

<https://doi.org/10.24867/JPE-1991-08-089>

Plančak, M.\*  
Francuski P.\*\*

PRETHODNO SAOPŠTENJE

ANALIZA KOMBINOVANOG PROCESA SABIJANJA - ISTISKIVANJA

AN ANALYSIS OF EXTRUSION - FORGING PROCESS

Summary

In extrusion-forging process metal flows simultaneously in two directions: radial direction and axial direction. As the literature survey shows this process has been investigated from different aspects. In [7] slip-line field for this kind of processes has been developed. Extrusion-forging has been investigated also by [5]. The author concluded that there are three different stages of metal flow. In first stage radial flow is predominant. In next phase extrusion in axial direction takes place and the total height is in this stage constant. In the last stage, according to [7], radial flow stops and extrusion is predominant.

In this work extrusion-forging process of steel specimen is presented. Two different specimen geometries were used. Lubrication during the process was with machine oil.

Present investigation includes the analysis of force-stroke characteristic and variation of the specimen geometry during the process. Theoretical prediction was carried out by means of UBET method, developed by [4] and [5] at the University Bath, England. Experimental investigation was performed in the Laboratory for Technology of Plasticity, Novi Sad, Yugoslavia.

Obtained results show close agreement between theoretical and experimental load. As far as the analysis and comparison of geometry variation is concerned, satisfactory agreement between theory and experiment has been achieved. The existing difference may be attributed to the way how friction is included in the analysis by upper bound method.

\* Plančak dr Miroslav, vanr.profesor, FTN, Institut za proizvodno mašinstvo, Novi Sad

\*\* Francuski dipl.ing. Plavka, asistent pripravnik, FTN, Institut za proizvodno mašinstvo, Novi Sad

## Rezime

U kombinovanom procesu sabijanja i istiskivanja pojavljuje se dvosmerno tečenje materijala. U zavisnosti od geometrijskih i triboloških parametara materijal se kreće u radijalnom, aksijalnom ili u oba pravca. Zbog ovakve prirode kinematike procesa, ovaj metod deformisanja je interesantan kako sa teorijskog aspekta tako i sa praktičnog. U ovom radu istraživana je tok sila - put kao i promena glavnih geometrijskih parametara obrade u toku procesa. Proces je istraživan teorijski (gornja granica) i eksperimentalno. Dobijeni rezultati su upoređeni i sa podacima iz literature i tom prilikom je ustanovljen zadovoljavajući stepen slaganja. Odstupanja proističu iz različitih uslova izvodjenja procesa.

## 1. UVOD

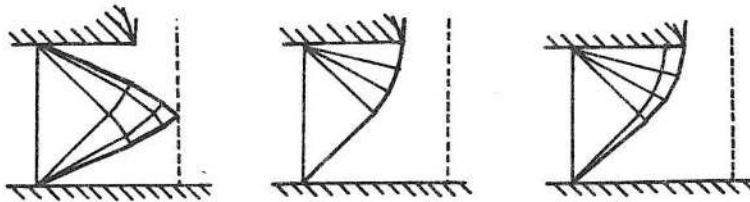
Kombinovano sabijanje-istiskivanje je jedan od takvih procesa zapreminskog oblikovanja koji je značajan kako sa teorijskog tako i sa praktičnog stanovišta. U domenu teoretskih razmatranja ovaj model deformisanja, zbog višesmernog tečenja materijala koristi se kao "klasični" model pri razradi varijacionih, energetskih pristupa kao i prilikom analize deformabilnosti. U praktičnoj primeni ovaj model pojavljuje se vrlo često kao početna faza nekih drugih operacija (npr. u procesu izrade vijčanih proizvoda i dr.).

Zbog gore navedenog ovaj proces bio je predmet istraživanja raznih autora i to sa različitih stanovišta.

U radu [5] istraživana je proces sabijanja - istiskivanja za različite uslove trenja ( $m=0.2$ ,  $m=0.5$  i  $m=1$ ). Zaključeno je da se proces sastoji od tri karakteristične faze: u prvoj fazi preovladjuje sabijanje glave dok se u ostale dve odvija kombinovano tečenje materijala u aksijalnom i radijalnom pravcu. Vujović [6] istražuje ovaj proces sa stanovišta deformabilnosti materijala. Eksperimentalno je ustanovio da je pokazatelj naponskog stanja za ovaj proces  $\beta = -1.23$  (tj.  $\beta = -1.15$  kod normalizovanog stanja materijala). Granična efektivna deformacija za taj slučaj, određena preko merenja tvrdoće, iznosila je  $\phi_e = 1.1$ . Na osnovu eksperimentalno određenih veličina  $\beta_e$  i  $\phi_e$  autor je odredio jednu tačku u dijagramu granične deformabilnosti.

