

4. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE
O POSTIGNUĆIMA ELEKTRO
I MAŠINSKE INDUSTRIJE

BANJA LUKA
DEMI
2001
25/26 APRIL

4th INTERNATIONAL CONFERENCE
ON ACCOMPLISHMENTS
OF ELECTRICAL AND
MECHANICAL INDUSTRIES

**DUBOKO IZVLAČENJE LIMA OD ALUMINIJUMSKE LEGURE
AlMg_{1,5}Mn PRI NEMONOTONOM DEFORMISANJU SA
PROMENLJIVOM SILOM DRŽANJA**

Srbislav Aleksandrović
Milentije Stefanović¹⁾

REZIME: U radu se daje deo rezultata eksperimentalnih istraživanja izvedenih na specijalnom uređaju sa kompjuterskim upravljanjem silom držanja. Korišćena je cilindrična geometrija komada i dve vrste procesa plastičnog deformisanja: jednofazni (monotoni) i dvofazni sa razvlačenjem (dvoosnim zatezanjem) u prvoj fazi. Tribološki uslovi diktirani su (pored promenljive sile držanja) sledećim kontaktnim uslovima: suve površine, podmazivanje uljem i primenom polietilenske folije sa uljem. Sa ciljem poboljšanja performansi procesa primenjena je tzv. kombinovana (opadajuće-rastuća) zavisnost sile držanja.

Ponašanje komada i parametri procesa praćeni su preko: graničnih dijagrama nabora i razaranja, sila držanja i izvlačenja, distribucija glavnih deformacija u ravni lima, odgovarajućih procena s obzirom na graničnu deformabilnost, distribucija deformacije stanjenja i kvalitativnih ocena izvučenog komada (dubina izvlačenja, pojava nabora, pojava razaranja).

Cilj rada je bio proceniti da li promenljiva sila držanja u sklopu sa ostalim uticajima na proces može da doprinese poboljšanju stabilnosti i ukupnih rezultata procesa dubokog izvlačenja limova od Al legura.

**DEEP DRAWING OF ALUMINIUM ALLOY AlMg_{1,5}Mn THIN SHEET IN
NONMONOTONOUS FORMING WITH VARIABLE BLANK HOLDER FORCE**

ABSTRACT: The paper gives a part of experimental results obtained on a special laboratory computer device, which make possible both control of variable holding force and measurement of significant parameters. Used are cylindrical part geometry and two types of plastic forming process: single phased (monotonous) and two phased (nonmonotonous) with stretching in first phase. Tribologic conditions (besides variable holding force) defined are in three ways: dry surfaces, oil application, oil and foil application. Used variable holding force is so called combined due to its decrease increase character. Improve deep drawing process performances to its aim. Process parameters are observed through: wrinkle/fracture limit diagrams, both holding and drawing forces, main sheet plain strain distributions, thinning strain distributions, drawing depth, appropriate estimates according to limit formability etc.

¹⁾ Dr Srbislav Aleksandrović, dipl. ing., Mašinski fakultet Kragujevac, srba@knez.uis.kg.ac.yu
Dr Milentije Stefanović, red. prof., Mašinski fakultet Kragujevac, stefan@knez.uis.kg.ac.yu

1. UVOD

Kod dubokog izvlačenja tankih limova izvor neželjenog trenja lociran je na dve zone: držač lima i radijus ivice matrice. Eliminacijom trenja na radijusu matrice sila izvlačenja može da opadne 20%, a eliminacijom trenja na držaču i do 50% [1]. Trenje na čelu i radijusu vrha izvlačkača povoljno utiče na proces i ne treba ga smanjivati [2]. Prethodni podaci govore o značaju trenja u procesu dubokog izvlačenja i čine osnovu za istraživanja čiji je cilj tehnološko unapređenje procesa preko uticaja na trenje (prvenstveno na držaču). Taj uticaj je moguće izvesti na nekoliko načina: menjanjem sile držanja, korišćenjem zateznih rebara i segmentnim izvođenjem držača. Savremena merno-upravljačka kompjuterska oprema omogućava simultanu promenu (tokom odvijanja procesa) sile držanja ili pomeranja zateznih rebara u skladu sa zadatom zavisnošću ili shodno upravljačkom kriterijumu (tzv. closed loop sistemi) koji može da bude na pr. uslov približno konstantne sile izvlačenja, minimalna visina nabora na obodu, konstantna sila trenja na obodu itd. [3, 4].

