

IZRADA ELEMENATA NESTIŠLJIVIM FLUIDOM  
SA PRIDRŽIVAČEM"

Mr Vojislav R. STOILJKOVIĆ, dipl.ing.  
asistent Mašinskog fakulteta u Nišu

1. Uvod

Izrada elemenata nestišljivim fluidom po drugoj klasi postupka /1,2/ (kalup je čvrst, a nosilac deformacione sile je fluid) ima nekih nedostataka. Zato ovaj postupak nije našao širu primenu u industriji. Dodavanjem pridržiivača na centralnom delu predmeta rada poboljšava se deformaciona šema (smanjuje se stanjenje na tom delu) i menja shema naponskog stanja u odnosu na izvlačenje bez pridržiivača. Time se stvaraju mogućnosti za intenzivnijim uvodjenjem ovog postupka u industriju i za njegovo približavanje, po povoljnim karakteristikama, postupku izrade elemenata po četvrtoj klasi.

---

" Ovaj rad predstavlja deo naučno-istraživačkog projekta ISTRAŽIVANJE NA POLJU OSVAJANJA TEHNOLOGIJE IZRADA PREDMETA RADA METODOM IZVLAČENJA NESTIŠLJIVIM FLUIDOM, u čijem finansiranju učestvuju Republička zajednica nauke Srbije i Fond za naučni rad Skupštine opštine Niš.

U ovom radu se najpre navode karakteristike pojedinih postupaka izrade elemenata od lima dubokim izvlačenjem, a zatim se detaljno analizira izrada elemenata po drugoj klasi postupaka /1/ sa primenom pridržiivača. Analiziranjem sile na pridržiivaču daje se predlog za zakon promene te sile u procesu izvlačenja. Iz shema sile koje se javljaju pri izvlačenju izvode se zaključci o prednostima i nedostacima izvlačenja elemenata sa pridržiivačem.

## 2. Poredjenje postupaka izvlačenja elemenata

Po klasifikaciji postupaka izrade elemenata u funkciji vida sredine koja se koristi kao nosilac deformacione sile ili kao nosilac oblika postoje četiri klase postupaka /1,7/:

- postupak prve klase - klasično izvlačenje,
- postupak druge klase u koga je nosilac deformacione sile fluid, a nosilac oblika čvrst kalup,
- postupak treće klase u koga su i nosilac oblika i nosilac deformacione sile fluid, i
- postupak četvrte klase u koga je nosilac oblika i deformacione sile čvrst izvlakač, a kalup je fluid pod pritiskom.

### 2.1. Klasično izvlačenje - postupak prve klase

Klasično izvlačenje je detaljno rasmatrano u literaturi /3, 4,5,6/ tako da su poznate karakteristike ovog postupka izrade elemenata. Iz tog razloga se te karakteristike ovde detaljno ne navode.

### 2.2. Izrada elemenata po trećoj klasi postupaka

Pri izradi elemenata po trećoj klasi postupaka /7/ teško je postići zahtevani oblik i dimenzije izvučenog dela, jer su iste funkcija razlike pritisaka  $p_1$  koji deluje sa strane izvlakača i  $p_2$ , koji deluje sa strane kalupa. Ovo je razlog da ovaj postupak nije našao širu primenu u industriji, pa se ovde detaljno ne rasmatra.

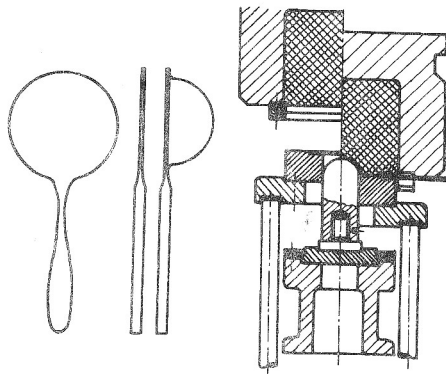
### 2.3. Izrada elemenata po četvrtoj klasi postupaka

Ova klasa postupaka izrade elemenata od lima je do sada najviše izučavana, tako da postoji veći broj objavljenih radova /7,

8,9,10,11,12/. Najčešće se u literaturi sreće pod sledećim nazivima:

- marform postupak,
- hidroform postupak, i
- hidromehanički postupak.

Marform postupak /12/ shematski je prikazan na slici 1. Alat za oblikovanje po ovoj metodi ima kao kalup elastični jastuk od veštačke materije /najčešće od gume), koji je ugradjen u jednom kućištu. Prilikom kretanja gornjeg dela alata pritiska guma na predmet rada i deformiše lim. Držač lima, koji deluje određenom silom, sprečava stvaranje nabora. Zbog habanja jastuka najgornji sloj gume je izmenljiv. Elastični jastuci se ne mogu oblikovati

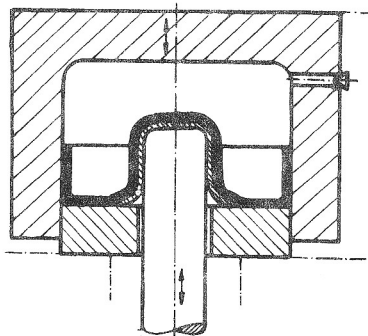


Slika 1

po želji, a dubina izvlačenja je ograničena. Veliki deo deformacione sile pritiskivača koristi se za elastične deformacije jastuka. Sile prese koje nastaju su zbog toga visoke.

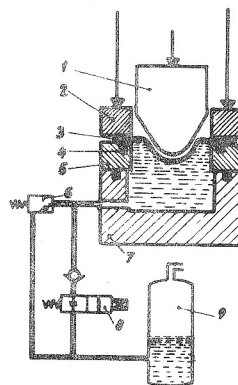
Hidroform postupak shematski je prikazan na slici 2. U ovom postupku je prsten za izvlačenje zamenjen hidrauličnim jastukom, koji je zatvoren gumenom membranom. Pritisak fluida u gumenom jastuku reguliše se, za vreme procesa izvlačenja, preko regulacionog ventila.

