

M. Plančak\*

ALAT ZA LABORATORIJSKO MERENJE RADIJALNOG NAPONA U  
PROCESIMA HLADNOG ISTISKIVANJA ČELIKA\*\*

Rezime

*Poznavanje kontaktnih napona u procesima hladnog istiskivanja čelika od izuzetnog je značaja ne samo za konstrukciju alata nego i za teorijske analize procesa. Obzirom na ograničene mogućnosti teoretskog određivanja kontaktnih napona, razvijen je jedan broj eksperimentalnih metoda. Jedna od najegzaktnijih eksperimentalnih metoda je metoda mernog pipka. Na bazi ove metode projektovan je i izveden laboratorijski alat za merenje radijalnog kontaktnog napona na zidu matrice u procesima istiskivanja, koji je prikazan u ovom radu. U radu su prikazani i rezultati merenja radijalnog napona.*

EIN WERKZEUG FÜR DIE LABOR-UNTERSUCHUNGEN VON  
RADIALSPANNUNG IN KALTFLIEßPROZEBEN VON STAHL

Zusammenfassung

*Die Kenntniss der Kontaktspannung in Kaltfließprozessen von Stahl ist von außergewöhnlicher Bedeutung nicht nur für die Werkzeugkonstruktion sondern auch für die analytische Betrachtung des Fließprozesses. Da theoretische Möglichkeiten von Kontaktspannungermittlung begrenzt sind, einige experimentelle Methoden wurden entwickelt. Eine der genauesten ist die Messtiftmethode. In dieser Arbeit ist ein Labor-Werkzeug für die Messung von Radialspannung an der Matrizenwand in Fließprozessen präsentiert. Es wurden die Verläufe von Deformationskraft wie auch Radialspannung an der Matrizenwand in Vorwärts und Rückwärtsnapffließpreßen dargestellt, die mit Hilfe dieses Werkzeuges gemessen sind.*

1. UVOD

U okviru ostalih tehnologija obrade metala hladno istiskivanje zauzima sve značajnije mesto. Ovo je uslovljeno, pre svega, tehno-ekonomskim prednostima koja ova obrada ima u odnosu na alternativne tehnologije (ušteda materijala, kratko vreme izrade, poboljšanje mehaničkih osobina obratka).

\*) Plančak dr Miroslav, dipl. ing., asistent, Fakultet tehničkih nauka, Institut za proizvodno mašinstvo, 21000 Novi Sad, V. Perića-Valtera 2.

\*\*\*) Ovaj rad proistekao je iz istraživačke teme "Teorijsko-eksperimentalna istraživanja tehnologije hladnog istiskivanja i mogućnosti njene primene", finansirane od strane SIZ-a za naučni rad Vojvodine.

Jedan od ograničavajućih faktora primene tehnologije hladnog istiskivanja jesu veoma visoki naponi koji se pojavljuju na kontaktnim površinama između alata i materijala. Pri tome ovi naponi deluju u dva osnovna pravca: u aksijalnom i radijalnom. Aksijalnim naponima opterećeni su čelo žiga i dno matrice a radijalnim zid matrice.

Poznavanje veličine i rasporeda kontaktnih napona od izuzetnog je značaja kako sa stanovišta teorijske analize procesa tako i sa stanovišta problematike alata.

Prilikom teorijske analize procesa kontaktni naponi se koriste kao granični uslovi čije je poznavanje neophodno za određivanje integracionih konstanti kod rešavanja diferencijalnih jednačina ravnoteže.

Za optimalno projektovanje i konstrukciju elemenata alata takodje je neophodno poznavanje veličine i rasporeda kontaktnih napona i to u toku celog procesa istiskivanja. Ustaljeni postupak proračuna i konstrukcije alata na bazi srednjih vrednosti kontaktnih napona po pravilu daje nerealnu sliku opterećenja što ima za posledicu prevremeno oštećenje elemenata alata.

Obzirom na ograničene mogućnosti teoretskog određivanja kontaktnih napona kao i zbog provere postojećih teoretskih rešenja, razvijen je jedan broj eksperimentalnih metoda određivanja kontaktnih napona u procesima hladnog istiskivanja.

U ovom radu dat je prikaz laboratorijskog alata pomoću koga je moguće eksperimentalnim putem odrediti veličinu i tok radijalnog napona koji se u procesima suprotno-smernog i istosmernog hladnog istiskivanja čelika pojavljuje na zidu matrice.

## 2. MOGUĆNOSTI EKSPERIMENTALNOG ODREĐIVANJA KONTAKTNIH NAPONA U PROCESIMA ISTISKIVANJA

Određivanje kontaktnih napona u procesima istiskivanja analitičkim putem skopčano je sa nizom teškoća i moguće je samo uz uvodjenje određenih pojednostavljenja u analizu procesa. Najčešća pojednostavljenja su: svodjenje aksijalno simetričnog modela na ravanski, zanemarivanje trenja i ojačavanje materijala, korišćenje pojednostavljenog uslova plastičnosti i drugo.

Nemogućnost dobijanja egzaktnih rešenja uz pomoć klasične teorije plastičnosti uslovio je pojavu jednog broja eksperimentalnih metoda kojima je moguće identifikovati kontaktne napone u procesima hladnog istiskivanja.