Predmet istraživanja je, ako govorimo o sili držanja, nalaženje najpovoljnije zavisnosti ove sile od hoda, odnosno postavljanje takvog kriterijuma upravljanja koji dovodi do poboljšanja performansi procesa u odnosu na uobičajenu primenu konstantne sile držanja.

U ovom radu tretira se uticaj promenljive sile držanja na parametre procesa i komada uzimajući u obzir složenu istoriju deformisanja (jedan tip dvofaznog postupka) i promenljive kontaktne uslove.

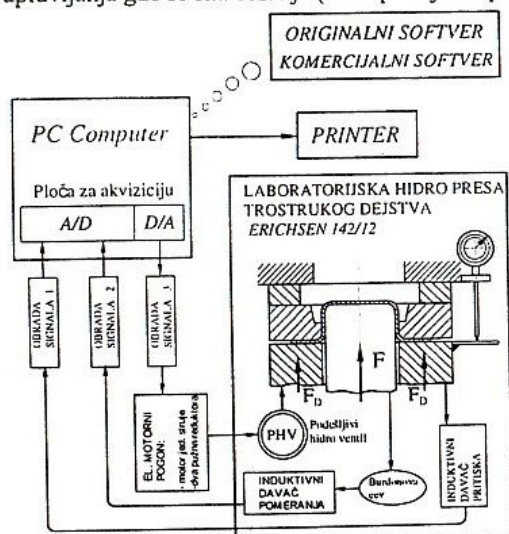
2. EKSPERIMENTALNA ISTRAŽIVANJA

Ekperimenti, čiji je deo rezultata prikazan u ovom radu, izvedeni su na specijalnoj laboratorijskoj aparaturi na Mašinskom fakultetu u Kragujevcu. Njena glavna osobina je mogućnost ostvarivanja promenljive zavisnosti sile držanja od hoda izvlačkača (odnosno vremena) pri čemu je tip zavisnosti proizvoljan (od analitički definisanih funkcija do skupa diskretnih vrednosti). U narednim istraživanjima koristiće se i mogućnost closed loop upravljanja gde se sila držanja (kao upravljački parametar) automatski menja prema kriterijumu

približno konstantne sile izvlačenja (kao upravljane veličine).

Osnovna platforma sistema je hidraulična laboratorijska presa za ispitivanje limova ERICHSEN 142/12. Presa ima tri dejstva. Maksimalni merni opseg sile glavnog dejstva je 0-130 kN, a dejstva držača 0-32 kN. Brzina deformisanja je 0-200 mm/min. Maksimalni prečnik izvlačkača je 50 mm, a maksimalni stepen izvlačenja 2,4.

Mašina je dograđena komponentama merno-upravljačkog sistema, tako da je u konačnoj varijanti moguće kontinualno merenje zavisnosti sile izvlačenja i sile držanja od hoda (odnosno vremena), kontinualno upravljanje silom držanja i mehaničko merenje visine nabora na obodu. Merni deo sistema snabdeven je odgovarajućim davačima i elektronskim sklopovima za pojačanje i filtriranje signala



Sl. 1 Struktura eksperimentalne aparature

Duboko izvlačenje lima od aluminijumske legure AlMg4,5Mn pri nemonotonom deformisanju sa promenljivom silom držanja

(sl. 1). Upravljački deo sadrži specijalni elektromotorni pogon podešljivog hidro-ventila za promenu sile držanja, sa elektronskom upravljačkom jedinicom. Merni i upravljački signali prihvataju se, odnosno generišu, u 12-to bitnoj AD/DA ploči direktno vezanoj za matičnu ploču PC računara. Objedinjavanje i realizaciju rada svih delova sistema omogućava razvijeni softver.

Od interesa za ovo istraživanje je dobijanje prethodno definisane funkcionalne zavisnosti sile držanja opadajuće-rastućeg karaktera. Efektivno se dobija stepenasta zavisnost koja sa zadatim odstupanjem prati analitički zadatu krivu (sl. 5 i sl. 7). Više detalja o ovom sistemu za akviziciju dato je u [5].