Primena ove metode ima poteškoća zbog regulisanja pritiska u jastuku. Ovaj pritisak treba da je dovoljno visok da spreči stvaranje nabora na limu, a sa druge strane nesme da dovede do kidanja (razaranja) predmeta rada.



Slika 2

Hidromehanički postupak dubokog izvlačenja shematski je prikazan na slici 3. Alat za ovo izvlačenje razlikuje se od alata za hidroform postupak time što je opremljen čvrstim prstenom za izvlačenje koji je postavljen na pritiskom jastuku, i po tome što je umesto zaptivne membrane postavljen zaptivač u žljeb prstena za izvlačenje. Prsten za izvlačenje nije identičan sa prstenom za izvlačenje u klasičnom alatu. Njegov otvor približno odgovara spoljašnjoj konturi radnog predmeta (ima nešto uvećane dimenzije) tako da lim ne klizi po unutrašnjoj površini otvora.



Slika 3

Regulisanje pritiska je jednostavnije u odnosu na hidroform postupak. Za izradu većine delova dovoljno je jedno podešavanje pritiska za vreme celog postupka izvlačenja. Navedena ispitivanja /7/ pokazuju da za izvlačenje cilindričnih delova sa odnosom izvlačenja  $k = D_0/d \leq 2,0$  pritisak tečnog kalupa može da se zadrži kao konstantan po hodu izvlakača i ravan: za duraluminijum 350-450 (kp/cm<sup>2</sup>); za aluminijum 250-300 (kp/cm<sup>2</sup>); za čelik X18H97 900-1000 (kp/cm<sup>2</sup>) i za čelik 20 500-800 (kp/cm<sup>2</sup>). Za necilindrične delove ne preporučuje se izrada pri konstantnom pritisku fluida u kalupu, naročito ako su u početku izvlačenja veći zazori izvlačenja. U ovim slučajevima treba pritisak fluida u kalupu da bude male vrednosti u početku izvlačenja. Ako to nije podešeno, limo je pritisak veći, doći će do ispupčenja lima naviše pod dejstvom pritiska fluida.

Hidromehanički postupak izvlačenja nije još uvek potpuno ispitivan. Ipak, na osnovi postojećih rezultata /7,12/ može se uzeti za cilindrične delove od visokolegiranog lima odnos izvlačenja, koji je ostvarljiv u proizvodnji,  $k = 2,4 + 2,5$ . Duboko izvlačenje kvalitetnih i mesinganih limova dopušta  $k = 2,7$ . Veće vrednosti važe za srednje vrednosti  $d/s$ .

### 2.3.1. Analiza sila

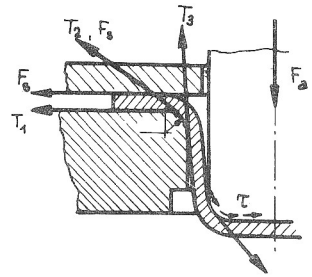
Zbog uporedne preglednosti i navodjenja povoljnosti koje pruža izvlačenje elemenata od lima nestišljivim fluidom po četvrtoj klasi postupaka u odnosu na klasično izvlačenje prikazuju se sile

koje se javljaju pri klasičnom izvlačenju.

Pri izvlačenju u klasičnom alatu deformaciona sila koju prenosi izvlačač, troši se na savladjivanju sledećih sila (slika 4):

- $F_e$  - sila plastične deformacije venca elementa,
- $T_1$  - sila trenja na kontaktnoj površini izmedju materijala (lima) i kalupa i lima i držača lima,
- $T_2$  - sila trenja na kontaktnoj površini izmedju materijala i zaobljene ivice prstena za izvlačenje,
- $T_3$  - sila trenja izmedju materijala i zida kalupa u izvlaćem radijusu, i
- $F_s$  - sila otpora savijanja i ispravljanja elemenata na zaobljenoj ivici prstena za izvlačenje.

U poredjenju sa veličinom ukupne sile trenja  $F_{tr}$ , komponente  $T_1$ ,  $T_2$  i  $T_3$  mogu približno da se izraze u vidu odnosa  $/7/$ :  $T_2 \approx 0,75 F_{tr}$ ,  $T_1 \approx 0,2 F_{tr}$  i  $T_3 \approx 0,05 F_{tr}$ . Vidi se da je sila trenja  $T_3$  najmanja i dosta mala, pa se pri analizi naponskog stanja često zanemaruje.



Slika 4

Pri izvlačenju elemenata po četvrtoj klasi postupaka deformaciona - aktivna - sila troši se na savladjivanje sledećih sila (slika 5):

- $F_e$  - sila plastične deformacije venca elementa,
- $T_1/2$  - sila trenja na kontaktnoj površini lima i držača (odsustvuje trenje izmedju lima i prstena za izvlačenje)
- $F_s$  - sila otpora savijanja i ispravljanja elemenata na zaobljenoj ivici prstena za izvlačenje.

U ovog postupka izvlačenja javljaju se i sile koje pozitivno utiču na proces izvlačenja, odnosno smanjuju radijalni napon istezanja u cilindričnom delu predmeta rada, čime omogućuju postizanje većih odnosa izvlačenja. Te sile su:

- $T_3$  - sila trenja koja se javlja izmedju predmeta rada i izvlačača usled dejstva pritiska fluida, a koja omogućuje blokiranje predmeta rada uz izvlačač, i
- $F_v$  - sila izazvana dejstvom pritiska fluida na spoljašnju ivicu predmeta rada.