Jedna od najstarijih eksperimentalnih metoda jeste kvalitativno odredjivanje rasporeda normalnih napona na kontaktnoj površini pomoću *alata sa odredjenim otvorima* (Sl.1a). Prilikom procesa deformisanja materijal ispu- njava odredjene otvore u alatu a visina do koje je materijal prodro u predvi- djene otvore predstavlja kvalitativnu meru veličine normalnog napona na mestu otvora.

Značaj ove metode je veoma ograničen, pre svega zbog ometanja kon- tinuiteta toka materijala od strane otvora kao i zbog nemogućnosti kvantifici- ranja rezultata.

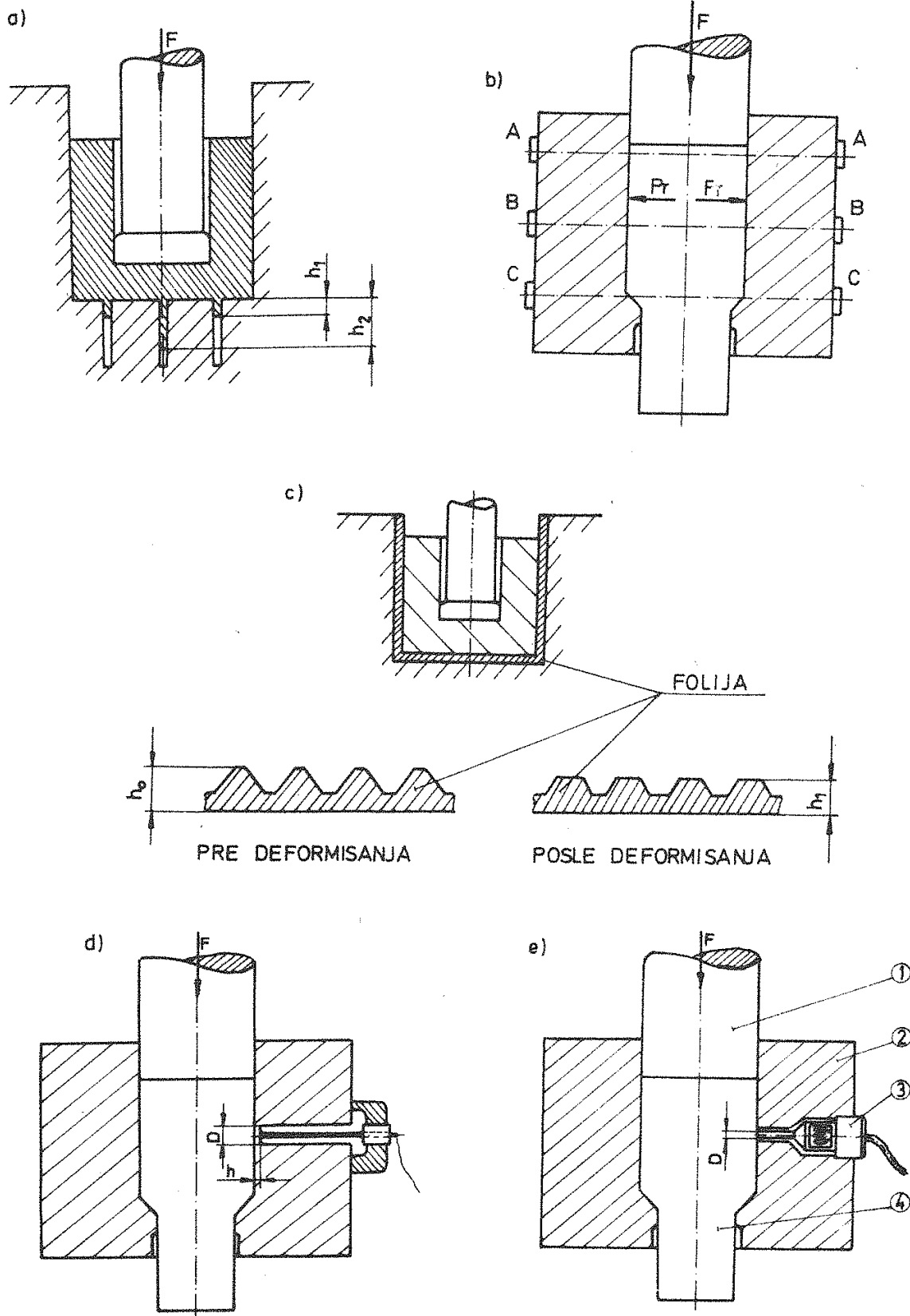
Radijalni napon na zidu matrice moguće je meriti i metodom merenja *elastičnih deformacija matrice* za vreme procesa (Sl.1b). Na spoljnjem zidu mat- rice pomoću mernih traka meri se elastično povećanje prečnika matrice na odre- djenim mestima za vreme procesa istiskivanja. Odredjenim veličinama elastičnih deformacija na pojedinim mestima zida matrice (A, B, C) odgovaraju i odredjene veličine radijalnog pritiska unutar matrice. Ova metoda, kojom je moguće anali- zirati promenu radijalnog napona za vreme izvodjenja procesa, prilično je ne- precizna. Matrica se, naime, elastično deformiše u jednoj ravni (na primer B-B), i onda ako radijalni pritisak deluje u nekoj drugoj ravni (na primer A-A). Na taj način dolazi se do pogrešnog podatka o radijalnom naponu u ravni (B-B).