Za analizu procesa sabijanja - istiskivanja, u radu [7] korišće-

na je metoda linija klizanja. Proces je posmatran kao ravanski. Polje linija klizanja za tri karakteristične faze procesa date su na sl. 1.



Sl. 1. Polja linija klizanja za tri različita stadijuma odvijanja procesa sabijanje-istiskivanje

Koristeći rezultate ravanskog razmatranja, autor korišćenjem Hencky-jevih jednačina analizira i aksijalno-simetričnu varijantu ovog procesa.

U ovom radu prikazan je deo širih istraživanja kombinovanog procesa sabijanja-istiskivanja. Analiziran je tok deformacione sile, kao i relevantni geometrijski parametri procesa.

Proces je analiziran metodom gornje granice i eksperimentalno.

## 2. TEORETSKA RAZMATRANJA

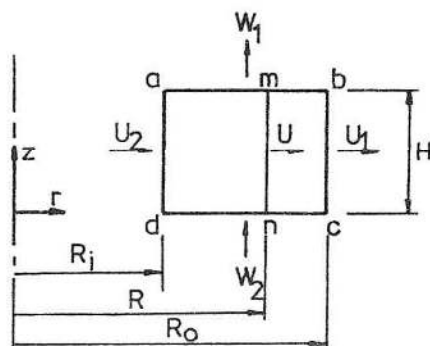
Teoretska analiza procesa sabijanja-istiskivanja izvršena je na bazi metode gornje granice.

Osnovne teoretske postavke na kojima se zasniva ova metoda date su u odgovarajućoj literaturi [2], [3] i dr. Ovde će biti dat samo kratak prikaz jedne novije podvarijante ovog pristupa, a to je metoda jediničnih zona deformisanja. Inicijalno sugerisana od Kudo-a [1], ova metoda dalje je razvijana i usavršavana od drugih autora [4], [5] pod zajedničkim imenom UBET (Upper Bound Elemental Technique). Sadašnji nivo razvoja ove podvarijante metode gornje granice je takav da omogućava odredjivanje ne samo ukupne snage i sile deformisanja, nego i drugih relevantnih parametara procesa deformisanja: raspored pritiska, habanje alata, tok materijala.

Osnovna ideja ovog pristupa sadrži se u tome da se zapremina tela koja se nalazi u stanju plastičnosti podeli na standardizovane jedinične elemente. Ti elementi su najčešće četvorougli ili trougli. Za takve elemente definiše se brzinsko polje preko koga se zatim određuju, po ustaljenoj proceduri, snaga potrebna za deformisanje, za trenje kao i za savladjivanje diskontinuiteta brzina. Iz ukupne snage dobija se deformaciona sila.

Prema [5], za četvorougaoni jedinični element brzinsko polje je definisano preko aksijalne i radijalne brzine

$$\begin{aligned} w &= 2k_1z + w_2 = f(z) \\ u &= \frac{k_2}{R} - k_1R = f(R) \end{aligned} \quad (1)$$



Sl. 2. Brzinsko polje četvorougaonog jediničnog elementa a prema [5]

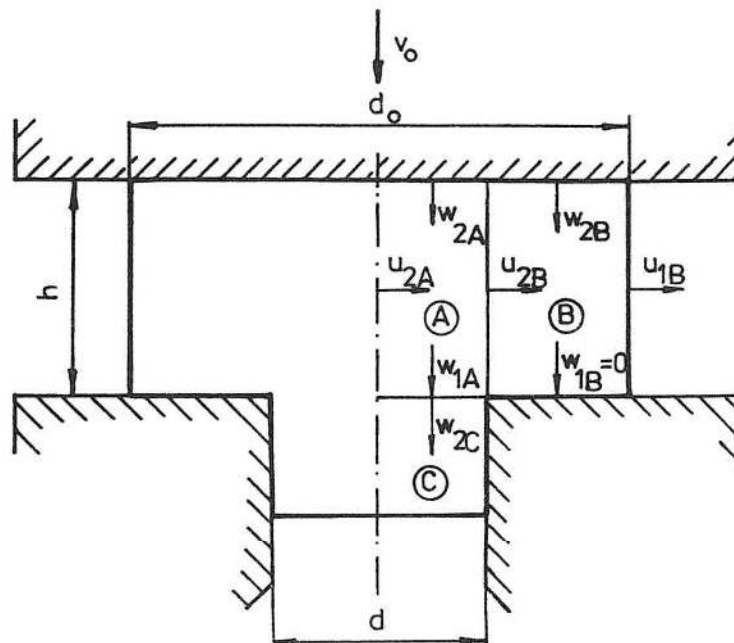
Pri tome su

$$k_1 = \frac{w_1 - w_2}{H} \quad k_2 = R_i |u_2 + R_i k_1| \quad (2)$$

Oznake iz (1) i (2) odgovaraju oznakama datim na slici 2.