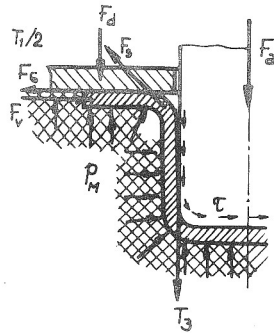
Sila na izvlačkaču treba, pored gore nabrojanih sila, da savlada silu koja se javlja usled dejstva pritiska fluida na čelo izvlačkača. Ta sila je data izrazom:

$$F_p = p_M \cdot A_{iz}$$

gde su:

- $p_M$  pritisak fluida u kalupu (matrici)
- $A_{iz}$  površina projekcije izvlačkača na horizontalnu ravan.

Sila držanja lima  $F_p$  izazvana dejstvom pritiska fluida na čelo izvlačkača poboljšava uslove deformisanja predmeta rada.



Slika 5

Poredjenjem sila koje se javljaju kod klasičnog izvlačenja, i sila koje se javljaju pri izvlačenju elemenata od lima po četvrtoj klasi postupaka može da se konstatuje da je drugi postupak daleko povoljniji. Zbog manjih vrednosti sile trenja (neke potpuno odsustvuju) pri izvlačenju po četvrtoj klasi postupaka javljaju se, pri istim ostalim uslovima, manji radialni naponi istezanja. Ovo znači da ovim postupkom mogu da se ostvare veći odnosi izvlačenja pto je bitno pri izvlačenju.

Izrada elemenata od lima po četvrtoj klasi postupaka našla je širu primenu u industiji, jer poseduje pozitivne osobine kojih nema u klasičnom postupku izvlačenja. Te dobre strane su:

1. Prisustvo korisnih sila trenja između izvlačkača i predmeta rada, koje se javljaju kao rezultat pritiskivanja predmeta rada uz površinu izvlačkača pritiskom fluida.
2. Odsustvo znatnih sila štetnog trenja između predmeta rada i kalupa.
3. Visoka tačnost dimenzija izvučenih delova i visok kvalitet površina.
4. Potreban manji broj operacija izvlačenja u odnosu na klasično izvlačenje.
5. Pozitivno dejstvo sila trenja koje se ogleda u sprečavanju pomeranja predmeta rada relativno izvlačkaču, naročito pri izvlačenju složenih i nesimetričnih delova.

Nedostaci ovog postupka izvlačenja, koji unekoliko ograničavaju njegovu primenu, ogledaju se u potrebi stvaranja visokih pri-

tisaka i njegovoj regulaciji za vreme izvlačenja, kao i u primeni specijalnih presa.

#### 2.4. Izrada elemenata po drugoj klasi postupaka

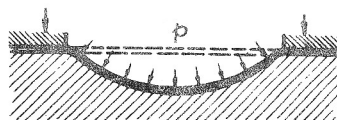
Ova klasa postupaka do sada nije obimno izučavana. Radovi iz ove oblasti mogu da se nadju u literaturi /7,2,16,17,18,19/. Ovaj postupak je našao dosta primenu za ispitivanje obradivosti lima pri hidrostatičkom dvoosnom istezanju /13,14,15/.

Izrada elemenata od lima dubokim izvlačenjem po drugoj klasi postupaka u osnovi može da se podeli na dve metode:

- izvlačenje elemenata bez pomeranja venca elementa, i
- izvlačenje elemenata sa pomeranjem venca elementa.

Pri izvlačenju elemenata bez pomeranja venca elementa (slika 6) mogu da se ostvare stepeni deformacije  $0,5 \leq \varphi \leq 0,7$  koji su veći od stepena deformacije pri jednoosnom istezanju ( $\varphi \leq 0,3$ ), ali

manji od stepena deformacije koji mogu da se dostignu pri izvlačenju sa pomeranjem venca elementa /14/. Iz tog razloga se ovaj postupak manje koristi za izradu



Slika 6

elemenata, sem za neka plića izvlačenja i oblikovanja, a više za ispitivanje obradivosti lima, odnosno za snimanje krivih očvršćavanja. Ovim postupkom se mogu kontinualno da snimaju krive očvršćavanja /14/ do većih stepena deformacije nego što je to slučaj sa probom na istezanje. Do sada je objavljen veći broj radova iz ove oblasti i to kako teorijskih tako i eksperimentalnih.

Postupci izvlačenja elemenata od lima sa pomeranjem venca elementa i bez pomeranja venca elementa mogu da se izvedu:

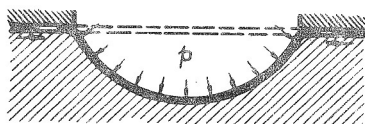
- sa neposrednim dejstvom fluida na lim, i
- sa posrednim dejstvom fluida na lim preko gumene membrane.

U radu se nadalje rasmatraju oba slučaja kod druge klase.

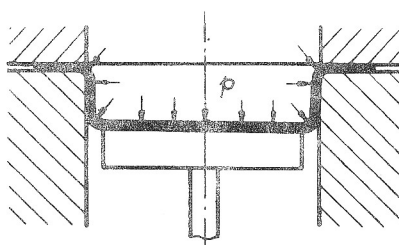
Pri izvlačenju elemenata od lima po drugoj klasi postupaka sa pomeranjem venca elementa (slika 7) uočavaju se četiri varijante:

- izvlačenje elemenata bez pridrživača,

- izvlačenje elemenata sa pokretnim pridržiivačem,
  - izvlačenje elemenata sa primenom protivpritiska fluida, koji se saopštava sa suprotne strane predmeta rada - sa strane kalupa (ovaj postupak je debie naziv postupak Kranenberga), i
  - izvlačenje elemenata sa primenom nepokretnog profilisanog pridržiivača - reverzibilno izvlačenje.
- Izvlačenje elemenata bez pridržiivača shematski je prikazano



Slika 7



Slika 8

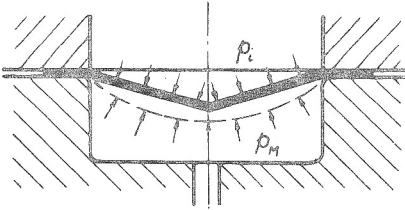
slici 7. Analiza procesa deformisanja elemenata od lima pri dubokom izvlačenju po drugoj klasi rasmatrna je u radovima /2,17/. Pitanje odredjivanja potrebnog pritiska fluida za izvlačenje tretirano je u radovima /7,2,18/, a deformativno stanje elementa obrađeno je u radovima /2,19/.