Na drugačijem principu zasnovana je *metoda folije*. Na tankoj mesin- ganoj foliji izrade se odredjeni profili (Sl.1c) a zatim se sa njom oblože sve površine na alatu koje su u toku procesa u kontaktu sa materijalom. Za vreme procesa profili na folijama bivaju više ili manje deformisani već u zavisnosti od veličine kontaktnog napona. Razlika visine profila pre i posle deformisa- nja ( $h_0 - h_1$ ) predstavlja kvalitativnu meru veličine kontaktnog normalnog napona.

Objektivno ograničenje ove metode predstavlja činjenica da se meto- dom folija mogu dobiti samo maksimalne vrednosti napona na odredjenom mestu a ne i promena tog napona u toku vremena.

Princip merenja pomoću *alata sa membranom* prikazan je na slici 1d. U matrici je izradjen otvor koji se završava na rastojanju "h" od unutrašnjeg zida matrice. Na taj način obrazuje se membrana prečnika "D" i debljine "h". Delovanjem radijalnog pritiska na membranu ova se elastično deformiše a veli- čina te deformacije, koja se najčešće registruje preko induktivnog davača puta, predstavlja kvalitativnu meru radijalnog napona na zid matrice.

Osnovni nedostatak metode membranog je što se membrana deformiše i u slučaju kada pritisak ne deluje direktno na nju. Baždarenje mernog alata sa membranom relativno je složen postupak i vrši se hidrauličnim putem.



Sl. 1. Eksperimentalni načini odredjivanja kontaktnih napona u procesima hladnog istiskivanja

Jedan od najefikasnijih načina eksperimentalnog određivanja kontaktnih napona je *metoda mernog pipka*. (Sl.2e). Osnovni princip ove metode sastoji se u tome da se na određenom delu površine alata na kome se želi odrediti kontaktni napon predvidi otvor u koji se postavi merni pipak pomoću kojeg se identifikuje sila. Vrednost kontaktnog napona dobija se kao:

$$\sigma_r = \frac{F}{A} \quad (1)$$

F - sila identifikovana pomoću mernog pipka

A - veličina čeonu površine pipka.

Jasno je da se preko izraza (1) dobija srednji napon na čeonu površini pipka "A". No, kako je ta površina veoma mala u odnosu na celokupnu kontaktnu površinu, to se može govoriti o naponu u tački.

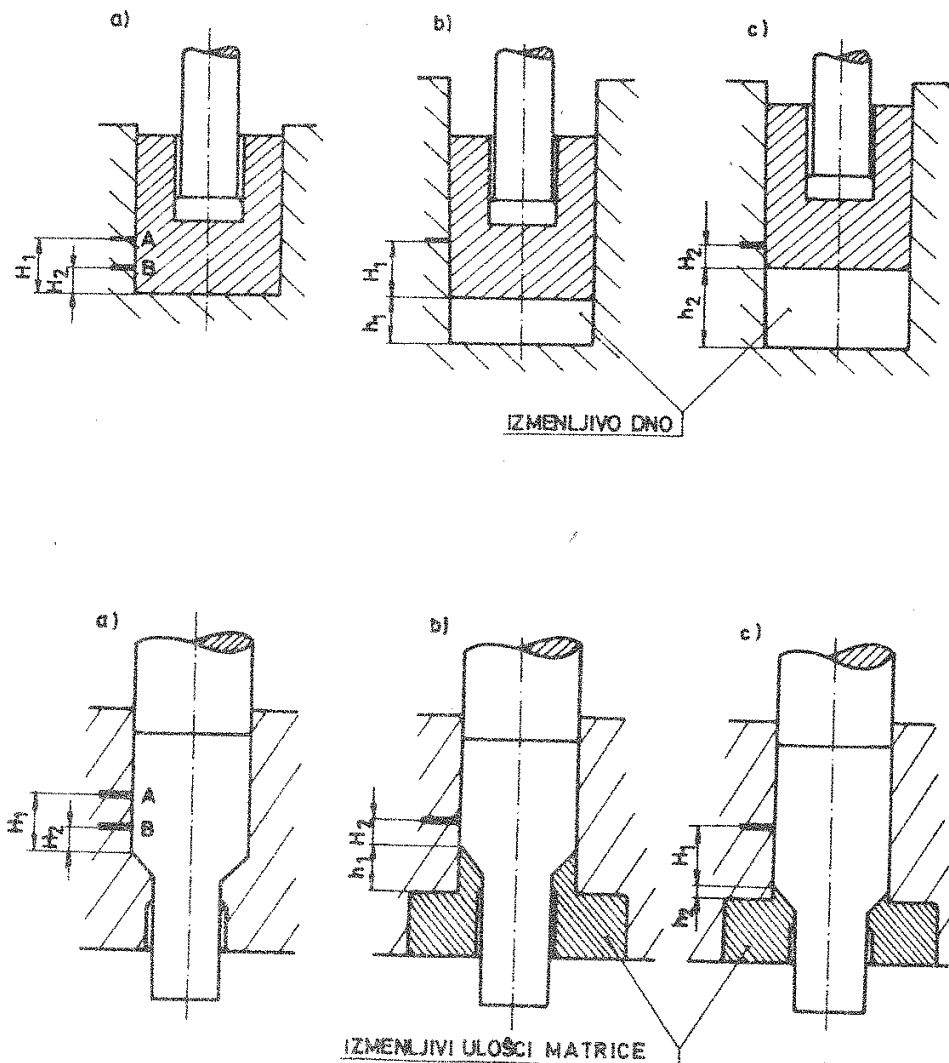
Iako i ova metoda ima svojih nedostataka (eventualni ulazak materijala u neophodan zazor između pipka i otvora u matrici, trenje i drugo) ona ipak predstavlja jednu od najznačajnijih eksperimentalnih metoda kojom je moguće meriti trenutne vrednosti radijalnog napona na raznim mestima zida matrice.