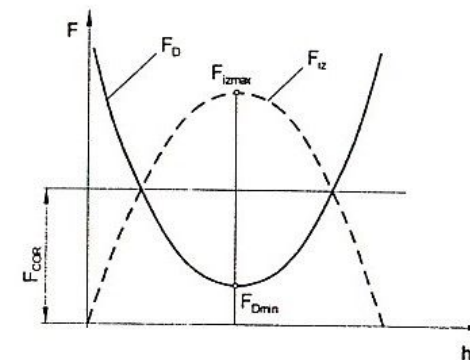
Primenjena funkcionalna zavisnost sile držanja od hoda nazvana je kombinovana zbog svog opadajuće-rastućeg karaktera (sl. 2). Formirana je sa sledećim ciljevima:

a) u prvoj fazi procesa dovoljno velikim intenzitetom sprečiti nabore,

b) tokom trajanja procesa postići, u izvesnom smislu, rasterećenje komada smanjivanjem sile držanja,

c) u završnoj fazi povećanjem sile držanja kompenzovati težnju ka pojavi nabora i povećanju debljine lima.

Osnovni princip definisanja analitičke zavisnosti sile držanja (sl. 2) zasniva se na preslikavanju funkcije sile izvlačenja (koju je relativno lako dobiti) preko povoljno odabrane horizontale određene vrednošću F_{COR} . Maksimum i minimum krivih treba da budu na istoj ordinati (pri eksperimentalnoj sili izvlačenja), a intenzitet F_{Dmin} se definiše preko graničnog dijagrama nabora i razaranja



Sl. 2 Princip definisanja kombinovane sile držanja

kao minimalna sila za sprečavanje nabora. Bez ulaska u detalje [5 i 6] daće se samo gotovi izrazi za funkcionalnu zavisnost kombinovane sile držanja od vremena. Za monotono deformisanje izraz za silu držanja je:

$$F_D = 38000 - (95380 \cdot \ln \frac{\sqrt{1,25 - \rho^2}}{0,5\rho} \ln \frac{\rho}{0,5} + 5834), \text{ N ; } \rho = 0,916 - \frac{t}{238} \quad (1)$$

Za nemonotoni postupak važi:

$$F_D = 37300 - (95380 \cdot \ln \frac{\sqrt{1,25 - \rho^2}}{0,5\rho} \ln \frac{\rho}{0,5} + 5834), \text{ N ; } \rho = 0,852 - \frac{t}{238} \quad (2)$$

Veličina ρ je tzv. relativno smanjenje oboda i dovedeno je u direktnu vezu sa vremenom t , s.

Ekperiment je izveden u uslovima, s jedne strane, monotonog jednofaznog postupka (čisto duboko izvlačenje), a s druge, dvofaznog, pri čemu je u prvoj fazi razvlačenje (dvoosno, odnosno svestrano ravnomerno zatezanje) sa stepenom deformisanja od 16%. I za jedan i drugi postupak primenjena je konstantna sila držanja definisana kao srednja vrednost empirijskih preporuka [5, 6]. Njen intenzitet je 6140,4 N.

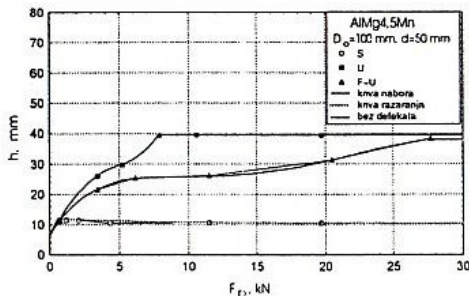
Korišćeni materijal je legura AlMg4,5Mn iz tzv. serije 5000 (domaće proizvodnje). Ne zahteva bilo kakav termički tretman pre i posle oblikovanja, ali je relativno slabije obradiva dubokim izvlačenjem. Zbog nedostatka prostora biće date samo osnovne mehaničke

karakteristike, "r" i "n" faktor. Potpuni pregled karakteristika dat je u [5]. Zatezna čvrstoća $R_M=271,2$ MPa; granica tečenja $R_P=148,2$ MPa; $R_P/R_M=0,545$; izduženje $A_{80}=20,9\%$; $n=0,26$; $r=0,715$. Zapaža se izrazito niska vrednost r faktora koja dobro ilustruje slabu obradivost Al legura dubokim izvlačenjem.

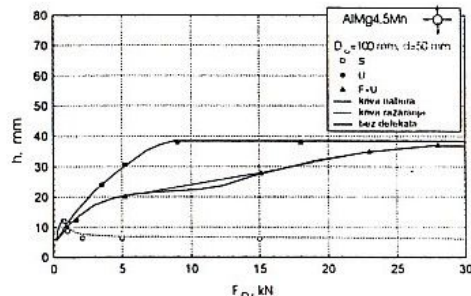
Što se kontaktnih uslova tiče, najveći deo eksperimenta izveden je pri suvim kontaktnim površinama. Uslovi obrade su tada najteži, ali je poznato da je i uticaj sile držanja pri većem trenju izrazitiji. Pri smanjenom trenju (primena ulja ili folije i ulja) korišćena geometrija komada omogućava uspešno oblikovanje (sl. 3 i sl. 4). Praktično, suvim kontaktnim površinama i dvofaznim nemonotonom postupkom stvoreni su veoma nepovoljni uslovi za oblikovanje komada koji se relativno lako dobija pri smanjenom trenju i monotonom deformisanju. U tako stvorenim okolnostima učinjen je pokušaj delovanja promenljivom silom držanja u smeru poboljšanja performansi procesa i radnog komada.