Izvlačenje elemenata sa primenom pokretnog pridržiivača shematski je prikazano na slici 8, a nadalje će biti detaljno rasmatrane.

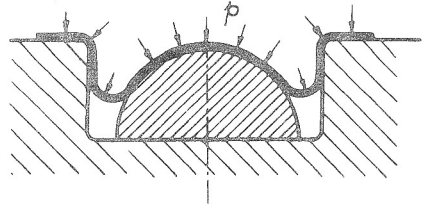
Izvlačenje elemenata od lima sa primenom protivpritiska (slika 9) - postupak Kranenberga - predstavlja izvesno poboljšanje u odnosu na izvlačenje bez pridržiivača, čiji je glavni nedostatak veliko relativno stanjenje lima na centralnom delu predmeta rada. Pri postupku Kranenberga pritisak sa strane kalupa  $p_M$  je manji od pritiska sa strane izvlakača  $p_i$  za veličinu koja omogućuje plastičnu deformaciju predmeta rada. Relativno stanjenje lima kod izvlačenja sa protivpritisakom je manje /7/ u odnosu na izvlačenje bez pridržiivača. Ovo je posledica drugojačijeg deformisanja (manja se radijus krivine srednje površine) i smanjenja dejstva iste-



žućih napona u opasnom preseku. Sa druge strane su sile trenja u ovog postupka manje nego kod izvlačenja bez pridržiivača.



Slika 9



Slika 10

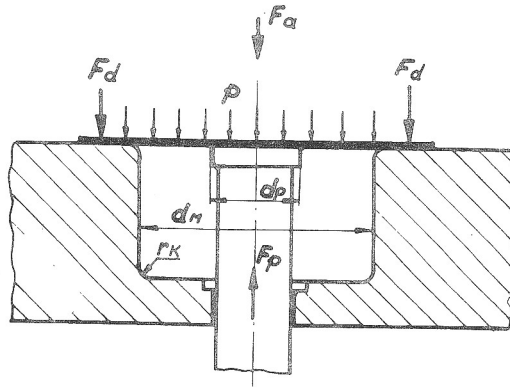
Izvlačenje elemenata sa primenom nepokretnog profilisanog pridržiivača (slika 10) ostvaruje se u dve operacije /7,20/. U prvoj operaciji se deformiše venac elementa i formira se oblik koji odgovara profilisanom pridržiivaču. U drugoj operaciji se prevrće kontura dobijena u prvoj operaciji na željeni oblik. Zbog ovoga je ovaj postupak poznat u literaturi kao reverzibilno izvlačenje. Dejstvo pritiska fluida na lim blokira u prvoj operaciji centralni deo predmeta rada na profilisanom pridržiivaču silom trenja koja se javlja. To sprečava veće plastične deformacije na središnjim delu elementa.

Primenom reverzibilnog izvlačenja izrada elemenata po drugoj klasi može da dobije širu industrijsku primenu obzirom da se dobija vrlo ujednačena debljina lima (malo relativno stanjenje lima). Izrada elemenata sa primenom protivpritiska, kao i reverzibilno izvlačenje predstavljaju postupke kojima se otklanjaju nedostaci u odnosu na izvlačenje bez pridržiivača.

Izrada elemenata po drugoj klasi postupaka sa primenom pokretnog pridržiivača predstavlja takodje jedan vid intenzifikacije ovog postupka. Ovaj postupak (slika 11) je do sada malo obradivan u literaturi. U knjizi profesora Isačenkova /7/ navodi se samo kao jedna od mogućnosti za poboljšanje izvlačenja po drugoj klasi postupaka.

Primenom pridržiivača blokira se centralni deo predmeta rada izmedju pridržiivača sa jedne strane i fluida sa druge strane. Na taj način se povećava "noseća sposobnost" centralnog dela, odnosno sprečava se stanjenje lima koje je naročito izraženo u postu-

paka bez pridržiivača, a opasni presek se pomera ka vencu elementa.

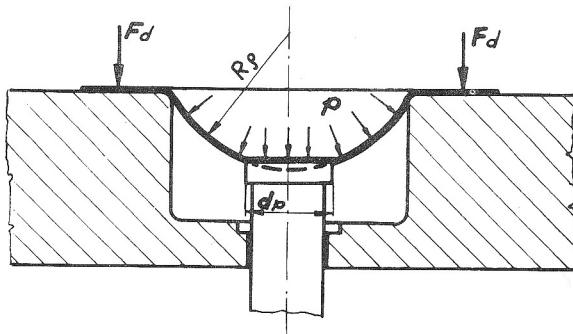


Slika 11

Pri izvlačenju sa primenom pridržiivača isti se pomera pod dejstvom pritiska fluida. Pritisak fluida, kao normalna komponenta na ravan pridržiivača, izaziva pojavu korisne sile trenja u toj ravni i sprečava pomeranje predmeta rada. Ovo omogućuje dobijanje simetričnih delova što nije uvek slučaj kod izvlačenja bez pridržiivača /7,2/. Namera je autora da u ovom radu da i analizu postupaka izrade elemenata dubokim izvlačenjem po drugoj klasi postupaka sa pridržiivačem.

### 3. Određjivanje veličine sile pridržiivača

Izrada elemenata od lima dubokim izvlačenjem po drugoj klasi postupaka sa pomeranjem venca elementa i sa primenom pokretnog pridržiivača prikazana je na slici 12. Pod dejstvom pritiska fluida,



Slika 12

u zavisnosti od veličine sile pridržiivača, pridržiivač se pomera ili se ne pomera. Prema tome, veličina sile pridržiivača kreće se u granicama:

$$0 \leq F_p \leq p \cdot A_p$$

gde su:

- p pritisak fluida sa strane izvlačka, i
- $A_p = \pi \cdot d_p^2 / 4$  površina pridržiivača.