### 3. PRIKAZ IZVEDBE LABORATORIJSKOG ALATA

Laboratorijski alat za eksperimentalno određivanje radijalnog napona u procesima hladnog istiskivanja čelika izradjen je na principu mernog pipka. Osnovni zahtevi pri konstrukciji alata bili su:

- mogućnost merenja radijalnog napona po celom kontaktu alat-materijal a ne samo u jednoj tački kontakta,
- mogućnost određivanja radijalnog napona kod suprotno smernog i istosmernog istiskivanja (uz određene modifikacije alata),
- pouzdan i siguran rad alata.

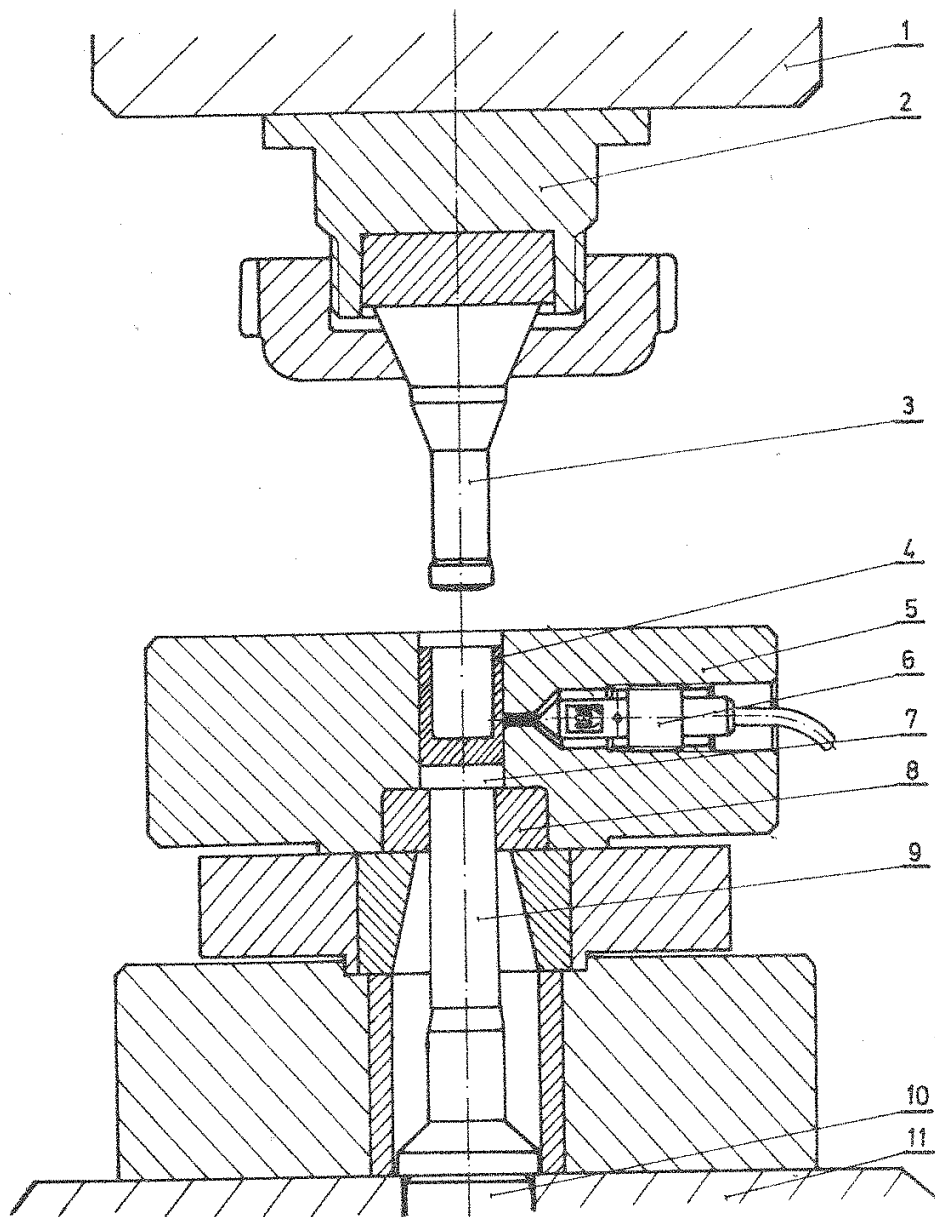
Za ispunjavanje prvog zahteva bilo bi potrebno u zid matrice ugraditi veći broj otvora sa mernim pipkom pomoću kojih bi se istovremeno merio kontaktni napon. Preliminarnim istraživanjima ustanovljeno je da zbog postojanja više otvora u zidu matrice dolazi do njenog znatnog oslabljenja čime raste opasnost od loma. Zbog toga je alat izveden sa samo jednim otvorom u matrici a identifikacija radijalnog napona na različitim mestima zida matrice postignuta je korišćenjem različitih debljina dna matrice (kod suprotno-smernog) i različitih uložaka matrice (kod istosmernog istiskivanja), slika 2.