2.1 REZULTATI EKSPERIMENTA

Na sl. 3 i sl. 4 dati su granični dijagrami nabora i razaranja koji daju zavisnost dubine izvlačenja od sile držanja u graničnim uslovima pojave nabora ili razaranja. Zapaža se da je do uspešnog komada relativno lako doći pri smanjenom trenju (ulje ili ulje i folija) (oznaka U i F+U), ali da proces veoma nepovoljno ide pri jakom trenju (suve površine) (oznaka S). Dominira polje razaranja pri čemu su dubine izvlačenja veoma male, naročito pri nemonotonom postupku (oznaka sa unakrsnim strelicama ili slovni znak Z2). Oblast nabora je vrlo uska i postoji pri veoma malim vrednostima sile držanja.



Sl. 3 Granični dijagram nabora i razaranja pri monotonom postupku



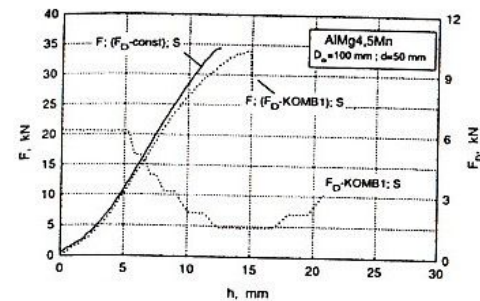
Sl. 4 Granični dijagram nabora i razaranja pri nemonotonom postupku

Uporedni prikaz sile izvlačenja i sile držanja za monotonu deformisanje dat je na sl. 5. Pri kombinovanoj sili držanja po zavisnosti (1) (oznaka KOMB1) dubina izvlačenja poraste za 21,2% u odnosu na primenu konstantne vrednosti. Treba napomenuti da su leva i desna grana zavisnosti KOMB1 (iako desna nije vidljiva na sl. 5) limitirane upravo intenzitetom konstantne F_D .

Petlje distribucija glavnih ravnih deformacija pokazuju vidljivu promenu odnosa prema krivama granične deformabilnosti u smislu povoljnijeg odvijanja procesa (sl. 6). Pri sili držanja KOMB1 lokalni maksimum je znatno manji i leži na krivoj lokalizacije.

U uslovima dvofaznog nemonotonom postupka sila držanja po zavisnosti (2) (KOMB2) daje još povoljnije rezultate. Kao što je sa sl. 7 vidljivo dobijena je puna dubina komada. Distribucije glavnih deformacija u ravni lima (sl. 8) služe kao ilustracija značajnog poboljšanja rezultata procesa gde se od lokalizovanog deformisanja sa brзом pojavom razaranja dobija

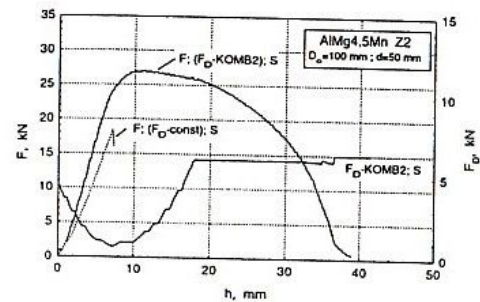
Duboko izvlačenje lima od aluminijumske legure AlMg4,5Mn pri nemonotonom deformisanju sa promenljivom silom držanja



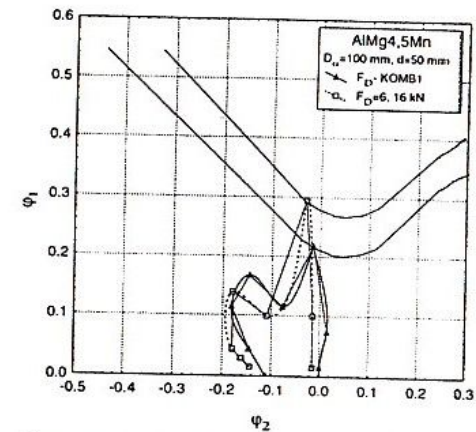
Sl. 5 Sile izvlačenja i držanja pri monotonom procesu deformisanja

široka petlja distribucije uspešnog komada.

