

UTICAJ PROMENLJIVOG KONTAKTNOG PRITISKA NA DRŽAČU NA OBRADIVOST PREVUČENIH LIMOVA DUBOKIM IZVLAČENJEM

T. Vujinović, S. Aleksandrović, M. Stefanović¹⁾

REZIME

Kontaktни притисак на држаћу, односно сила држања, при дубоком извлачењу у триболошком смислу значајно утиче на резултате процеса. У раду се излаже експериментално истраживање утицаја променљивог притиска на држаћу у режиму растуће силе држања на дубоко извлачење цилиндричног комада од једнострано галвански pocinkovanог каросеријског lima. Ефекти се sagledavaju преко дијаграма сила извлачења, дистрибуције главних деформација, утицаја на граничну деформабилност, квалитативних показатеља на комаду итд. Променљиви притисак држаћа дефинише претходно одређена зависност растуће променљиве силе држања, која се затим задaje током процеса на апаратури са специјалним мerno-управљачким компјутерским uređјajem.

1. UVOD

У класичној реализацији процеса дубоког извлачења tankih limova сила држања (F_D) има константан интензитет током процеса. Она, као параметар процеса има следеће особине: представља значајан фактор тренја на ободу комада, постоји могућност промене интензитета током процеса, поред затезних ребара променљиве висине представља једини параметар који се може менјати током процеса [1].

Код дубоког извлачења цилиндричних и призматичних комада kvadratnog preseka два основна извора тренја су: зона држаћа и заobljenje ivice отвора матрице. Потпуном елиминацијом тренја на радијусу матрице сила извлачења би опала за око 20%, а елиминацијом тренја на држаћу и преко 50% [2]. Ови подаци јасно указују на размере утицаја силе држања на процес дубоког извлачења и њен значај.

Из тог разлога изводе се бројна истраживања (на пр. [3]) везана за област променљиве силе држања (PSD). Циљ је побољшати перформансе процеса утицајима на тренје на држаћу. То је најједноставније покушати преко силе држања и segmentно изведеног држаћа где се уводи могућност промене тренја зависно од позиције на ободу [3]. Отворено је питање: какав облик промене интензитета силе држања доводи до unapredjenja резултата одговарајућег процеса дубоког извлачења? Истраживања у свetskim centrima су, углавном, експериментална са често врло сложенim merno-управљачким системима.

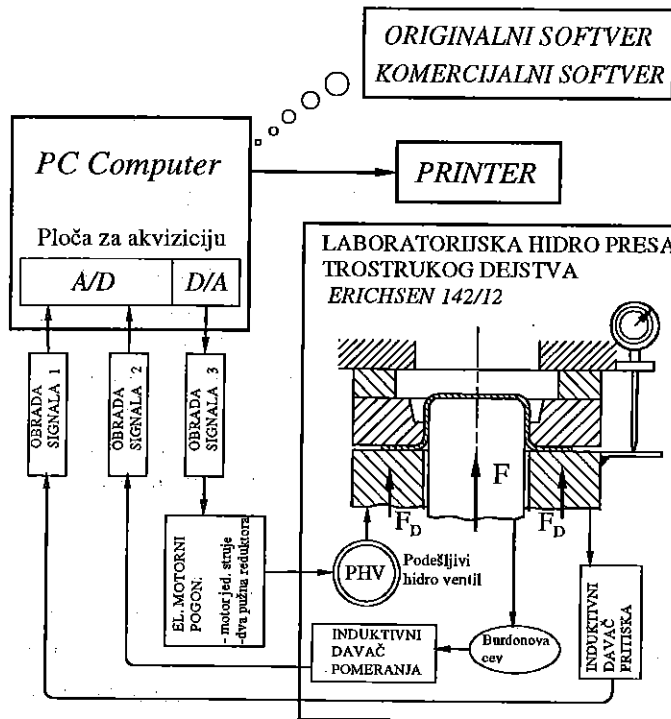
Приступ у овом раду заснован је на примени једног типа промене силе држања и анализи

¹⁾ Dr Milentije Stefanović, red. prof., Mašinski fakultet Kragujevac
Mr Srbislav Aleksandrović, asistent, Mašinski fakultet Kragujevac
Mr Tomislav Vujinović, dipl. ing., Rudi Čajavec Banja Luka

ostvarenih efekata. Reč je o rastućem karakteru zavisnosti PSD od hoda izvlačača, odnosno vremena.

