

<https://doi.org/10.24867/JPE-1989-06-087>

ORIGINALNI NAUČNI RAD

Plančak M. *
 Bramley A. **
 Osman F. ***

ANALIZA PROCESA RAVANSKOG SUPROTNOSMERNOG ISTISKIVANJA METODOM GORNJE GRANICE

Rezime

Proces suprotno smernog ravanskog istiskivanja analiziran je metodom gornje granice. Oblast ispod žiga podeljena je na 4 zone za koju su definisane vrednosti brzine. Tako dobijeno kinematsko polje optimizirano je obzirom na visinu zone deformisanja. Na taj način dobijena deformaciona sila upoređena je sa silom dobijenom eksperimentalno. Eksperimentalno dobijena sila je manja za 12-20% od sile dobijene preko metode gornje granice. Ovo odstupanje, obzirom na prirodu i karakter metode gornje granice, leži u granicama dozvoljenog.

INVESTIGATION OF PLANE-STRAIN BACKWARD EXTRUSION PROCESS BY MEANS OF UPPER BOUND METHOD

Summary

Process of backward extrusion in plane strain condition was investigated by means of upper bound method. Inside the material below the punch kinematically admissible velocity field was assumed. This field satisfied the boundary conditions. The total energy was calculated and optimization with respect to the high of the deformation zone was carried out. The results were compared with experiment and good agreement was obtained.

* Plančak dr Miroslav, dipl. ing., docent, Fakultet tehničkih nauka, Institut za proizvodno mašinstvo, 21000 Novi Sad, Vladimira Perića-Valtera 2.

** Bramley A., Profesor Dr. University of Bath, School of Mechanical Engineering England

*** Osman F., Lecturer, Dr. University of Bath, School of Mechanical Engineering England

1. UVOD

Metoda gornje granice primenjuju se u obradi deformisanjem za određivanje osnovnih parametara procesa: deformacione sile i srednjeg specifičnog pritiska za alat.

Neke novije varijante ove metode, kao npr. UBET [1], omogućavaju određivanje toka materijala (kinematike) pa čak i rasporeda pritiska na kontaktnim površinama alat-materijal.

Osnovni princip na kome se zasniva ova metoda glasi: od svih kinematski dozvoljenih polja brzina (tj. polja koja zadovoljavaju granične uslove i uslove kontinuiteta) stvarno kinematsko polje čini izraz (1) minimalnim.

$$L = L_1 + L_2 + L_3 = \frac{2\sigma_e}{\sqrt{3}} \int_V \sqrt{\frac{1}{2} \epsilon_{ij} \epsilon_{ij}} dv + \int_A \tau |\Delta v| dA - \int_A d_i v_i dA \quad (1)$$

L_1 - snaga unutrašnjeg deformisanja

L_2 - snaga koja se troši na diskontinuitetima brzina i na spoljašnje trenje

L_3 - snaga spoljnih napona. Ovaj član samo se izuzetno pojavljuje, (npr. u slučaju vučenja sa protiv silom i sl.)

ϵ_{ij} - brzina deformacije

Δv - relativna brzina na granicama diskontinuitetima

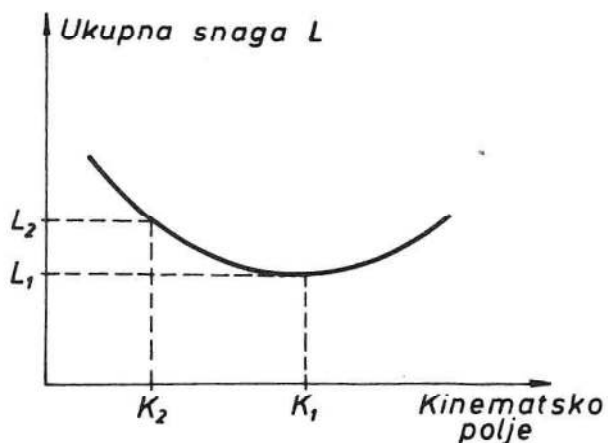
τ - tangencijalni napon

Poznavajući ukupnu snagu, sila deformisanja dobija se kao:

$$F = \frac{L}{v}$$

v - brzina kretanja radnog elementa alata

Ako se gornja granica primenjuje za određivanje kinematike procesa, u tom slučaju proces se posmatra inkrementalno a za svaki inkrement određuju se elementi kinematskog polja. Pri tome se koristi pravilo da materijal u svakom inkrementu teče u onom pravcu gde vlada najmanji otpor tom kretanju.