Slika 2. Princip merenja radijalnog napona kod suprotno-smernog i istosmernog istiskivanja

Pomoću izmenljivih dna matrice različitih debljina i pomoću izmenljivih uložaka različitih visina (slike 2b. i 2c) ostvaruje se različiti relativni položaj mernog pipka u odnosu na dno, čime se postiže isti efekat kao i u slučaju istovremenog merenja sa dva pipka (slika 2a).

Na slici 3 prikazan je kompletan alat za merenje kontaktnih napona u procesu suprotno-smernog istiskivanja. Za istosmerno istiskivanje koristi se isti alat s tim što se izvrši zamena izbacivača (9), žiga (3) kao i postavljanje uložaka matrice.

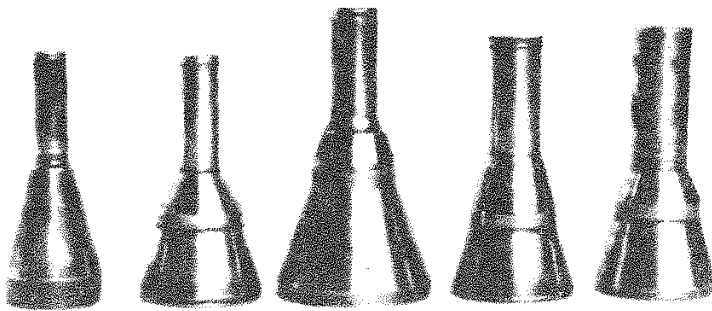


Slika 3. Laboratorijski alat za merenje kontaktnih napona u procesu suprotno-smernog istiskivanja

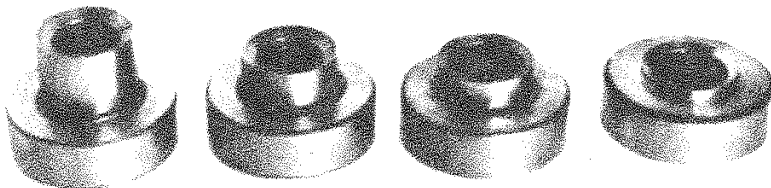
- |                       |                            |
|-----------------------|----------------------------|
| 1 - gornji sto mašine | 7 - izmenljivo dno matrice |
| 2 - nosač žiga        | 8 - dno matrice            |
| 3 - žig               | 9 - izbacivač alata        |
| 4 - obradak           | 10 - izbacivač mašine      |
| 5 - matrica           | 11 - donji sto mašine      |
| 6 - merni pipak       |                            |

Uočava se sa slike da je, za razliku od standardnih izvedbi alata za hladno istiskivanje u ovom slučaju matrica bez ojačavajućih prstenova. Razlog za to je taj što je praktično nemoguće postići podpunu koaksijalnost matrice i ojačavajućih prstenova u odnosu na osu mernog pipka. Zbog nepostojanja ojačavajućih prstenova spoljni prečnik matrice morao je biti odgovarajuće dimenzioniran.

Na slici 4 prikazan je komplet žigova za suprotno-smerno istiskivanje korišćen u eksperimentalnom odredjivanju radijalnih napona a na slici 5 komplet uložaka za istosmerno istiskivanje.



