan napon izvlačenja u velikom iznosu. Problem je kako definisati silu držanja da bi se unapredili konačni rezultati procesa. Izvedeni eksperiment daje ilustraciju jednog mogućeg pristupa tom zadatku. Cilj je da se u prvom delu realizuje proces sa konstantnom silom držanja (KSD) određenom prema empirijskim preporukama, u drugom sa KSD ali optimiziranom posebnim postupkom i konačno promenljivom silom držanja (PSD) koja ima rastući karakter promene tokom procesa. Eksperiment je izveden na hidrauličnoj laboratorijskoj presi sa kompjuterskim merno-upravljačkim sistemom koji je detaljnije objašnjen u [1, 4, 5]. Njegova osnovna karakteristika je da omogućava ostvarenje željene zavisnosti PSD od hoda (ili vremena) bilo kog oblika, tokom trajanja procesa oblikovanja.



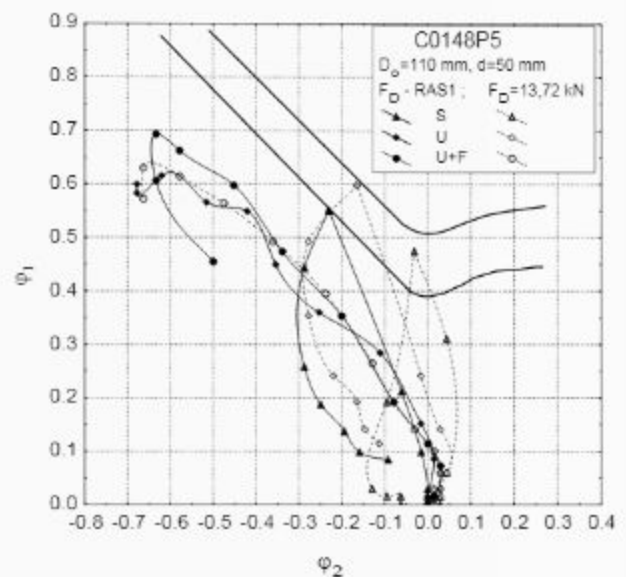
Sl. 7 Zavisnost dubine izvlačenja od sile držanja

Intenzitet KSD naveden je u poglavlju 2 kao i podaci o materijalu i geometriji komada. Optimizacija KSD je izvedena posebnim eksperimentalnim ispitivanjima (sl.7). Za tri kontaktna stanja (suvo-S, primena ulja-U i PET folije-U+F) određene su granične krive nabora i razaranja. Prema kriterijumu max. dubine izvlačenja lako se određuju odgovarajuće KSD. Na sl.8 date su distribucije glavnih deformacija u ravni lima za primenu obe varijante KSD (isprekidano, KSD prema preporukama-oznaka R, punom linijom, optimizirano-oznaka E). Varijanta E rezultira povoljnijim distribucijama, a to se vidi i u tabeli 2.

Što se PSD tiče primenjena je rastuća zavisnost čija se forma vidi na sl. 10 (isprekidano-analitički oblik, puna linija-eksperimentalno). Osnovni cilj takve zavisnosti

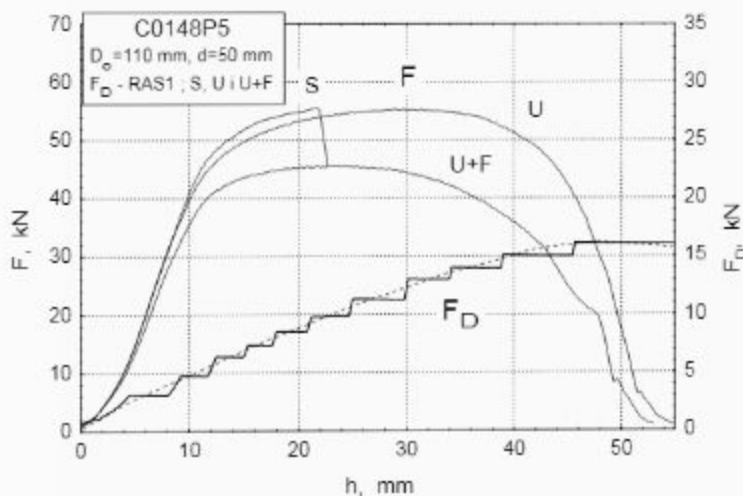


Sl. 8 Distribucije deformacija



Sl.9 Distribucije deformacija

je eliminacija nabora na obodu. Detalji su dati u [1]. Distribucije na sl. 9 pokazuju kvalitativno poboljšanje (u odnosu na primenu KSD), posebno u slučaju podmazivanja uljem (mešovito trenje) kada se dobija uspešan komad pune dubine.



Sl. 10 Zavisnosti sila izvlačenja i sila držanja od hoda

Za konačni pregled ostvarenih rezultata kao parametar je odabrana dubina izvlačenja kao jedan od najvažnijih tehnoloških pokazatelja. U tabeli 2 dat je pregled

ostvarenih dubina sa procentima povećanja u odnosu na primenu KSD definisane prema preporukama.

Tabela 2

Dubine izvlačenja (mm)					
$F_D=13,72$ kN		$F_D=4$ kN (U+F 27 kN)	% povećanja	PSD	% povećanja
S	13,7	17,3	26,3%	22,1	61,3%
U	22,6	31,4	38,9%	54,5	uspešno
U+F	52,5	52,5	uspešno	53,0	uspešno

4. ZAKLJUČAK

Napon usled trenja na držaču lima učestvuje u ukupnom naponu izvlačenja najčešće ispod 10%, međutim, sila držanja kao normalna sila za to trenje ima znatno veći uticaj na proces. S jedne strane preko sprečavanja pojave nabora na obodu, a sa druge preko uticaja na stanjenje lima u kritičnoj zoni. Veoma značajna osobina sile držanja je mogućnost njene promene tokom trajanja procesa. Iz prethodno datih rezultata se vidi da je primenom jednog tipa PSD moguće postići kvalitativno poboljšanje rezultata procesa. Konstantnim silama držanja dolazilo je do razaranja pri različitim dubinama, a primenom PSD dobija se uspešan komad pune dubine. Još uvek ostaje otvoreno pitanje koje su to zavisnosti PSD koje daju najbolje rezultate u različitim slučajevima oblikovanja, što usmerava na buduća istraživanja.

LITERATURA

- [1] S. Aleksandrović: Duboko izvlačenje tankih limova pri nemonotonom deformisanju sa promenljivim tribološkim uslovima, doktorska disertacija, Mašinski fakultet Kragujevac, 2000.
- [2] M. Stefanović: Tribologija dubokog izvlačenja, Jugoslovensko društvo za tribologiju i Mašinski fakultet, Kragujevac, 1994.
- [3] W. Emmens: Tribology of Flat Contacts and its Application in Deep Drawing, PhD-thesis, University Twente, Netherlands, 1997.
- [4] M. Stefanovic, S. Aleksandrovic: Influence of variable contact conditions in deep drawing, Second World Tribology Congress, Vienna, 2001. Abstracts of papers from WTC, pp. 381.
- [5] S. Aleksandrović, M. Stefanović: Duboko izvlačenje lima od aluminijumske legure AlMg4,5Mn pri nemonotonom deformisanju sa promenljivom silom držanja, DEMI 2001, Banja Luka, Zbornik str. 69–74.