Sl. 1.

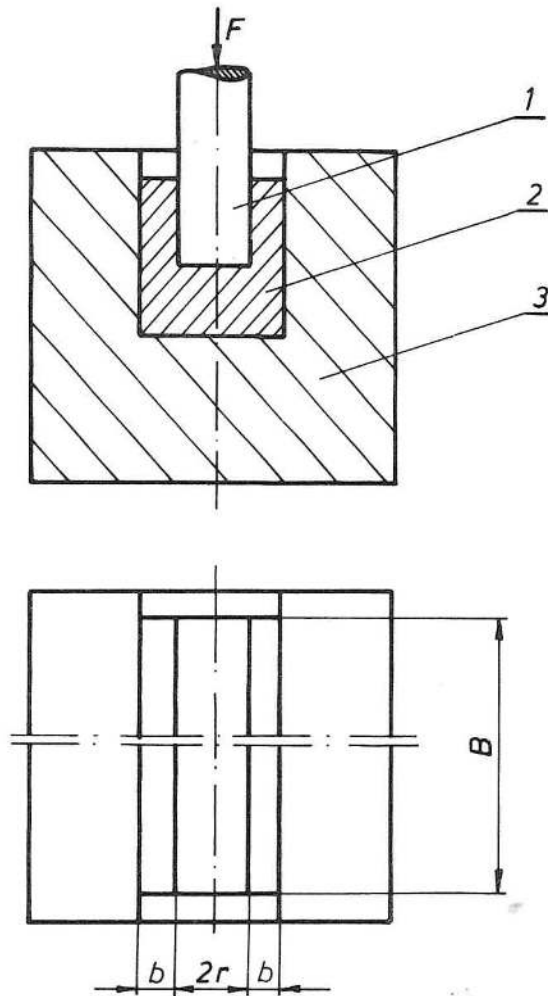
Na sl. 1 dat je kvalitativni prikaz navedenog principa na kome se zasniva metoda gornje granice. Stvarno polje brzina (K_1) koje je sem u izuzetnim slučajevima (npr. slobodno sabijanje bez trenja) nemoguće analitički podpuno egzaktno prikazati, daje i stvarnu snagu (L_1). Sva ostala analitički definisana polja brzina, koja u većoj ili manjoj meri odstupaju od realnog brzinskog polja, kao rezultat daju snagu koja je veća od stvarne (za polje K_2 dobija se snaga L_2 , pri čemu je $L_2 > L_1$). Iz ovoga sledi da metoda gornje granice pruža izvestan stepen sigurnosti pri proračunu osnovnih parametara procesa. To, međjutim, niukom slučaju ne znači da ne treba težiti što egzaktnijem opisu kinematskog polja.

2. ANALIZA RAVANSKOG SUPROTNO-SMERNOG ISTISKIVANJA

U radu je analiziran proces ravanskog suprotnosmernog istiskivanja (sl. 2) a na sl. 3 prikazano je pretpostavljeno kinematsko polje u zoni deformisanja za taj slučaj. Proces je simetričan u odnosu na vertikalnu osu. Pretpostavljaju se 4 različite zone (I-IV) u kojima vladaju odgovarajuće brzine ($V_1 - V_4$). Na sl. 3a prikazano je pretpostavljeno kinematsko polje i naznačeni pravci brzina u svakoj zoni. Odgovarajući hodograf brzina prikazan je na sl. 3b.

Pojedine zone odvojene su međusobno površinama diskontinuiteta ($\overline{AC} - \overline{AB} - \overline{BC} - \overline{DC}$) na kojima dolazi do diskontinuiteta brzina.