Ukoliko je  $F_p = 0$  postupak se svodi na izvlačenje bez pridržiivača, a ukoliko je  $F_p > p \cdot A_p$  postupak prelazi u reverzibilno izvlačenje.

Prečnik pridržiivača može da se menja u granicama:

$$0 \leq d_p < d_M$$

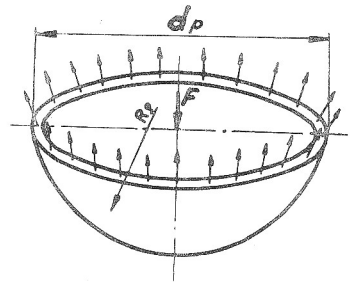
U slučaju kada je  $d_p = 0$  postupak se svodi na izvlačenje bez pridržiivača.

U nekom trenutku procesa deformisanja (slika 12) predmet rada je pod dejstvom pritiska fluida umanjio radijus krivine u meridijanskom preseku od vrednosti  $R_p = \infty$ , na početku izvlačenja, do vrednosti  $R_p$ . Ova promena nastala je samo na delu gde ne deluje pridržiivač, dok je na delu gde deluje pridržiivač radijus ostao nepromenjen ( $R_p = \infty$ ). U slučaju da nema pridržiivača radijus krivine u meridijanskom preseku bi bio po celom preseku  $R_p$  (slika 13).

Postavlja se pitanje kolikom silom treba delovati na pridržiivaču da bi lim ostao ravan (ne deformisan) na prečniku  $d_p$ . Veličina ove sile može da se odredi iz uslova deformisanja dela šuplje površine na prečniku  $d_p$ .

U slučaju da nema pridržiivača za deformisanje dela površine predmeta rada nad prečnikom  $d_p$  (slika 13) potrebno je utrošiti izvesnu silu F. Ova sila može da

se odredi iz uslova deformisanja tog dela. Ako sada želimo da sprečimo deformisanje tog dela lima iznad pridržiivača treba na pridržiivač delovati silom F. Prema tome, sila pridržiivača  $F_p$  treba da je jednaka sili F koja se troši na deformisanje centralnog de-



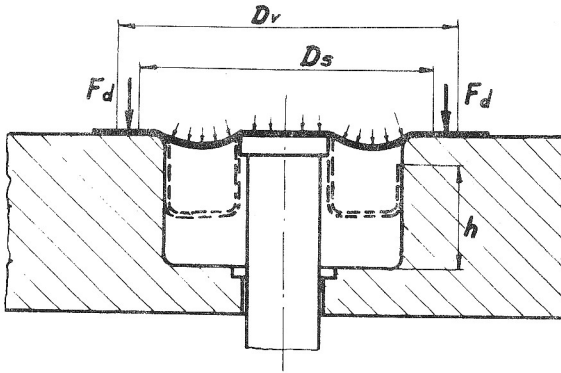
Slika 13

la predmeta rada nad prečnikom  $d_p$  od radijusa  $R_p = \infty$  do  $R_p$ .

Sila  $F$  raste sa smanjenjem vrednosti radijusa  $R_p$ . Ovo znači da sila  $F_p$  treba da bude promenljiva u hodu izvlačenja od nule do neke maksimalne vrednosti na kraju prve faze izvlačenja /17/. Promena sile pridržiavača po zakonu promene sile  $F$  predstavlja idealan slučaj sa aspekta izvlačenja predmeta rada. Kako je teško regulisati silu  $F_p$  predlaže se da se ova vrednost uzme konstantna u toku izvlačenja i jednaka sili  $F$  na kraju prve faze izvlačenja.

Ukoliko je u toku procesa izvlačenja sila na pridržiavaču  $F_p$  manja od sile  $F$  neće se zadržati prvobitni radijus krivine predmeta rada na celom prečniku  $d_p$  već na nekom manjem prečniku  $d < d_p$ .

Ukoliko je u toku procesa izvlačenja sila na pridržiavaču veća od sile  $F$ , odnosno ukoliko je  $F_p > p \cdot A_p$ , deformisaće se prstenasti deo predmeta rada na prečniku  $(d_M - d_p)$ . Ovaj deo dobija neki radijus krivine u meridijanskom preseku i prelazi u torus (slika 14). Ako je sila  $F_p$  i dalje veća od spoljašnjih sila  $(p \cdot A_p)$  na-

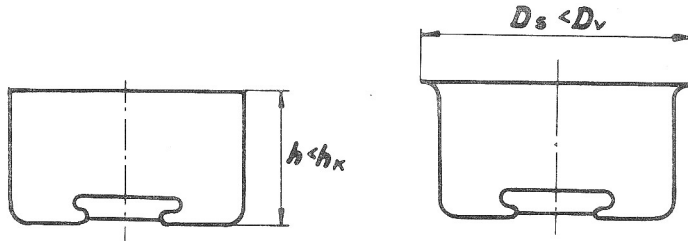


Slika 14

staviće se deformisanje torusnog dela elementa (isprekidana linija na slici 14), do trenutka dok se sile ne uravnoteže ( $F_p = p \cdot A_p$ ). Od tog trenutka počinje pridržiavač da se pomera. Nadalje je interesantna sledeća analiza.

Pretpostavimo da se venac elementa deformisao do prečnika  $D_s$  (slika 14) koji je manji od zahtevanog prečnika venca  $D_v$  na gotovom predmetu rada (ako je izvlačenje sa vencem), ili se dobila visina dela  $h > h_k$  ( $h_k$  je krajnja visina na gotovom delu pri izvlače-

nju bez venca). Ovo znači da je na centralnom delu predmeta rada izvučena veća površina u odnosu na površinu gotovog predmeta rada. Kada od trenutka  $F_p = p \cdot A_p$  nastupi kretanje pridržiivača doći će do gužvanja lima. Lim postaje nestabilan jer se, zbog viška deformisanog materijala, javlja radijalni napon pritiska. Usled ovoga može da se dobije predmet rada na kraju izvlačenja kao na slici 15.