U rešavanju konkretnih problema prvi korak je podela ukupne zapremine na jedinične elemente. Jedna od mogućih podela ukupne zapremine u primeru koji se analizira u ovom radu prikazana je na slici 3. Ukupna zapremina dela podeljena je na tri elementarne zapremine,

koje su u meridijalnom preseku reprezentovane elementima A, B, i C. Elementi A i B imaju ulazne aksijalne brzine ( $w_{2A}$ ,  $w_{2B}$ ) koje su jednake brzini kretanja alata ( $v_0$ ). Izlazna aksijalna brzina elementa A ( $w_{1A}$ ) je istovremeno i ulazna aksijalna brzina elementa C ( $w_{2C}$ ). Ulazna i izlazne radijalne brzine takodje su naznačene na slici ( $u_{2A}$ ,  $u_{2B}$ ,  $u_{1B}$ ).



Sl. 3. Podela ukupne zapremine na elemente

Jasno je da je u ovakvoj šemi varijacioni parametar aksijalna brzina ( $w_{1A}$ ). Ako je ova brzina jednaka brzini alata ( $w_{1A}=v_0$ ) celokupna zapremina elementa A teče u otvor alata. Ako je  $w_{1A} = 0$  celokupna zapremina elementa A teče u radijalnom pravcu. Realni procesi ovog modela odvijaju se u okviru ova dva ekstrema ( $0 < w_{1A} < v_0$ ). Koliki je iznos brzine  $w_{1A}$ , to zavisi od geometrijskih parametara procesa ( $d_0$ ,  $h$ ,  $d$ ), vrste materijala i uslova trenja.

Primeri analizirani u eksperimentalnom delu rada simulirani su pomoću software-ovskog paketa razvijenog od strane [5], a na bazi Ubet metode. Komparacija teoretskih i eksperimentalnih rezultata data je u odeljku 4 ovog rada.

## 3. EKSPERIMENT

Eksperiment je izveden sa ciljem da se odrede i analiziraju veličine i tok deformacione sile kao i promene geometrije uzorka u toku procesa.

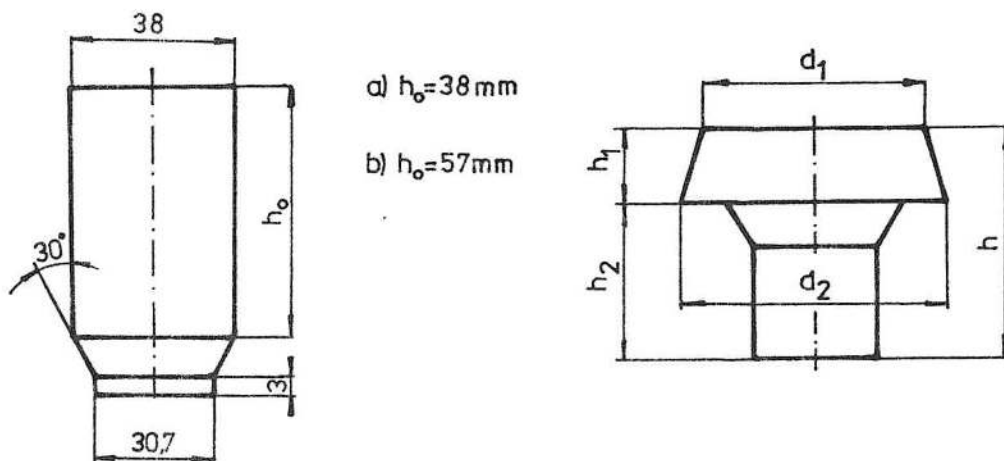
Materijal uzorka je niskouglenični čelik MUK 7 čiji je sastav dat u tabeli 1.

% C	% Si	% Mn	% S	% P
0.055	tragovi	0.317	0.020	0.0206

Tabela 1

Uzorci su bili fosfatirani, a podmazivanje je bilo vršeno mašinskim uljem.