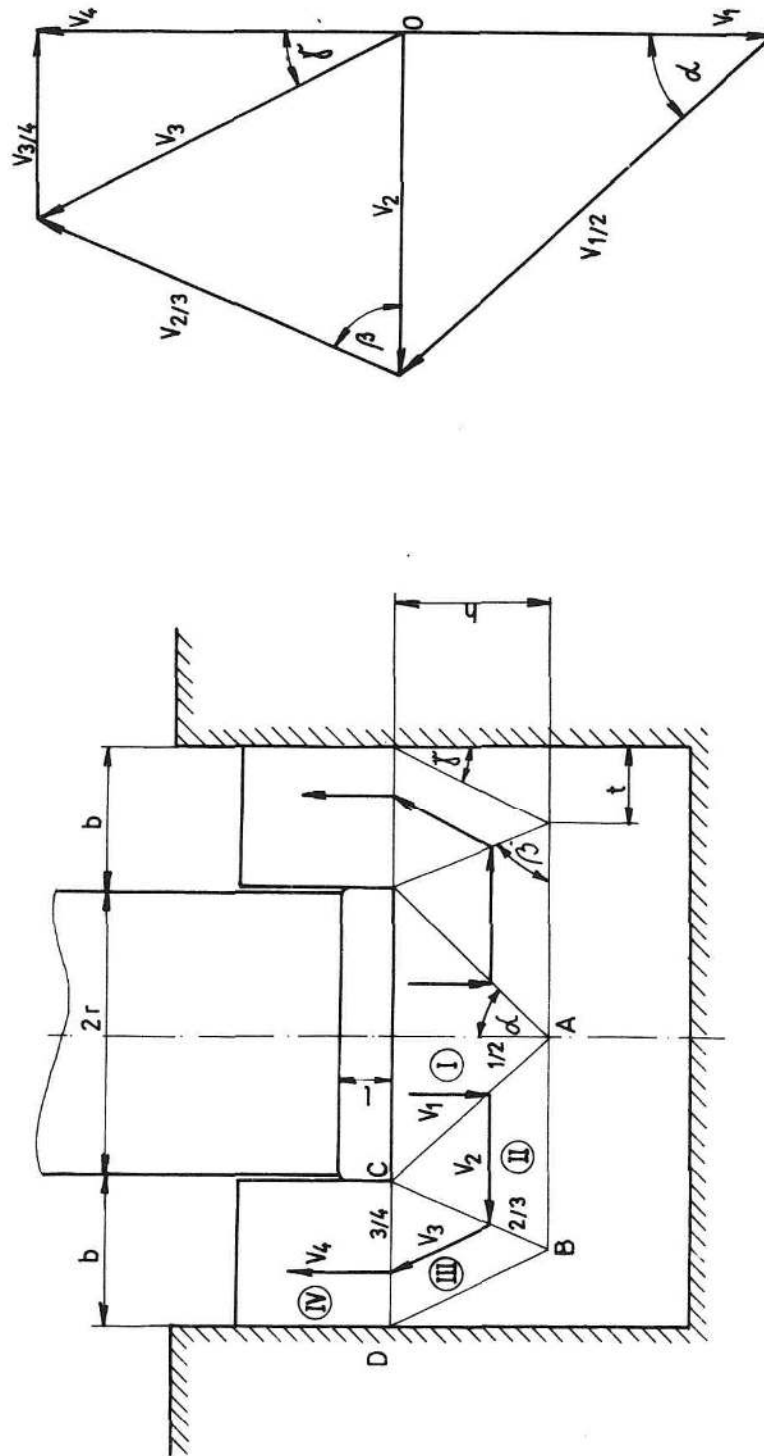
1. Žig
2. Obradak
3. Matrica



Sl. 2. Ravansko suprotno smerno istiskivanje

Spoljašnje trenje predpostavlja se u zoni visine kalibracije žita (" l ") i to kako sa strane žiga tako i sa strane matrice.

U daljem tekstu definišu se relevantni geometrijski odnosi kao i izrazi za brzine u pojedinim zonama, kao i na površinama diskontinuiteta. Vrednosti pojedinih brzina dobijene su na bazi hodografa brzina.