Slika 4. Komplet žigova za suprotno-smerno istiskivanje

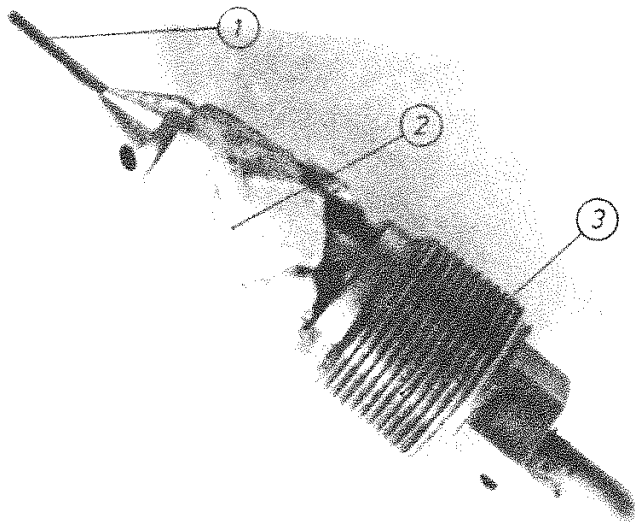


Slika 5. Komplet uložaka matrice za istosmerno istiskivanje

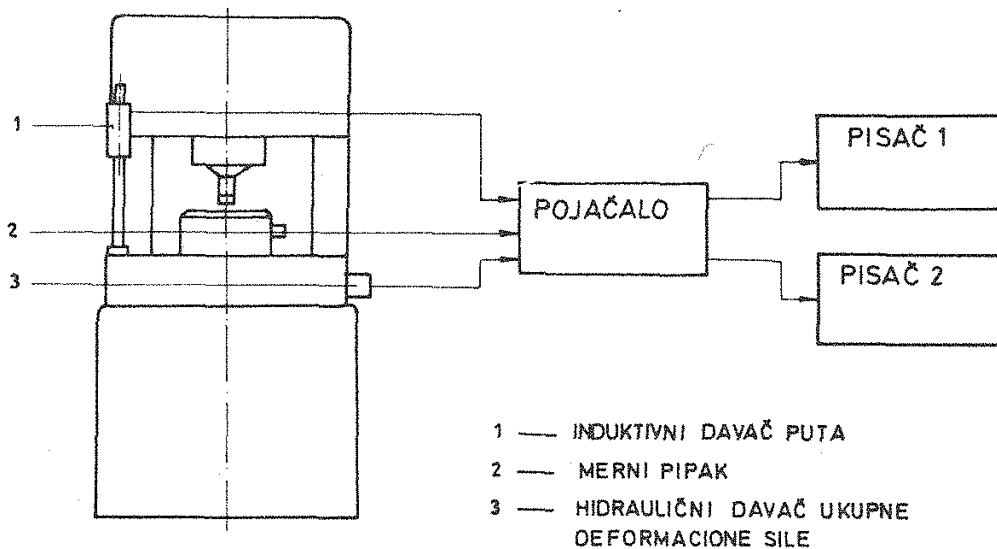
Materijal aktivnih delova alata je č.4150, poboljššan na 58-62 HRC.

Osnovni element mernog sistema ovog alata je merni pipak (slika 6). Preko njega mehanički signal (radijalna sila) pomoću mernih traka pretvara se u električni signal i preko pojačivača šalje na pisač 1 (slika 7), gde se registruje u zavisnosti od puta žiga. Put žiga meri se preko induktivnog davača puta. Pored ova dva signala za vreme procesa je registrovana i ukupna sila deformisanja i to preko hidrauličnog davača sile. I ovaj signal je pojačan i registrovan na pisaču 2.





Slika 6. Merni pipak



Slika 7. Šemarski prikaz mernog sistema

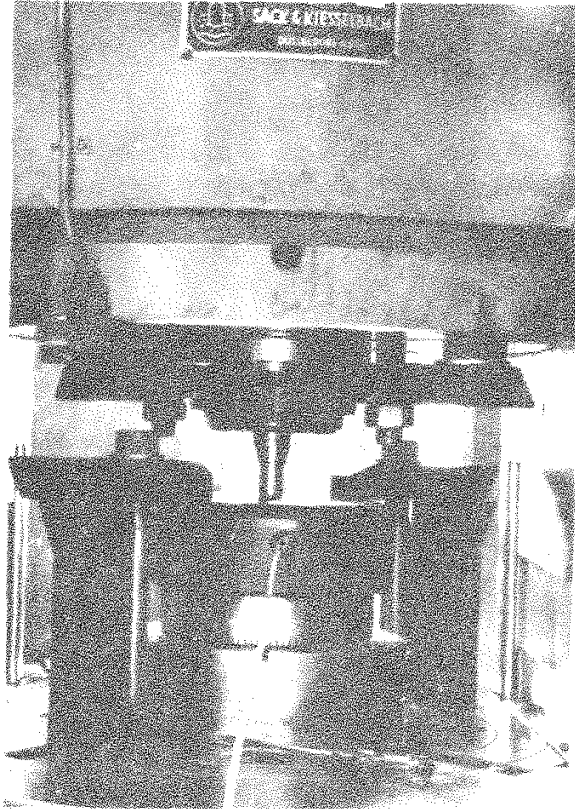
Merni pipak sadrži tri funkcionalno različita tela: cilindrički deo (1) na čiju čeonu površinu deluje radijalna sila, središnji deo (2) na kome su nalepljene merne trake i navojni deo (3) kojim se pipak pričvršćuje u telo matrice.

Od velikog je značaja za rezultate merenja veličina zazora između cilindričnog dela prička (1) i otvora u zidu matrice. Prevelik zazor omogućuje ulazak čestica materijala u prostor između pipka i matrice dok premali zazor uslovljava povećano trenje između pipka i matrice. Preliminarnim eksperimental-

nim istraživanjem u kome je bila varirana tolerancija sklopa pipak-matrica, utvrđena je tolerancija  $\emptyset 2H7/f7$  kao najbolja.

Mašina na kojoj je montiran alat i izvodjeni eksperimenti je hidraulična presa trostrukog dejstva Sack i Kiesselbach od 6300 kN.

Na slici 8 prikazan je alat za vreme izvodjenja procesa.