Slika 15

Neka se je venac elementa deformisao do prečnika  $D_s$  koji je jednak zahtevanom prečniku venca  $D_v$  (kod izvlačenja sa vencem), ili se dobila visina dela  $h = h_k$ . U ovom slučaju od trenutka  $F_p = p \cdot A_p$  dolazi do prevrtanja lima, odnosno imamo reverzibilno izvlačenje u jednom hodu.

Najzad ako je  $D_s > D_v$ , ili  $h < h_k$  za vreme pomeranja pridržiivača nastupiće jednovremeno prevrtanje lima i deformisanje venca predmeta rada.

Napominje se da prednja rasmatranja važe za slučaj kada je prečnik pridržiivača  $d_p$  manji od prečnika kalupa  $d_M$ . Ovde je kroz slike rasmatran cilindrični elemenat, a ista analiza važi i za konični ili neki drugi oblik.

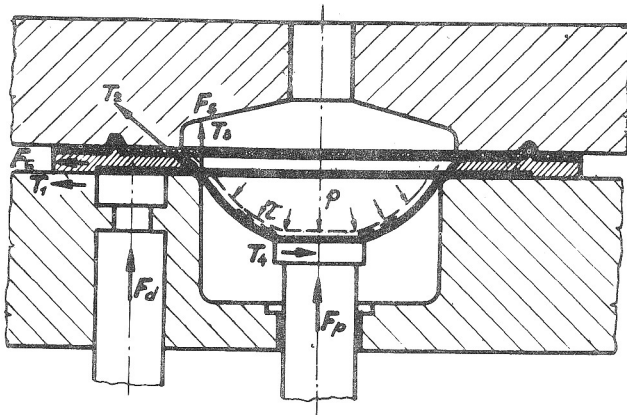
#### 4. Analiza sila pri izvlačenju sa pridržiivačem

Izrada elemenata od lima dubokim izvlačenjem po drugoj klasi postupaka sa pridržiivačem može da se izvodi, kao što je napred rečeno, sa neposrednim dejstvom fluida na lim, ili sa posrednim dejstvom preko gumene membrane. Kako se sile, koje se javljaju u procesu izvlačenja, razlikuju za ova dva slučaja to se posebno rasmatraju. Niže se daje ta analiza za slučaj optimalne sile na pri-

drživaču ( $F_p = F$  na kraju prve faze izvlačenja).

#### 4.1. Izvlačenje sa gumenom membranom

Pri izvlačenju elemenata od lima sa primenom pridržiivača, a za slučaj da fluid deluje na lim preko gumene membrane, javljaju se sledeće sile (slika 16):



Slika 16

- $F_6$  - sila plastične deformacije venca elementa,
- $T_1$  - sila trenja na kontaktnoj površini lima i kalupa i lima i držača lima,
- $T_2$  - sila trenja na kontaktnoj površini između materijala i zaobljene ivice prstena za izvlačenje,
- $T_3$  - sila trenja od dopunskog držanja lima na zid kalupa pritiskom fluida,
- $T_4$  - sila trenja na kontaktnoj površini između lima i pridržiivača i lima i gumene membrane, i
- $F_s$  - sila otpora savijanja i ispravljanja elementa na zaobljenoj ivici kalupa.

Gore pobrajane sile su posledica dejstva spoljašnjih sila, a te sile su:

- $F_a = p \cdot A - F_p$  - deformaciona sila kojom fluid dejstvuje na materijal,
- $F_p$  - sila na pridržiivaču, i
- $F_d$  - sila na držaču.

U gornjem izrazu  $p$  je pritisak fluida, a  $A$  projekcija površine na koju dejstvuje fluid.

Ovakva shema rasporeda sila razlikuje se od sheme sila koja se javlja pri izvlačenju bez pridržiivača /18/. U slučaju izvlačenja sa pridržiivačem javlja se sila pridržiivača koja izaziva pojavu korisne sile trenja  $T_4$ . Ova sila sprečava pomeranje lima u ravni čela pridržiivača što omogućuje dobijanje simetričnih delova za razliku od izvlačenja bez pridržiivača. Poželjno je da sila trenja  $T_4$  bude što veća, jer se time otežava pomeranje lima u ravni pridržiivača. Kako je ova sila posledica sile na pridržiivaču to je ona, sa druge strane, ograničena veličinom sile  $F_p$  (vidi tačku 3).

Sila trenja  $T_4$  da bi sprečila pomeranje lima treba da je veća od sile trenja koje se javljaju na vencu elementa. U tom slučaju neće neravnomerni raspored sile držača na vencu elementa, koji izaziva različite sile trenja na vencu, da izazove različito pomeranje lima. Blokiranje lima na površini pridržiivača sprečava se deformacija tog dela, a opasni presek s obzirom na stanjenje lima pomera se ka vencu elementa što je povoljno. Na ovaj način se ublažuju nedostaci postupka izvlačenja bez pridržiivača i stvaraju mogućnosti za intenzivnijom primenom ovog postupka u industriji.