Sl. 3. Predpostavljeno kinematsko polje u obradku

$$\begin{aligned}
 \operatorname{tg} \alpha &= \frac{r}{h} \\
 \operatorname{tg} \beta &= \frac{h}{t} \\
 \operatorname{tg} \gamma &= \frac{b-t}{h} \\
 t &= \frac{b}{2} \\
 \overline{AC} &= \frac{r}{\sin \alpha} \\
 \overline{BC} &= \frac{b}{2 \cos \beta} \\
 \overline{DC} &= b
 \end{aligned} \tag{2}$$

Brzine u pojedinim zonama i na diskontinuitetima:

V_1 - brzina žiga

$$v_2 = V_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

$$V_3 = V_1 \frac{r}{b \cdot \cos \gamma}$$

$$V_4 = V_1 \cdot \frac{r}{b} \tag{3}$$

$$V_{1/2} = \frac{V_1}{\cos \alpha}$$

$$V_{2/3} = V_3 \cdot \frac{\sin(90 - \gamma)}{\sin \beta}$$

$$V_{3/4} = V_4 \cdot \frac{b-t}{h}$$

Uzimajući u obzir raspored brzina kao i izraze (2) i (3) izraz za ukupnu snagu glasi:

$$\begin{aligned}
 L &= 2B \cdot \frac{\sigma_e}{\sqrt{3}} (AC \cdot V_{1/2} + BC \cdot V_{2/3} + DC \cdot V_{3/4} + AB \cdot V_2 + B \cdot D \cdot V_3) + \\
 &+ 2 \cdot B \cdot 2 \cdot V_4 \cdot l \cdot \mu \cdot \sigma_e = 2B \frac{\sigma_e}{\sqrt{3}} \left(\frac{r}{\sin \alpha} \cdot \frac{V_1}{\cos \alpha} + \frac{b}{2 \cos \beta} \cdot V_1 \cdot \frac{\sin(90 - \gamma)}{\sin \beta} \cdot \frac{r}{b \cos \gamma} \right. \\
 &+ b \cdot \frac{b-t}{h} \cdot V_1 \cdot \frac{r}{b} + V_1 \operatorname{tg} \alpha \left(r + \frac{b}{2} \right) + V_1 \frac{r}{b \cos \gamma} \cdot \frac{t}{\sin \gamma} \left. \right) + 4B \cdot \frac{r}{b} \cdot V_1 \cdot l \cdot \mu \cdot \sigma_e \tag{4}
 \end{aligned}$$

Sredjujući gornji izraz dobija se:

$$L = 2 \cdot B \cdot V_1 \cdot r \cdot \sigma_e \left| \frac{1}{\sqrt{3}} \left(\frac{1}{\sin \alpha \cdot \cos \alpha} + \frac{1}{2 \cos \beta \cdot \sin \beta} + \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{b-t}{h} + \frac{r+\frac{b}{2}}{h} + \frac{t}{b \cdot \cos \gamma \cdot \sin \gamma} \right) + 2\mu \cdot \frac{\ell}{b} \right| \quad (5)$$

U gornjem izrazu, veličina "B" predstavlja dužinu uzorka dok je σ_e - efektivni napon.

Izraz (5) predstavlja ukupnu snagu za dati proces a za predpostavljeno kinematsko polje. Ovaj izraz moguće je optimizirati obzirom na pojedine elemente tog polja. U ovom radu optimizacija ukupne snage izvršena je obzirom na ukupnu dubinu deformacione zone (h).

Određivanjem prvog izvoda ukupne snage po visini deformisane zone:

$$\frac{dL}{dh} = 0 \quad (6)$$

dobija se veličina, "h" (dubina zone deformisanja) za koju je snaga minimalna tj. dobija se optimizovano rešenje gornje granice za pretpostavljenu kinematiku procesa.