Na Mašinskom fakultetu u Kragujevcu obavljaju se opsežna eksperimentalna istraživanja iz ove oblasti [4, 5]. Formirana je specijalna istraživačka aparatura (glava 2). Primenjuju se različiti materijali i kontaktna stanja, različite geometrije komada, varira se istorija deformisanja. Dobijeni rezultati ukazuju na značajne mogućnosti ovakvog pristupa, posebno u pogledu primene u tehnološkoj praksi gde se otvara prostor za uspešniju obradu novih (teže obradivih) materijala i složenijih geometrija komada.

2. EKSPERIMENTALNA ISTRAŽIVANJA



Sl. 1 Struktura eksperimentalne aparature

(dogradnje) u sistemu za ostvarivanje, merenje i upravljanje silom držanja. One se sastoje u sledećem: prvo, ugradnji elektromotornog pogona sa motorom jednosmerne struje i dva pužna reduktora na hidro ventil za regulaciju sile držanja, i drugo, ugradnji induktivnog davača za merenje sile držanja. Upravljanje elektromotornim pogonom je integrisano u merno-upravljački kompjuterski sistem (sl. 1). Upravljanje elektromotornim pogonom se vrši u zatvorenoj petlji (povratnom spregom) na osnovu zadate funkcionalne (ili druge) zavisnosti sile držanja i kontinualno merene ostvarene sile držanja. Centralni deo sistema za akviziciju čini PC računar sa ugradjenom 12-to bitnom AD/DA pločom. Na osnovu zadate i izmerene vrednosti intenziteta sile držanja određuje se vremenska zavisnost položaja osovinice ventila tokom procesa izvlačenja, a samim tim i promenljiva sila držanja. Uključivanjem i isključivanjem elektromotornog pogona u željenim trenucima preko posebno razvijene elektronske upravljačke jedinice dobija se promenljiva sila držanja do intenziteta, koji je programski definisan, a meri se direktno preko davača sile držanja. Zavisnost realno ostvarene PSD ima oblik stepenaste linije, sa odstupanjem od zadatog koje programski podešljivo. Softverski je omogućen izbor proizvoljnog tipa zavisnosti sile, bilo kao analitički zadatih funkcija, skupa diskretnih vrednosti ili kombinovano. Razvijeni softver opslužuje i ostale potrebe eksperimenta (merenje sile izvlačenja, vizuelno praćenje procesa, memorisanje svih potrebnih veličina itd.). Merni sistem omogućava i mehaničko merenje visine nabora na obodu sa tačnošću očitavanja 0,01 mm. Zbog veoma ograničenog prostora nije moguće dati

Eksperimenti, čiji je deo rezultata prikazan u ovom radu, izvode se na pomenutoj laboratorijskoj aparaturi čija su dve osnovne celine: hidraulična presa za ispitivanje limova ERICHSEN 142/12 i merno-upravljački kompjuterski sistem (sl. 1). Presa je trostrukog dejstva sa maksimalnim mernim opsegom sile glavnog dejstva 0-130 kN, sile držanja 0-32 kN i brzine deformisanja 0-200 mm/min. Maksimalni prečnik izvlačača je 50 mm, a maksimalni stepen izvlačenja 2,4. U originalnoj verziji mašina je opremljena induktivnim davačima sile i hoda za glavno dejstvo, uz manometre sa Burdonovim cevima za sva radna dejstva. Kontinualnu regulaciju sile držanja moguće je vršiti ručno pomoću podešljivog hidro ventila. Za potrebe ovog istraživanja izvršene su izmene

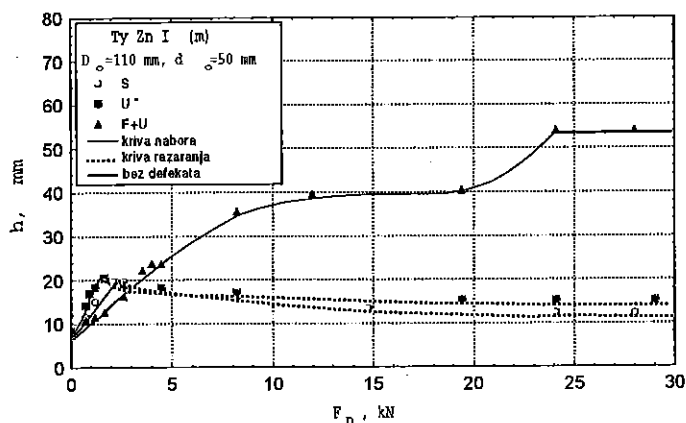
više detalja o ovom sistemu, koji se mogu naći u [5].