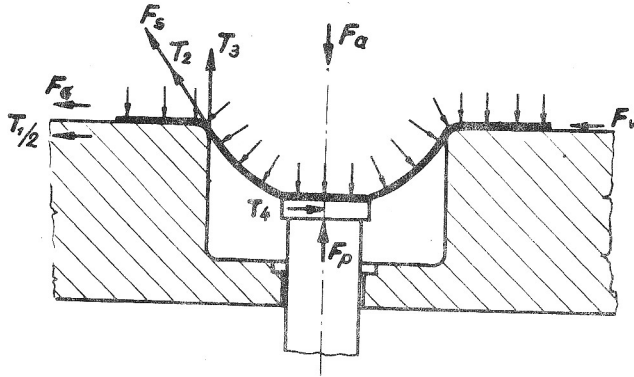
#### 4.2. Izvlačenje bez gumene membrane

Pri izvlačenju elemenata od lima sa pridržiivačem, a za slučaj da fluid neposredno deluje na lim, u procesu izvlačenja se javljaju sledeće sile (slika 17):

- $F_e$  - sila plastične deformacije venca elementa,
- $T_1/2$  - sila trenja na kontaktnoj površini između lima i kalupa,
- $T_2$  - sila trenja na kontaktnoj površini između materijala i zaobljene ivice kalupa,
- $T_3$  - sila trenja od dopunskog držanja lima na zid kalupa pritiskom fluida,
- $T_4$  - sila trenja na kontaktnoj površini između lima i pridržiivača lima,
- $F_s$  - sila otpora savijanja i ispravljanja elementa na zaobljenoj ivici kalupa, i
- $F_v$  - sila izazvana dejstvom pritiska fluida na spoljašnju

ivicu predmeta rada.

Ako se uporede sile koje se javljaju pri izvlačenju sa i bez membrane može da se konstatuje sledeće:



Slika 17

- sila trenja na vencu elementa je upola manja pri izvlačenju bez membrane, jer sa jedne strane deluje fluid, i
- pri izvlačenju bez membrane javlja se korisna sila  $F_v$  koja potpomaže proces izvlačenja.

Sila  $F_v$ , koja je posledica delovanja fluida na spoljašnju ivicu predmeta rada, suprotnog je smera od sila koje se protive deformisanju lima. Ona izaziva pojavu komponente radijalnog napona pritiska. Na taj način se smanjuje ukupna vrednost maksimalnog radijalnog napona istezanja. Ovim se otvaraju mogućnosti za izvlačenje elemenata sa većim odnosom izvlačenja ( $k = D_o/d$ ) nego što je to slučaj pri izvlačenju sa gumenom membranom.

Pozitivno dejstvo sile  $F_v$  koristi se takodje i za duboko izvlačenje pri hidrostatičkom pritisku tečnosti na spoljašnjoj ivici predmeta rada /21, str.355/. U radu /6, str.445/ dat je primer dubokog izvlačenja predmeta rada sa stanjenjem debljine zida. Iz priprema  $\varnothing 57$  (mm) i debljine  $s = 10$  (mm) na sobnoj temperaturi se izradjuju čaure spoljašnjeg prečnika  $\varnothing 25$  (mm) i debljine zida  $s = 1$  (mm). Materijal dela je eutektička superplastična legura Pb-Sn. Za vreme deformisanja na spoljašnjoj ivici predmeta rada deluje hidrostatički pritisak od  $70$  ( $N/mm^2$ ). Sila izvlačenja raste od  $3560$  (N) na početku izvlačenja, do  $8900$  (N) na kraju izvla-



čenja. Vreme deformisanja je 60 (min).

Dejstvo korisne sile trenja pri izvlačenju bez gumene membrane je istovetno dejstvu te sile kada postoji gumena membrana o čemu je već izneto u tački 4.1.

Poredjenjem izvlačenja sa i bez membrane vidi se da drugi postupak, zbog korisne sile  $F_v$ , predstavlja povoljniji slučaj sa gledišta izrade predmeta rada od lima. Ovaj postupak predstavlja dalje poboljšanje izvlačenja elemenata po drugoj klasi postupaka i približenje najpovoljnijoj klasi postupaka - četvrtoj klasi.

Poredjenjem shema sila koje se javljaju pri izvlačenju po drugoj klasi postupaka sa pridržiivačem, a pri neposrednom dejstvu fluida na lim, i hidrostatičkog izvlačenja (četvrta klasa postupaka) uočava se sledeće:

- sila trenja  $T_3$  kod četvrte klase se javlja korisnom silom, odnosno potpomaže proces izvlačenja,
- sila trenja  $T_3$  kod druge klase postupaka se javlja pletnom silom, odnosno otežava proces izvlačenja, i
- ostale sile su istovetne.

Već iz ovog poredjenja, iako nije kompleksno, može da se konstatuje da se izrada elemenata po drugoj klasi postupaka, po povoljnim karakteristikama, jako približila najpovoljnijem postupku - četvrtoj klasi. Ako se zna da je za izradu predmeta rada po drugoj klasi postupaka dovoljna i univerzalna oprema, a da je za izvlačenje po četvrtoj klasi neophodna specijalna oprema, onda je očigledno da druga klasa, sa poboljšanjima o kojima je napred izneto, može da nadje širu primenu u industriji.

## 5. Zaključak

Postupci izrade elemenata od lima dubokim izvlačenjem po drugoj i četvrtoj klasi imaju niz prednosti u odnosu na klasično izvlačenje. Jedna od mogućnosti da se postupci druge klase učine što povoljniji za izradu elemenata od lima i približe najpovoljnijoj četvrtoj klasi je primena pridržiivača. Pridržiivačem se omogućuje blokiranje lima na centralnom delu predmeta rada. Ovim se sprečava deformisanje tog dela, a opasni presek se pomera ka vencu elementa.

Silu na pridržiivaču treba birati u optimalnim granicama kako

se nebi pojavila nestabilnost lima, odnosno da ne dodje do gužvanja lima.

Pri izvlačenju elemenata po drugoj klasi postupaka, a sa neposrednim dejstvom fluida na lim, javlja se sila  $F_v$  na spoljašnjoj ivici predmeta rada koja potpomaže proces izvlačenja. Zbog toga mogu ovim postupkom da se izradjuju delovi sa većim odnosom izvlačenja, nego što je to kod klasičnog izvlačenja.