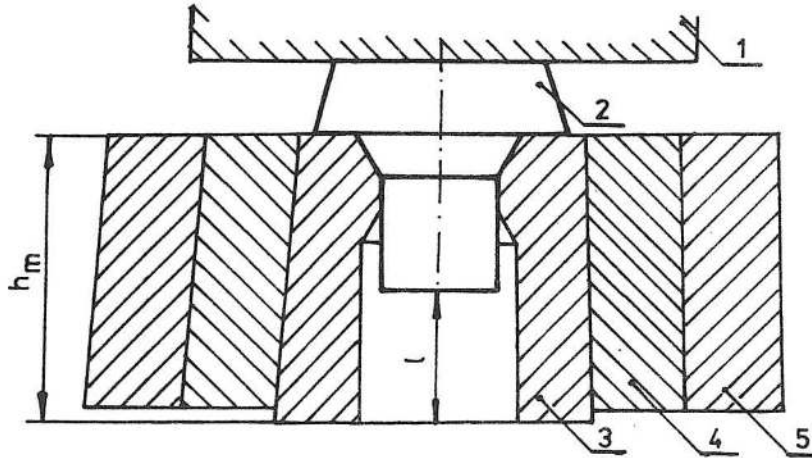
Geometrije priprema i obratka su date na slici 4.



Sl. 4 Geometrije priprema i obratka

U eksperimentu su korištene dve geometrije uzoraka (slika 4). Kod prve geometrije visina priprema je iznosila  $h_0 = 38 \text{ mm}$ , a kod druge  $h_0 = 57 \text{ mm}$ . Prečnik je u oba slučaja bio  $d_0 = 38 \text{ mm}$ .

Alat se sastojao od ravne ploče (pozicija 1, slika 5), i matrice (pozicija 3, slika 5), koja je bila ojačana sa dva prstena (pozicija 4 i 5, slika 5).



Sl. 5. Alat i obradak

1. ravna ploča
2. obradak
3. matrica
4. ojačavajući prsten
5. ojačavajući prsten

Materijal matrice je čelik č.4750. Tvrdoća matrice posle otpuštanja je bila 62 HRc.

Eksperiment je izveden na hidrauličnoj presi nominalne sile 6300 kN. Brzina hoda prese je bila 2 mm/s . Na presi je montiran komparator pomoću koga je bila merena veličina hoda u toku procesa.

Veličina deformacije istraživanog modela definisana je kao

$$\phi = \ln \frac{h_0}{h_1}$$

$h_0$  - visina priprema (slika 4)

$h_1$  - trenutna visina glave uzorka (slika 4)

Ovakav način definisanja veličine deformacije sugerisan je u [6]. Proces je izvodjen inkrementalno, bez vadjanja uzorka iz alata posle

svakog inkrementa. Za svaki priraštaj određivani su geometrijski parametri uzorka (visine glave, vrata i prečnici glave) kao i veličina deformacione sile.

#### 4. REZULTATI

Na slici 6 prikazan je tok deformacione sile određen eksperimentalno ( $F_e$ ) i teoretski ( $F_t$ ) i to za dve različite geometrije priprema:  $h_0/d_0=1$  i  $h_0/d_0=1.5$ . Uočava se visok stepen saglasnosti teoretski i eksperimentalno određenog toka i apsolutnih vrednosti sila za obe geometrije priprema.

Iako je direktna komparacija rezultata dobijenih u ovom radu sa rezultatima iz literature nemoguća zbog različitih uslova deformisanja (vrsta materijala, geometrija priprema, različiti uslovi trenja i dr.), ipak se tok deformacione sile dobijen u ovom radu u velikoj meri poklapa u kvalitativnom smislu sa tokom sile dobijenim u radu [7].