Slika 8. Alat za vreme izvodjenja procesa

#### 4. REZULTATI MERENJA

Pomoću prikazanog alata izvršeno je merenje radijalnog napona na zidu matrice i ukupne deformacione sile kod suprotno-smernog i istosmernog istiskivanja. Materijal uzorka bio je Č.1121 u meko žarenom stanju a dimenzije pripremača  $\emptyset 28 \times 28$ . Predhodnim eksperimentom određena je kriva deformacionog ojačavanja materijala čiji je analitički oblik:  $\sigma_e = 66 \cdot \phi^{0,23}$

Deformisanje je izvršeno sa sledećim stepenima deformacije:

- suprotno-smerno istiskivanje:  $\phi = 0,2-0,3-0,45-0,6-0,75$
- istosmerno istiskivanje:  $\phi = 0,3-0,45-0,6-0,75$

Ugao matrice kod istosmernog istiskivanja iznosio je  $2\alpha = 90^\circ$ .

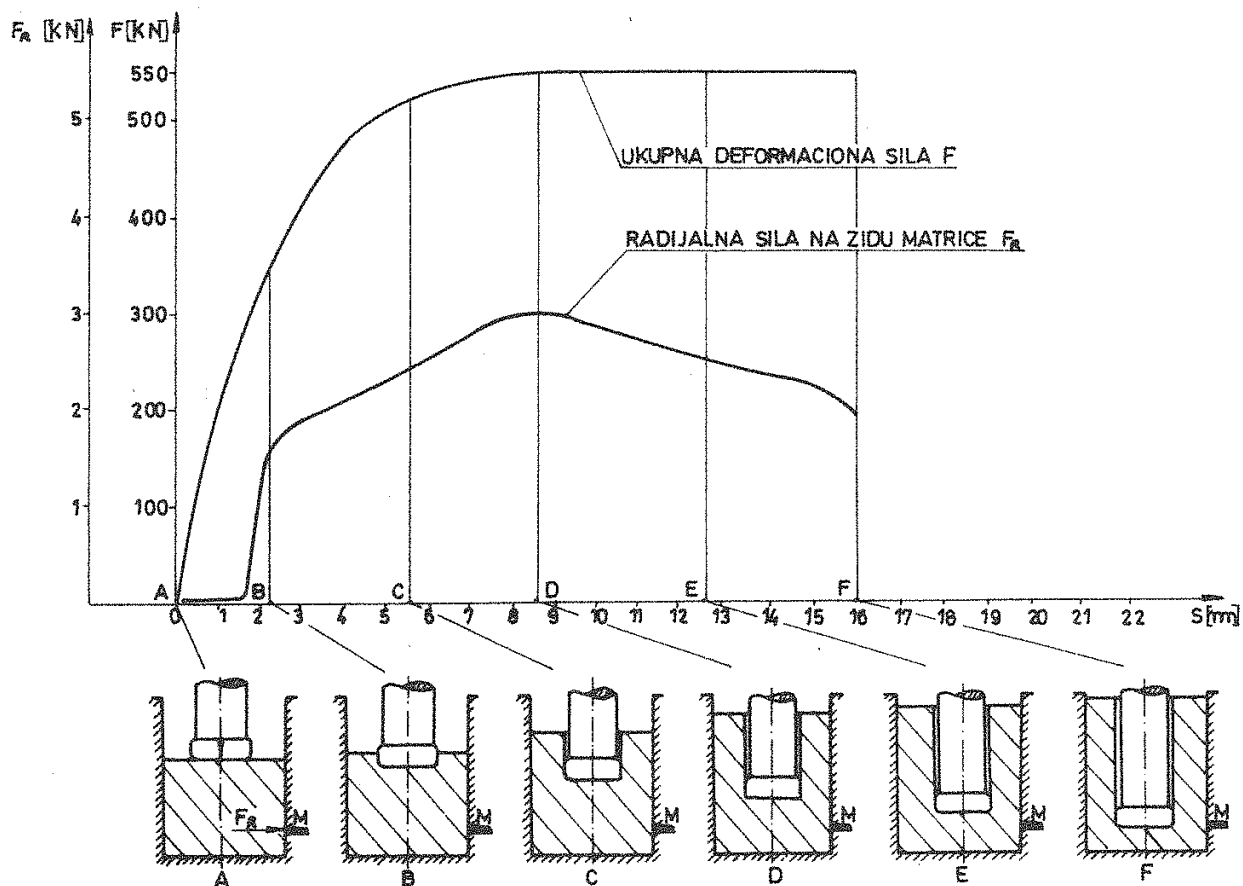
Karakterističan grafički zapis promene radijalne sile na zidu matrice i ukupne deformacione sile u procesu suprotno-smernog istiskivanja prikazan je na slici 9 a istosmernog istiskivanja na slici 10.

Kod suprotno-smernog istiskivanja (slika 9) na početku procesa (pozicija A) postoji zazor izmedju priprema i zida matrice, zbog čega merni pipak ne registruje nikakvu silu. Deformaciona sila naglo raste, da bi nakon odredjenog puta žiga matrica bila u potpunosti ispunjena materijalom. U tom trenutku počinje da raste i radijalna sila (pozicija B). Dalji tok ove sile okarakterisan je naglim rastom, da bi posle odredjenog vremena gradijent obe sile opao (pozicija C). Maksimalna vrednost sile na zidu matrice pojavljuje se u poziciji D, a nešto pre toga i ukupna deformaciona sila dostiže svoj maksimum. Nakon toga sila na mernom pipku opada sve do kraja procesa, dok deformaciona sila ostaje konstantna. Prikazani tok radijalne sile karakterističan je za sasvim odredjeno mesto na zidu matrice (tačka M, slika 9). Pomoću izmenljivih dna matrice moguće je odrediti tok radijalne sile u bilo kojoj tački na zidu matrice.