Izraz za ukupnu snagu (5) je modificiran prema:

$$L = 2B \cdot V_1 \cdot r \cdot \sigma_e \left| \frac{1}{\sqrt{3}} \left(\frac{r^2+h^2}{r \cdot h} + \frac{t^2+h^2}{2+h} + \frac{b}{2h} + \frac{r}{h} + \frac{b}{2h} + \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{4h^2+b^2}{4hb} \right) + 2\mu \frac{\ell}{b} \right| = 2B \cdot V_1 \cdot r \cdot \sigma_e \left\{ \frac{1}{\sqrt{3}} \left| \frac{1}{h} \left(2r + \frac{3}{2} b \right) + \right. \right. \\ \left. \left. + h \left(\frac{1}{4} + \frac{2}{b} \right) \right| + 2\mu \frac{\ell}{b} \right\} \quad (7)$$

Prvi izvod ovog izraza po "h" glasi:

$$\frac{dL}{dh} = 2b \cdot V_1 \cdot r \cdot \sigma_e \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} \left| (2r + \frac{3}{2}b) \left(-\frac{1}{h^2} \right) + \left(\frac{1}{r} + \frac{2}{b} \right) \right| \quad (8)$$

Iz:

$$\frac{dL}{dh} = 0$$

dobija se:

$$h = |b \cdot r| \left(1 + \frac{\frac{b}{2}}{2r + b}\right)^{1/2} \quad (9)$$

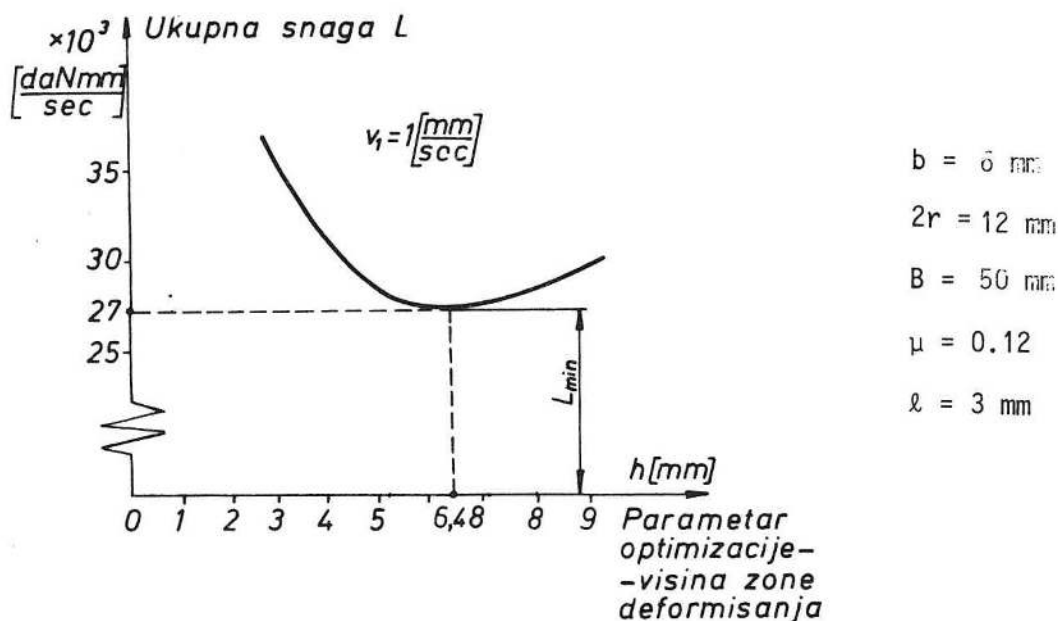
Minimalna vrednost snage tj. optimizirano rešenje gornje granice s obzirom na visinu zone deformisanja dobija se ako se izraz (9) zameni u (7). Dobija se:

$$L = 2B \cdot v_1 \cdot r \cdot \sigma_e \left\{ \frac{1}{\sqrt{3}} \left| \sqrt{\frac{2r + b}{b \cdot r} (2r + \frac{3}{2} b)} + \sqrt{\frac{2r + b}{b \cdot r} (2r + \frac{3}{2} b)} \right| + 2\mu \cdot \frac{\ell}{b} \right\}$$