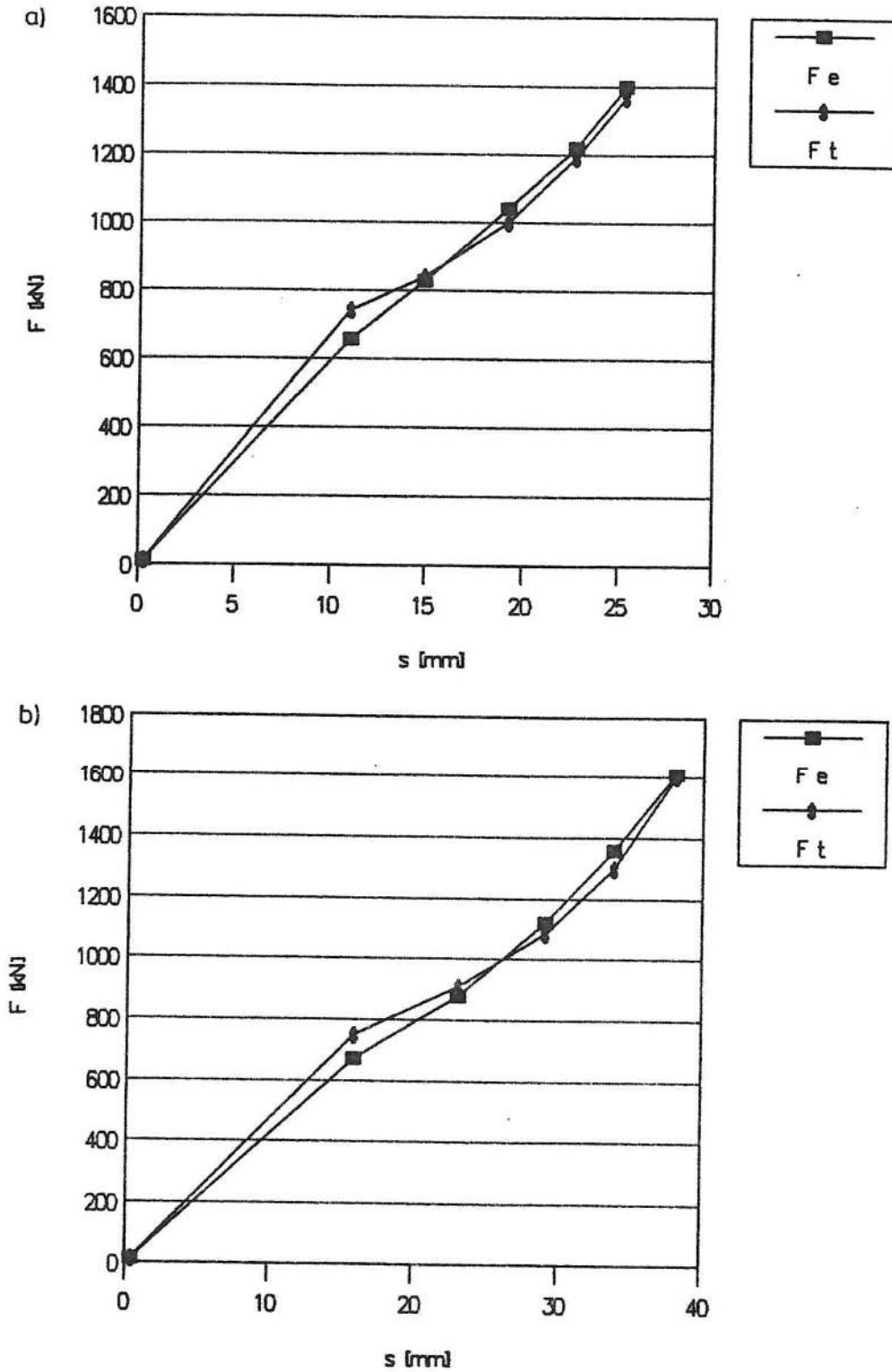
Promene dimenzija uzorka za vreme obrade u aksijalnom pravcu (dužine) prikazane su na slici 7 (oznake su u skladu sa slikom 4). Na toj slici prikazana je teoretski i eksperimentalno određena promena ukupne visine uzorka ( $h_e$ ,  $h_t$ ), visina glave ( $h_{1t}$  i  $h_{1e}$ ) kao i visina vrata ( $h_{2t}$  i  $h_{2e}$ ).

Ukupna visina uzorka smanjuje se u toku celog procesa i to za obe geometrije uzorka.