Analitička zavisnost sile držanja od hoda (rastućeg karaktera) definisana je u skladu sa istraživanjima publikovanim u radu [6]. Realizovane su serije merenja sa različitim materijalima i geometrijama u cilju dobijanja graničnih krivih nabora. Te krive predstavljaju, u suštini, zavisnosti minimalne sile držanja za sprečavanje nabora, od hoda. Analitičkom aproksimacijom definisana je rastuća funkcija koja aproksimira granične krive nabora u obliku formule:

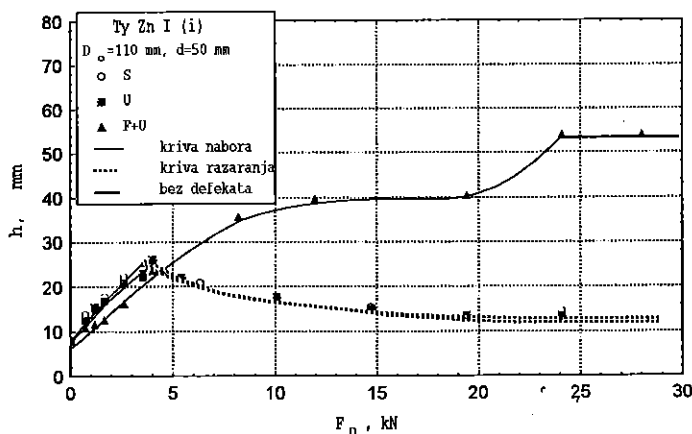
$$F_D = 1,175 \cdot F_{D_{\max}} \cdot \sin\left(\frac{\pi h}{2 h_{\max}}\right)$$

$F_{D_{\max}}$ je maksimalna konstantna sila držanja određena na osnovu empirijskih preporuka. h_{\max} je maksimalna dubina izvlačenja, a h trenutna vrednost dubine. Za potrebe eksperimenta umesto dubine uvedeno je vreme (t) sa pretpostavkom o linearnoj vezi dubine i vremena.

Konačno je izraz za silu držanja:

$$F_D = 1,175 \cdot F_{D_{\max}} \cdot \sin\left(\frac{\pi t}{2 T_{\max}}\right)$$


Sl. 2 Granični dijagram nabora i razaranja (prevlaka ka matrici)



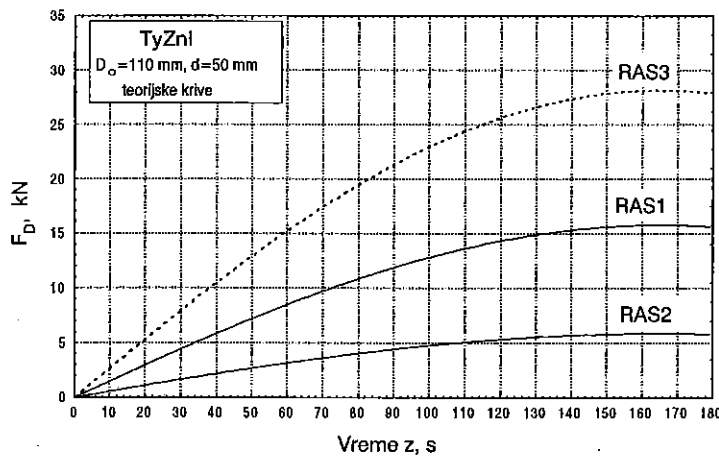
Sl. 3 Granični dijagram nabora i razaranja (prevlaka ka izvlačaču)

Maksimalno vreme trajanja procesa (T_{\max}) određuje se prethodnom probom, a do $F_{D_{\max}}$ se može doći na dva načina. Prvi način je da se konstantna sila držanja (KSD) usvoji na osnovu literaturnih preporuka, što je često jedina mogućnost. Potpuna univerzalnost takvog pristupa je diskutabilna. Ispravniji pristup odrazumeva formiranje graničnih dijagrama nabora i razaranja ($h-F_D$) za svaki konkretan slučaj obrade. Na taj način se identifikuje oblast nabora i razaranja i ispravnije bira KSD.