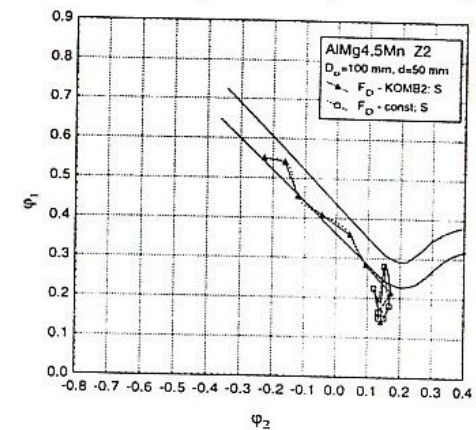
Slično se, donekle, zapaža i na distribucijama deformacije debljine (sl.9) mada je ponašanje limova od aluminijumskih legura takvo da često lokalna izdržljivost varira, odnosno veća



Sl. 7 Sile izvlačenja i držanja pri nemonotonom procesu oblikovanja

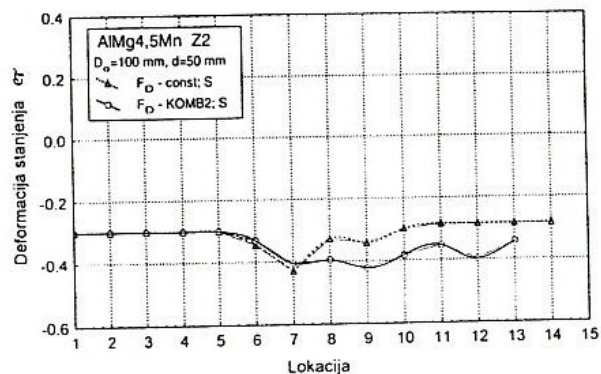


Sl. 6 Distribucije deformacija u ravni lima pri monotonom procesu deformisanja



Sl. 8 Distribucije deformacija u ravni lima pri nemonotonom deformisanju

deformacija stanjenja ne mora uvek da znači i kritičnije deformisanje sa aspekta razaranja. Drugim rečima, kod aluminijumskih limova pojedine zone mogu da izdrže veće deformacije od onih pri kojima je u drugoj zoni došlo do loma.



Sl. 9 Distribucije deformacije debljine lima pri nemonotonom deformisanju

3. ZAKLJUČAK

Plastično blikovanje limova od aluminijumskih legura je znatno teže u odnosu na čelične. Istraživanja čiji je mali deo izložen u ovom radu pokazuju da se uticajima na trenje na obodu komada koji se dobija čistim dubokim izvlačenjem (preko promenljive sile držanja tokom procesa), mogu poboljšati performanse procesa i komada. Primenjena je tzv. kombinovana (opadajuće rastuća) zavisnost. Prethodno je definisana analitičkoempirijskom procedurom, a zatim realizovana na specijalnom kompjuterskom laboratorijskom uređaju. Zapažena su konkretna poboljšanja, s obzirom na dubinu komada i distribucije deformacija u poređenju sa korišćenjem konstantne sile držanja određene po uobičajenim empirijskim preporukama.

U narednim istraživanjima činiće se pokušaji sagledavanja uticaja promenljive sile držanja u uslovima deformisanja sa nešto većim stepenima izvlačenja i manjim trenjem.

4. LITERATURA

- /1/ Emmens W.: Tribology of Flat Contacts and its Application in Deep Drawing, PhD Thesis, University Twente, Netherlands, 1997.
- /2/ Stefanović M.: Tribologija dubokog izvlačenja, monografija, Jugoslovensko društvo za tribologiju i Mašinski fakultet Kragujevac, 1994.
- /3/ Siegert K. et al.: Closed loop control system for blank holder forces in deep drawing, Annals of the CIRP, Vol. 44/1/1995., pp. 251-254.
- /4/ Wagner S.: Tribology in drawing car body parts, 11 th International colloquium, Techn. Acad. Esslingen, 1998., Proc., Vol. III, pp. 2365-2372.
- /5/ Aleksandrović S.: Duboko izvlačenje tankih limova pri nemonotonom deformisanju sa promenljivim tribološkim uslovima, doktorska disertacija, Mašinski fakultet Kragujevac, 2000.
- /6/ 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.