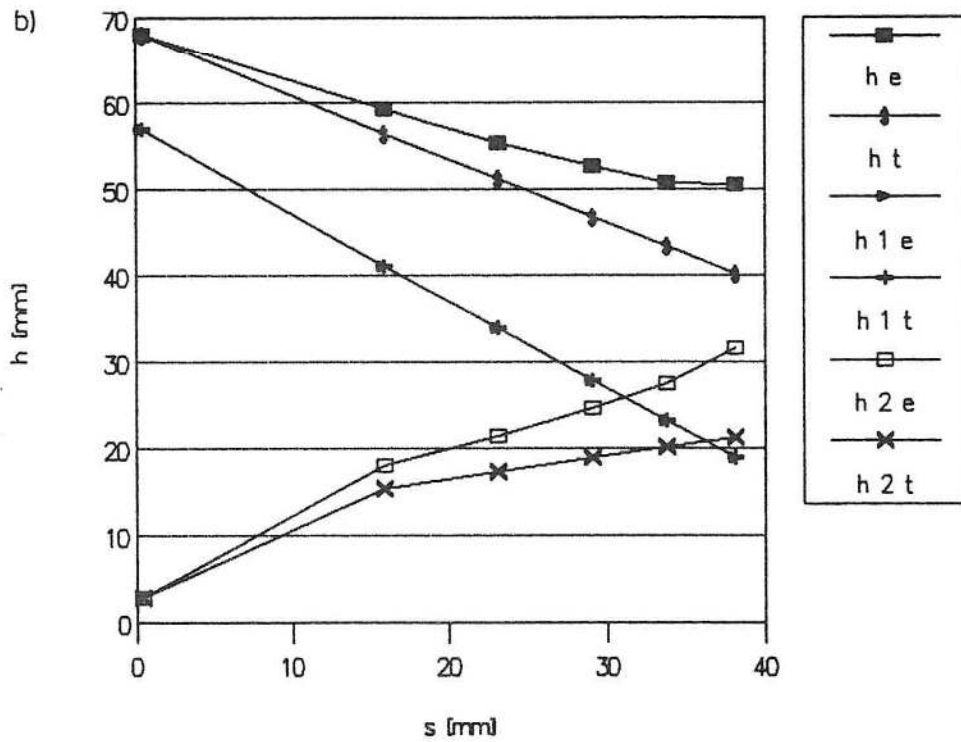
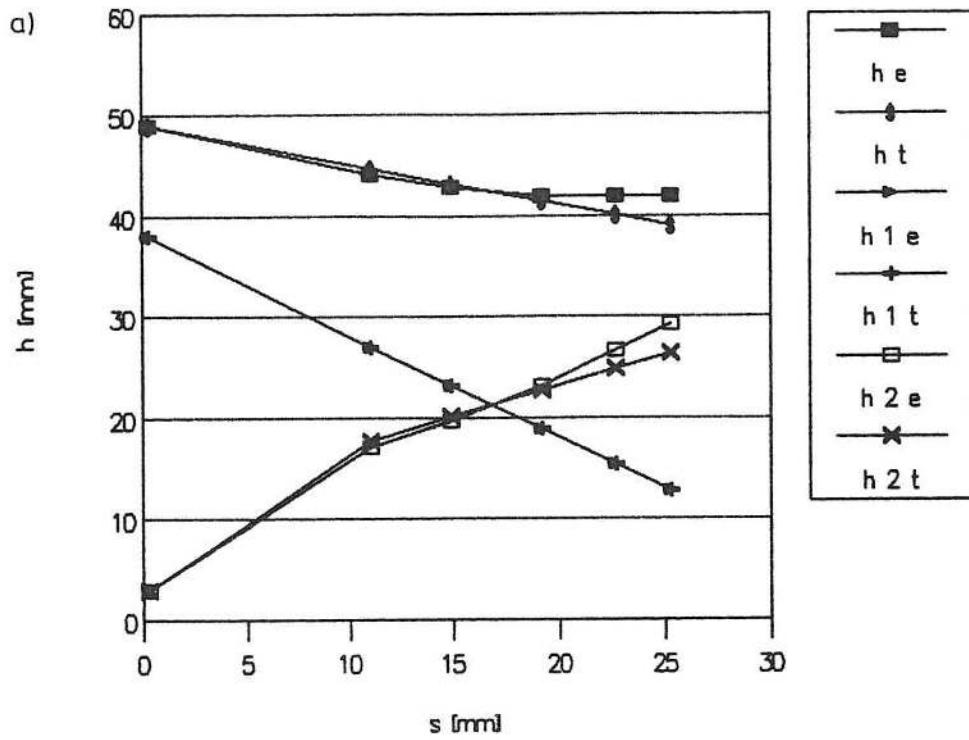
Pri tome eksperimentalno dobijeni tok ukupne visine pokazuje blaži trend opadanja nego teoretski dobijeni. Visina vrata ( $h_2$ ) povećava se u toku procesa s tim što se u eksperimentu dobijaju veće dužine vrata nego teoretskim putem.

Na slici 8 data je promena prečnika glave u toku procesa. Teoretsko previdjanje daje samo jednu vrednost za prečnik glave za svaki inkrement. Eksperimentalno dobijeni podaci ukazuju na razliku između gornjeg ( $d_1$ ) i donjeg ( $d_2$ ) prečnika glave, pri čemu je  $d_2 > d_1$  (slika 4). Ova razlika raste sa rastućim stepenom deformacije.