### L i t e r a t u r a

- /1/ P. POPOVIĆ, Prilog rasmatranju problematike izrade predmeta rada dubokim izvlačenjem, Sredstva i metode obrade deformisanjem (SIMOD), broj 2, Mašinski fakultet Niš, Niš, 1975.
- /2/ V. STOILJKOVIĆ, Prikaz izrade elemenata od lima dubokim izvlačenjem pomoću nestišljivog fluida, Zbornik radova sa IX savetovanja proizvodnog mašinstva, Niš, 1974.
- /3/ E. A. POPOV, Osnovi teori listovoi šampovki, Mašinstroenie, Moskva, 1968.
- /4/ A. L. ŠOFMAN, Teorija i rasčeti procesov holodnoi šampovki, Mašinstroenie, Moskva, 1964.
- /5/ B. MUSAFIJA, Obrada metala plastičnom deformacijom, Univerzitet u Sarajevu, Sarajevo, 1965.
- /6/ K. LANGE, Lehrbuch der Umformtechnik - Band III, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 1975.
- /7/ E. I. ISAČENKOV, Šampovka rezinoi i židkostju, Mašinstroenie, Moskva, 1967.
- /8/ S. A. ČAUZOV, I. V. KOPILOV, Sgveršensvovanie procesov vitjažki, Kuzn.-šamp.proizv., N° 12, 1975.
- /9/ S. A. ŠELUHIN, E. I. ISAČENKOV, Točnostnie vozmožnosti glubokoi vitjažki elastičnoi matricei s politropičeskim regulirovanjem davlenija, Kuzn.-šamp.proizv., N° 11, 1975.
- /10/ P. N. KOLESNIKOV, M. POGORELOV, O točnosti detalei pri vitjažke listovogo metalla židkostnoi matricei, Kuzn.-šamp.proizv., N° 7, 1975.
- /11/ H. PISCHEL, Rationelle Blechumformung durch hydromechanisches Tiefziehen, Werkstattstechnik, 60(1970) Nr. 1.
- /12/ K. OBERLÄNDER, Herstellung von Hohlkörpern konventionelle und unorthodoxe Verfahren, International Congress "SYSTEM BLECH" 75, Zürich 16.-18.9.1975.
- /13/ A. B. ŠEGLOV, K voprosu ob ispitani listovoi stali na dvyhonoj rastjaženje metodom gidravličeskoj vitjažki, Izd. AN SSSr, Moskva, 1960.
- /14/ F. GOLOGRANC, Beitrag zur Ermittlung von Fließkurven im kontinuierlichen hydraulischen Tiefungsversuch, Verlag W. Girardet, Essen, 1975.

- /15/ W.PANKNIN, Grundlagen des hydraulischen Tiefziehens (Hydroform) und hydraulische Tiefzieheinrichtungen, Werkstattstechnik und Maschinenbau, 47.Jg., Heft 6, Juli 1957.
- /16/ V.STOILJKOVIĆ, Naponsko i deformaciono stanje pri izradi elemenata dubokim izvlačenjem nestišljivim fluidom i identifikacija optimalnog pritiska, Magistarski rad, Mašinski fakultet Beograd, Beograd, 1974.
- /17/ V.STOILJKOVIĆ, Rasmatranje procesa deformisanja elemenata pri dubokom izvlačenju nestišljivim fluidom, SIMOD broj 2, Mašinski fakultet Niš, Niš, 1975.
- /18/ V.STOILJKOVIĆ, Prilog rešavanju problema odredjivanja potrebnog radnog pritiska nestišljivog fluida pri izvlačenju elemenata, SIMOD broj 2, Mašinski fakultet Niš, Niš, 1975.
- /19/ V.STOILJKOVIĆ, Analiza deformacionog stanja pri izradi elemenata izvlačenjem nestišljivim fluidom, SIMOD broj 2, Mašinski fakultet Niš, Niš, 1975.
- /20/ A.A.BANOV, Reversivnaja šampovka-vitjažka davleniem židkosti tonkostenih detalei tipa dinc, Kuzn.-šamp.prizv., N<sup>o</sup> 5, 1970.
- /21/ K.N.BOGOJAVLENSKI, P.V.KAMENOV, Izgotovlenie detalei plastičeskim deformirovaniem, Mašinostroenie, Leningrad, 1975.

STOILJKOVIĆ R.V.

IZRADA ELEMENATA NESTIŠLJIVIM FLUIDOM

SA PRIDRŽIVAČEM

R e z i m e

Izrada elemenata dubokim izvlačenjem nestišljivim fluidom dobija zadnjih godina širu primenu u industriji. Ovaj postupak ima prednosti u odnosu na klasično izvlačenje.

U ovom radu se najpre navode karakteristike pojedinih postupaka. Zatim se detaljno rasmatra izvlačenje po drugoj klasi sa pridržiivačem. Analizira se sila na pridržiivaču i način deformisanja lima. Iz uporednog pregleda sila koje se javljaju u pojedinim postupcima izvode se zaključci o povoljnosti ili nepovoljnosti tih postupaka.

ELEMENTENAUSFÜHRUNG MIT DEM INKOMPRESSEBELEN

FLUIDUM MIT GEGENHALTER

Z u s a m m e n f a s s u n g

Elementenausführung mit Tiefziehen mit dem inkompressibelen Fluidum bekommt in letzten Jahren weitere Verwendung in der Industrie. Dieses Verfahren hat Vorteile in Beziehung auf das klassische Ziehen.

In dieser Arbeit gibt man zuerst Charakteristiken einiger Verfahren. Dann betrachtet man ausführlich das Ziehen nach zweiter Klasse, mit Gegenhalter. Man analysiert die Kraft auf dem Gegenhalter und die Art des Blechumformens. Aus der parallelen Übersicht der Kräfte, die in einigen Verfahren auftreten, folgen der Schluss über Günstigung oder Ungünstigung dieser Verfahren.