U planu eksperimenta predviđena je primena čistog dubokog izvlačenja (cilindrični komad sa ravnim dnom) u uslovima, s jedne strane, konstantne sile držanja i s druge, u uslovima PSD. Uticaj kontaktnih uslova obuhvaćen je primenom: suvih kontaktnih površina odmašćenih acetonom (oznaka S), ulja za duboko izvlačenje domaćeg proizvođača (U) i kombinacijom ulja i polietilenske folije (U+F). Osnovna geometrija je definisana: prečnikom izvlačača ($d=50$ mm), radijusom dna (6,5 mm) i radijusom matrice 3,5 mm. Step en izvlačenja je odabran blizu graničnog. Pri takvom stepenu sa uljem i folijom proces se uspešno odvija do kraja, a primenom ulja ili suvog trenja to nije moguće. Za ovaj primer to je

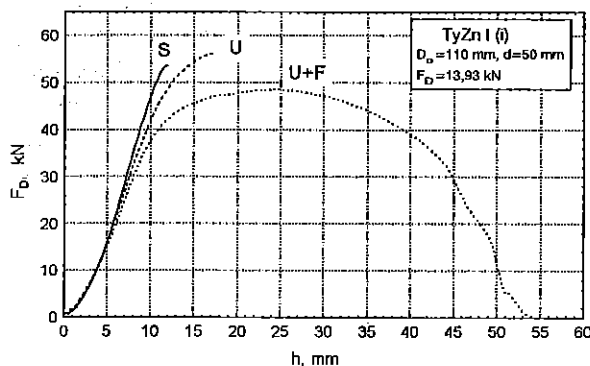
stepen 2,2 (prečnik razvijenog stanja 110 mm). Brzina deformisanja je konstantna (20 mm/min).

KSD na osnovu literaturnih podataka je usvojena kao odgovarajuća srednja vrednost devet

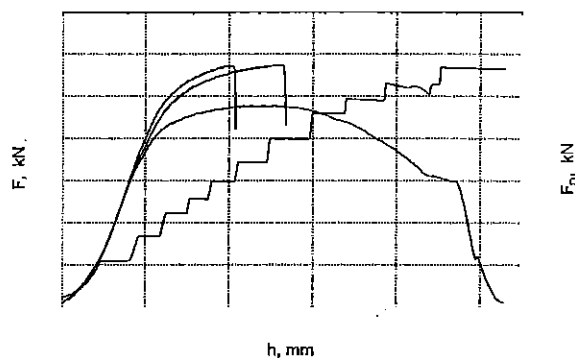


Sl. 4 Empirijsko-analitičke zavisnosti rastuće PSD

intenzivnog skidanja i lepljenja na površine alata. Naslaga je takva da se mora skidati posle samo jednog uradjenog komada. Maksimalne dubine izvlačenja su zbog toga manje (sl. 2). Ako se prevlaka okrene prema izvlaču intenzitet formiranja naslaga na alatu se višestruko smanjuje, uslovi trenja se poboljšavaju i dobija veća dubina (sl. 3). U daljem toku eksperimenta korišćen je samo drugi položaj prevlake.



Sl. 5 Sile izvlačenja pri konstantnoj sili držanja



Sl. 6 Sile izvlačenja i držanja i rastuća PSD

Usvojene su sledeće vrednosti KSD na osnovu sl. 3 : za suvo i mešovito trenje $F_D=5$ kN, a za primenu ulja i folije $F_D=24$ kN. Zapaža se da su usvojene nešto veće vrednosti u odnosu na maksimume krivih (S i U). Razlog je sigurno izbegavanje zone nabora, jer u zoni pikova krivih postoji težnja ka preklapanju pojava nabiranja i razaranja.