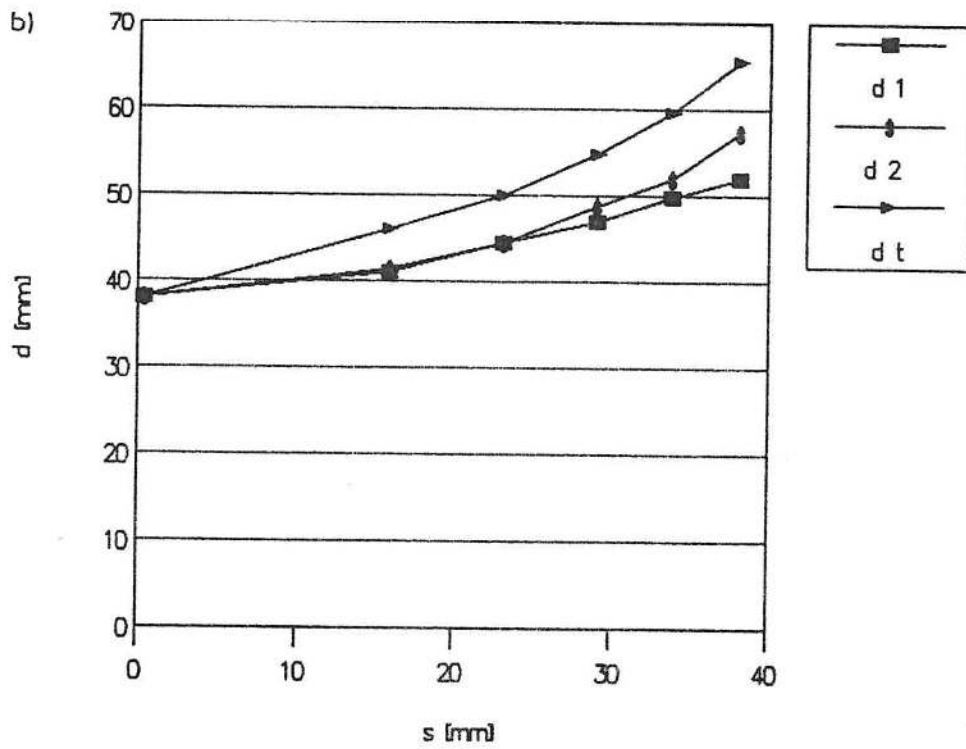
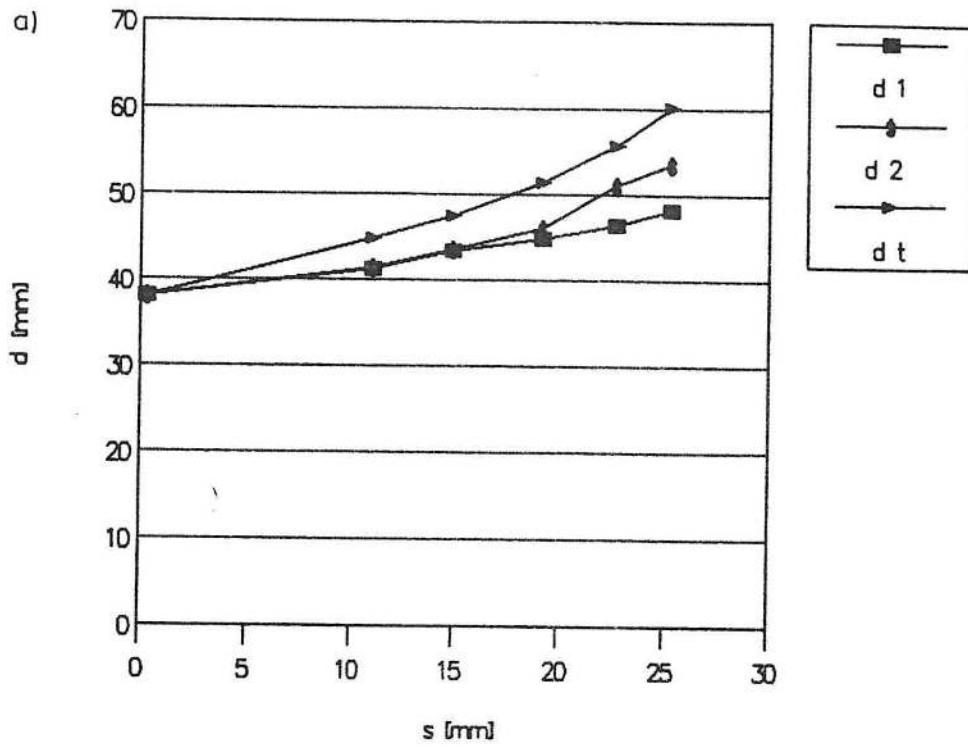




Slika 6. Tok sile deformisanja za a)  $h_0/d_0=1$  i b)  $h_0/d_0=1.5$ .