Posle sredjivanja:

$$L = 4 \cdot B \cdot v_1 \cdot r \cdot \sigma_e \left| \frac{1}{\sqrt{3}} \sqrt{\frac{4r^2 + 5 \cdot r \cdot b + \frac{3}{2} b^2}{b \cdot r}} + \mu \cdot \frac{\ell}{b} \right| \quad (10)$$

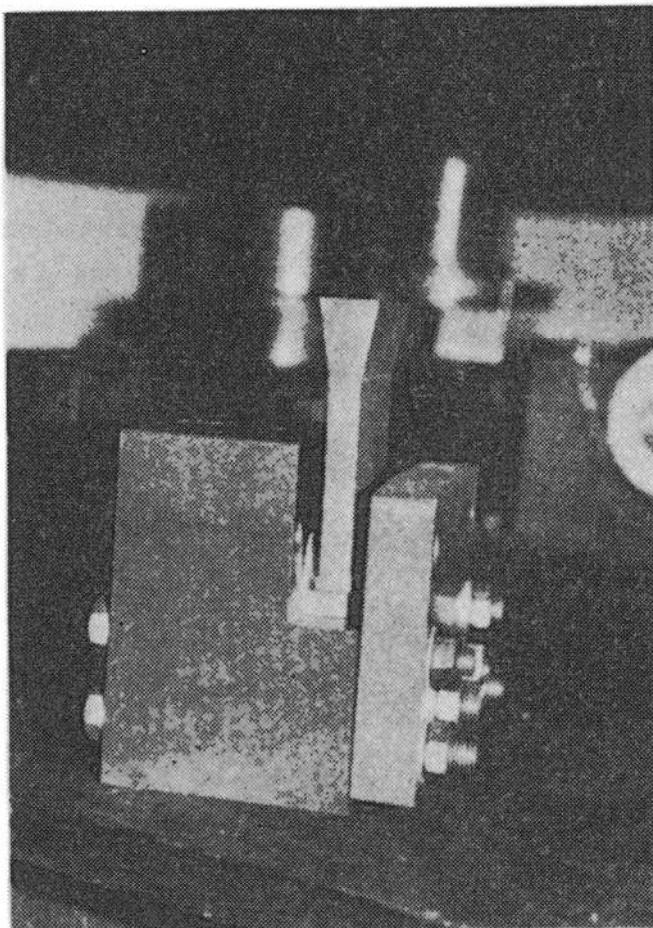
Na sl. 4. prikazana je zavisnost ukupne snage i visine zone deformisanja. Pri tome je analiziran materijal Al 99,5. Kao što se iz dijagrama vidi, optimalna visina zone deformisanja iznosi $h = 6.48$ mm.



Sl. 4. Zavisnost ukupne snage od visine zone deformisanja

3. EKSPERIMENT

Eksperiment je izveden na posebno konstruisanom alatu (sl. 5) koji omogućava deformisanje raznih ravanskih modela.