Na osnovu sve tri odredjene vrednosti KSD definisane su funkcije rastuće PSD (sl. 4). Zbog ograničenog prostora biće dati rezultati samo za rastuću zavisnost RAS1 definisanu na osnovu KSD $F_D=19,93$ kN. Analitički oblik rastuće funkcije PSD dat je u sledećem izrazu:

$$F_D=16116,2 \sin(0,5456 t), \text{ N}$$

Argument sinusne funkcije u prethodnom izrazu je u stepenima, a vreme t u sekundama.

Funkcija PSD primenjena je na sva tri kontaktna stanja (suvo, ulje i primena ulja i folije). Stvarni oblik ostvarene rastuće PSD vidi se na sl. 6.

preporuka [5] i taj intenzitet iznosi $F_D=13928,5$ N. Slike 2 i 3 daju granične dijagrame $h-F_D$ za oba položaja prevlake i sva tri kontaktna stanja. Kriterijum za detektovanje nabora je visina 0,1 mm. U oblasti prelaska iz zone nabora u zonu razaranja kriterijum je rigorozniji (0,05 mm) zbog težnje ka istovremenoj pojavi oba defekta. Položaj prevlake od galvanski nanetog cinka bitno utiče na proces u slučaju suvog i mešovito trenja (S i U). U slučaju kad je prevlaka okrenuta prema matrici dolazi do njenog

2.1 Rezultati eksperimenta

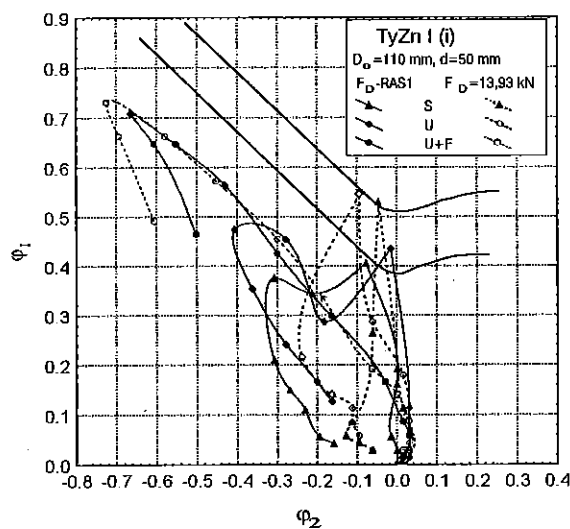
Efekti promene rastuće PSD prate se komparativno sa primenom KSD preko sledećih pokazatelja:

- kvalitativne karakteristike komada (dubina izvlačenja, pojava nabora, pojava razaranja itd.),
- distribucija deformacija u koordinatnom sistemu glavnih deformacija u ravni lima (φ_1 - φ_2) i njihov odnos prema krivama granične deformabilnosti,
- distribucije deformacije stanjenja zavisno od lokacije na komadu,
- dijagrama zavisnosti sila izvlačenja i sila držanja od hoda izvlačkača odnosno vremena.

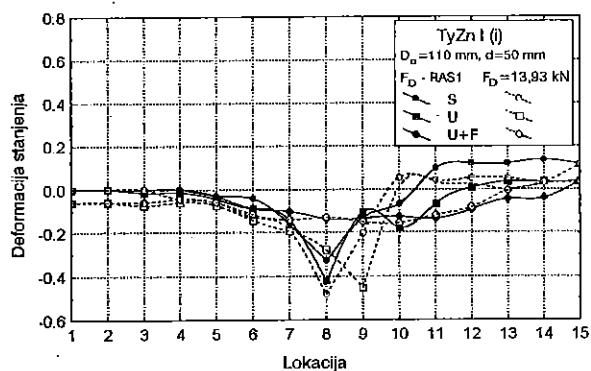
Učinak rastuće PSD tipa RAS1 (sl. 5 i sl. 6) na porast dubine izvlačenja je značajan. U odnosu na KSD, pri suvim površinama dubina je veća za 56,5% ; pri podmazivanju uljem povećanje iznosi 54%. čak i u slučaju primene ulja i folije proces je moguće dovesti do kraja, iako se pri dubini od 43 mm pojavljuju srednji nabori, koji se peglaju pri prolasku kroz otvor matrice. U uslovima primene ulja i folije trenje je svedeno na najmanju meru tako da uslovi odgovaraju hidrodinamičkom podmazivanju. Težnja ka pojavi nabora je veoma izražena, a razaranje skoro uvek izbegnuto. Potrebno je obezbediti dovoljan intenzitet sile držanja za sprečavanje nabora.