S1.7. Promena dimenzija uzorka u aksijalnom pravcu za  
 a)  $h_0/d_0=1$  i b)  $h_0/d_0=1.5$



s1.8 Promena prečnika glave za a)  $h_0/d_0=1$  i b)  $h_0/d_0=1.5$

## 5. DISKUSIJA I ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazani su neki rezultati širih istraživanja kombinovanog procesa sabijanja - istiskivanja.

Rezultati dobijeni eksperimentalno i teoretski (gornja granica) ukazuju na zadovoljavajući nivo koencidencije. Ovo se posebno odnosi na tok i veličinu sile deformisanja i to za obe geometrije pripremaka.

Kada je reč o geometriji uzorka i njenoj promeni u toku procesa tu se pojavljuju određene razlike između teoretski i eksperimentalno dobijenih rezultata. Ukupna visina, prema teoretskim predviđanjima znatnije se smanjuje nego što to pokazuje eksperiment. Gornjo-granično rešenje ne predviđa pojavu razlike u prečniku glave ( $d_1=d_2$ ) dok je u eksperimentu ova razlika evidentna ( $d_2>d_1$ ).

Navedena odstupanja mogu se objasniti prirodom metode gornje granice, posebno sa stanovišta kontaktnog trenja. Naime, gornja granica uzima u obzir kontaktno trenje samo sa stanovišta veličine energets-kih parametara, a ne i sa stanovišta promene geometrije uzorka. Tako npr. ako se gornjom granicom simulira proces slobodnog sabijanja valjka, onda kontaktno trenje utiče na veličinu sile, ali ne i na geometriju uzorka koji u celom toku deformisanja ostaje cilindar tj. ne dolazi do njegovog naburičavanja.

Potrebno je naglasiti da su na Univerzitetu u Bath-u (Engleska) u završnoj fazi radovi na usavršavanju metode gornje granice i to u smislu mogućnosti određivanja uticaja kontaktnog trenja ne samo na energetske nego i na geometrijske parametre u toku procesa deformisanja.

Rezultati dobijeni u ovom radu ne ukazuju na povećanje ukupne visine uzorka u poslednjoj fazi deformisanja, kako je to navedeno u radovima [5] i [7]. Ovo se može objasniti činjenicom da je u navedenim referencama deformisanje vršeno do znatno većih stepena deformacije nego što je to bio slučaj u istraživanjima čiji se prikaz daje u ovom radu.

LITERATURA

- [1] Kudo, H.: Some analytical and experimental studies of axisymmetric cold forging and extrusion - I, II, III, Int. J. Mech. Sci., vol. 2, 1960.
- [2] Johnson, W.: "Engineering Plasticity" - Von Nostrand - London, 1980.
- [3] Musafija, B.: Primenjena teorija plastičnosti, Sarajevo, 1974.
- [4] Bramley, A.N., Thornton, J. T.: An approximate method for predicting metal flow in forging and extrusion operations, The Institution of Mech. Eng., vo. 194, No. 2, 1980.
- [5] Osman, F.: Computerized simulation of forging processes, PhD thesis, University Leeds, 1981.
- [6] Vujović, V.: Istraživanje uticaja različitih stanja jednog domaćeg čelika na obradivosti hladnim zapreminskim oblikovanjem, Doktorska disertacija, FTN Novi Sad, 1976.
- [7] Newnham, J.A., Rowe G.W.: An analysis of compound flow of metal in a simple extrusion/forging process, Journal of the Institute of Metals, 1973, vol. 101, pp 1-9.
- [8] Plančak, M., Bramley, A., Osman, F.: Odredjivanje deformacione sile u procesima zapreminskog deformisanja pomoću UBET metode, Zbornik radova Instituta za proizvodno mašinstvo br. 7, 1990.
- [9] Francuski, P.: Raznosmerno tečenje metala pri plastičnom deformisanju, Diplomski rad, FTN, Novi Sad, 1990.