Sl. 5. Alat za ravansko suprotno smerno istiskivanje

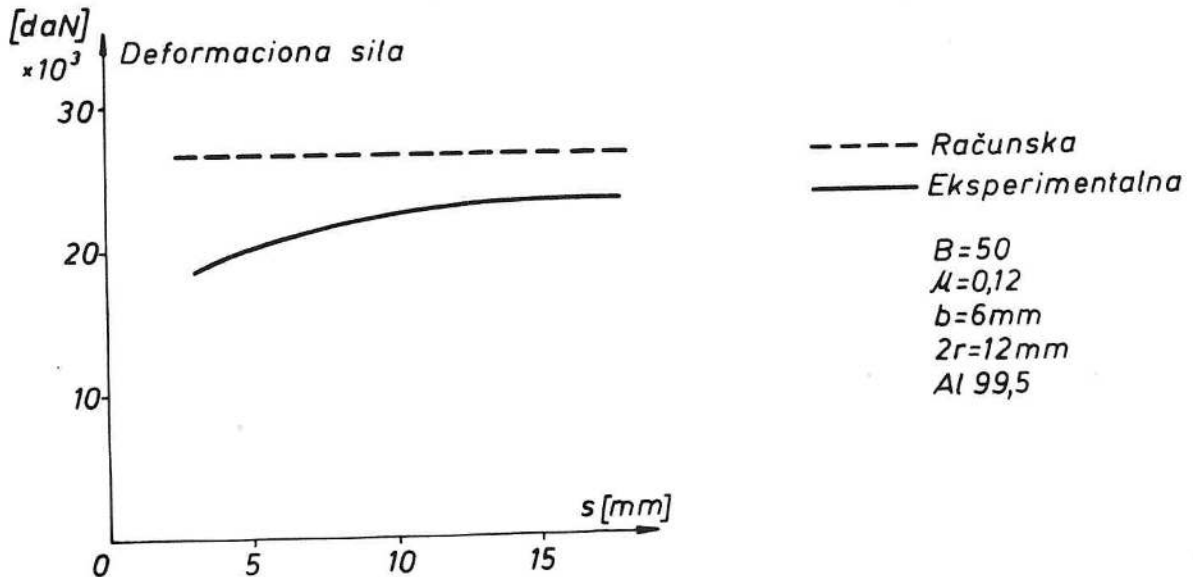
Elementi alata uradjeni su iz č4150 a odgovarajućim termičkim tretmanom dovedeni na tvrdoću 60 HRC.

Dimenzije priprema su: 24x29x50. Materijal priprema je A199,5. Kriva deformacionog ojačanja za taj materijal odredjena je u [7] a njen analitički oblik je:

$$\sigma = 16,2 \phi^{0,11}$$

Eksperiment je izveden na hidrauličnoj presi Sack & Kiesselbach od 6300KN.

Na slici 6. dat je prikaz sile dobijene preko a) metode gornje granice uz primenu optimizacije i b) eksperimenta.



Sl.6. Eksperimentalno i teorijski odredjen tok deformacione sile

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu metodom gornje granice analiziran je proces ravanskog suprotno-smernog istiskivanja. Postavljeno je kinematsko polje procesa a zatim je izvršena optimizacija tog polja u odnosu na visinu zone deformisanja. Dobijena vrednost za ukupnu silu deformisanja upoređena je sa eksperimentalno dobijenom silom i tom prilikom je dobijen zadovoljavajući stepen saglasnosti.

Prikazana analiza odnosi se samo na onaj deo procesa u kome je debljina dna uzorka veća od optimirane visine zone deformisanja.

U daljem radu na toj problematici planira se istraživanje i drugih procesa zapreminskog deformisanja pomoću prikazane metodologije s tim što bi u proces optimizacije kinematskog polja trebalo uključiti više parametara a ne samo jedan (u ovom radu to je visina zone deformacije). Takodje, za procese u kojima postoje više mogućih pravaca istovremenog tečenja materijala, meto-

dom gornje granice, a uz primenu optimizacije kinematskog polja, planira se odredjivanje načina ispunjavanja kalupa (alata).

LITERATURA:

- [1] Bramley, A.N., Thornton, J.T.: An approximate method for predicting metal flow in forging and extrusion operations, The Institution of Mech. Eng., Vol. 194. No. 2, 1980.
- [2] Kudo, H.: Some analytical and experimental studies of axi-symmetric cold forging and extrusion - I, II, III, Int.J.Mech.Sci., vol. 2, 1960.
- [3] Johnson, W., Mamalis, A.G.: Force polygons to determine upper bounds and force distribution in plane strain metal forming processes, materijal u pripremi za štampu
- [4] Musafija, B.: Primjenjena teorija plastičnosti, Sarajevo, 1974.
- [5] Johnson, W.: Engineering Plasticity - Van Nostrand - London, 1980.
- [6] Osman, F.H.: Computerized simulation on forging process, Dr Thesis, Leeds, 1981.
- [7] Plančak, M., Vujović, V. Vilotić, D.: "Ein Beitrag zur Untersuchung von Querfliesspressen" - XXIV Kolloquium Kaltmassivumformung - Zwickau, DDR, 1987.