Na sl. 7 date su distribucije glavnih deformacija u ravni lima sa krivama granične deformabilnosti. Gornja kriva odgovara razaranju, a donja početku lokalizovanog deformisanja. Na sl. 8 prikazane su distribucije deformacije stanjenja. U oba slučaja komparativno su prikazane distribucije za KSD i PSD.

Distribucije deformacija na slikama 7 i 8 dopunjuju konstatacije iznesene u vezi povećanja dubina izvlačenja primenom rastuće zavisnosti PSD. U uslovima suvih površina i primene



Sl. 7 Glavne deformacije u ravni pri KSD i rastućoj PSD



Sl. 8 Deformacije stanjenja pri KSD i rastućoj PSD

ulja petlje distribucija na sl. 7 su ravnomernije, pomerene u levu stranu prema bezbednijoj oblasti sa aspekta granične deformabilnosti. U skladu s tim je izgled dijagrama distribucije stanjenja (sl. 8). Jačem trenju odgovara ravnomernije i, na mestu maksimuma, manje stanjenje. Pri veoma malom trenju (ulje i folija) jasno se vide očekivani efekti: praktično nema bitnijih promena u distribucijama bez obzira na korišćenu silu držanja (KSD ili PSD).

ZAKLJUČAK

Promenljiva sila držanja pri dubokom izvlačenju može da dovede do značajnih poboljšanja rezultata procesa. U ovom radu dat je primer primene rastuće zavisnosti sile držanja od hoda.

Pri pojačanom trenju rastuća sila držanja rezultira većom dubinom izvlačenja i povoljnijim distribucijama glavnih deformacija. Uporedjenja su vršena sa rezultatima primene konstantne sile držanja određene na osnovu uobičajenih literaturnih preporuka. Naročite mogućnosti promenljiva sila držanja stvara ako se koriste teže obradivi materijali ili složenije geometrije. Kod primenjenog lima sa galvanskom prevlakom, daleko manje formiranje naslaga na alatu registrovano je ako se strana sa prevlakom okrene prema izvlakaču.

LITERATURA

- [1] Wagner S.: Tribology in drawing car body parts, 11th International colloquium, Technische Academie Esslingen, Proc., Vol. III, pp. 2365-2372, 1998.
- [2] Emmens W.: Tribology of Flat Contacts and its Application in Deep Drawing, PhD-thesis, University Twente, Netherlands, 1997.
- [3] Siegert K. et al.: Closed-loop control system for blank holder forces in deep drawing, Annals of CIRP Vol. 44/1/1995., pp. 251-254.
- [4] Aleksandrović S., Stefanović M., Taranović D.: Variable contact conditions influence on formability of thin sheet metals by deep drawing, Journal for Techn. of Plasticity, Vol. 23, 1-2, pp. 31-41, Novi Sad, 1998.
- [5] Aleksandrović S.: Duboko izvlačenje tankih limova pri nemonotonom deformisanju sa promenljivim tribološkim uslovima, Doktorska disertacija, Mašinski fakultet Kragujevac, 2000.
- [6] Катков Н. П., Решетов В. Ф.: Определение оптимальных условий прижима фланца заготовки, Кузнечно-штамповочное производство, № 9, ст. 16-18, Москва, 1971.

INFLUENCE OF VARIABLE CONTACT PRESSURE (ON HOLDER) ON COATED SHEET METALS FORMABILITY BY DEEP DRAWING

ABSTRACT

Contact pressure on blank holder, that is blank holding force in deep drawing in tribological sense significantly influences the process results. The paper gives experimental research of variable pressure on blank holder influence in regime of increasing holding force on deep drawing of a cylindrical piece out of one-side zinc galvanized carbody sheet metal. The effects are observed through drawing forces diagrams, main strain distributions, influence on limit formability, qualitative indicators etc. Variable holder pressure is defined by previously determined dependence of variable blank-holding force, which is then given during the process on special measure-control device.