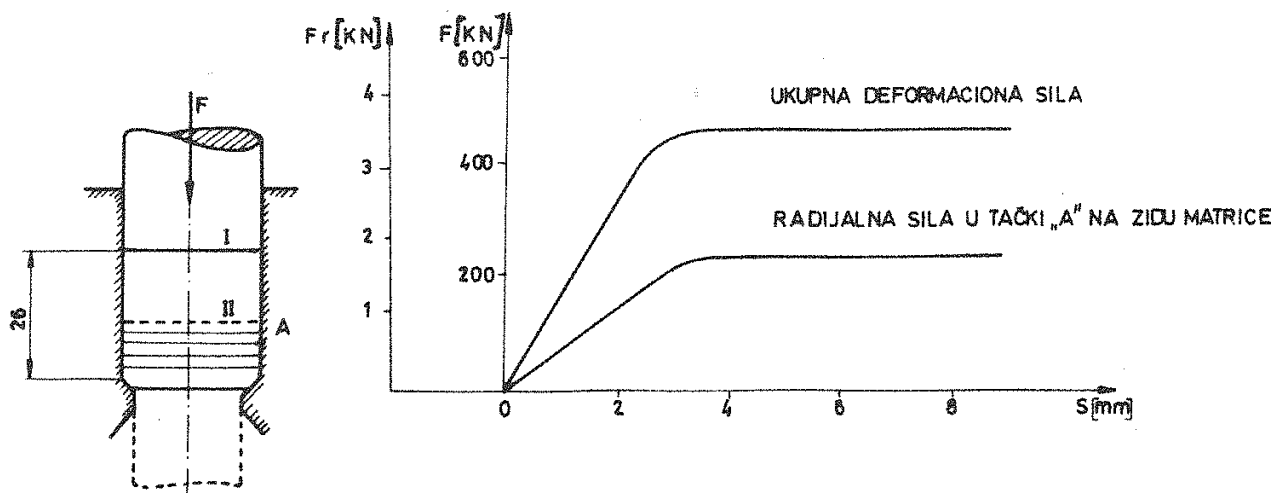
U početnom položaju žiga (I) kod istosmernog istiskivanja (slika 10) deformaciona sila i radijalni naponi u svim tačkama jednaki su nuli. Na početku hoda žiga deformaciona sila se približno linearno povećava. Radijalni naponi u ovoj fazi pokazuju veoma blag porast, što se može objasniti činjenicom da se u toj fazi vrši popunjavanje neophodnih zazora izmedju materijala i zida matrice. Tek pošto je taj zazor ispunjen dolazi do znatnog porasta " $\sigma_r$ ". Nakon odredjenog hoda žiga proces ulazi u stacionarnu fazu u kojoj i deformaciona sila i radijalni napon poprimaju približno konstantne vrednosti.

## 5. ZAKLJUČAK

U radu su prikazane neke mogućnosti eksperimentalnog odredjivanja kontaktnih napona u procesima hladnog istiskivanja. Na bazi metode mernog pipka konstruisan je i izveden laboratorijski alat za merenje radijalnih kontaktnih napona na zidu matrice u procesima suprotno-smernog i istosmernog istiskivanja



Slika 9. Ukupna deformaciona sila i sila na zidu matrice u toku procesa



Slika 10. Tok deformacione sile i radijalnog napona na zidu matrice za vreme procesa istosmernog istiskivanja

čelika. Alat omogućuje merenje ne samo maksimalnih radijalnih napona nego i promenu " $\sigma_r$ " u toku vremena. Alat sadrži samo jedan merni pipak a promena relativnog položaja mernog mesta na zidu matrice od čela žiga u cilju odredjivanja toka a ne samo maksimalnih vrednosti " $\sigma_r$ " postignuta je korišćenjem promenljivih dna i uložaka matrice.

Rezultati eksperimentalnih istraživanja kontaktnih napona mogu poslužiti kako prilikom projektovanja alata tako i prilikom teorijske analize procesa istiskivanja.

Dalji korak na usavršavanju prikazanog alata predstavljalo bi merenje kontaktnih napona u koničnom delu matrice kod istosmernog istiskivanja kao i merenje aksijalnih kontaktnih napona, što bi se moglo postići ugradnjom mernog pipka u žig.

#### LITERATURA

- [1] Dohmann, F.: "Die Messung der mechanischen Kontaktspannung in der Wirkfuge Werkzeug-Werkstück bei Umformverfahren", Bericht aus dem IFU, Nr.27, Stuttgart, 1974.
- [2] Henke, K.: "Radialdruckverteilung an der Pressbuchsenwand beim Rückwärtsfließpressen", Dr.teza TU Clausthal, 1974.
- [3] Bönivsch, J.: "Radialspannungsermittlung beim Rückwärts-Napffließpressen", Dr.teza TU Dresden, 1968.