

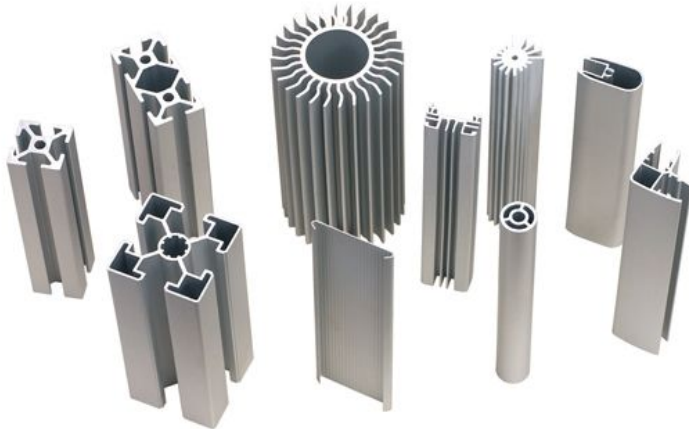
Tehnologija plastičnog deformisanja

Istiskivanje

ISTISKIVANJE

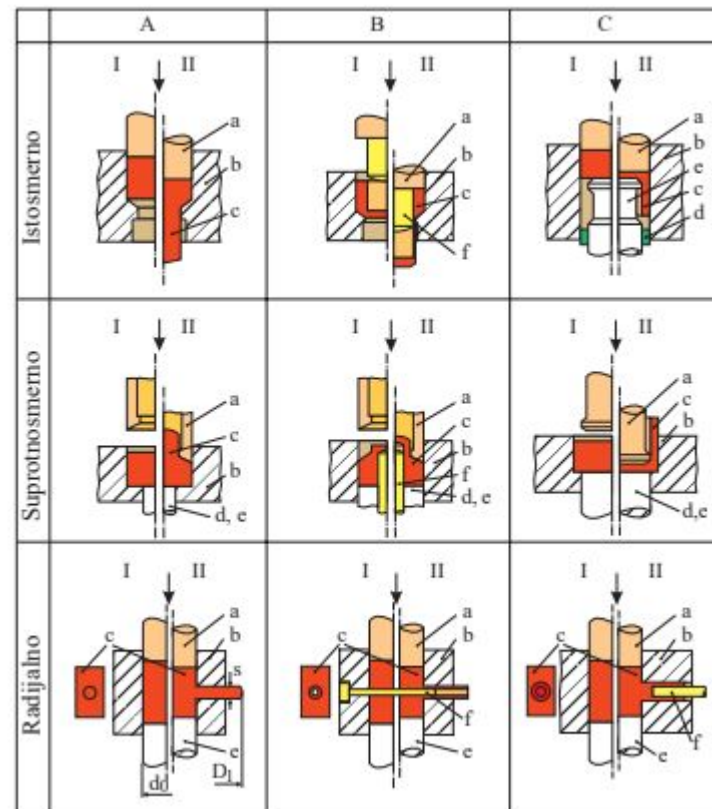
U procesu istiskivanja materijal se pod dejstvom opterećenja dovodi u plastično stanje i primorava da ističe kroz predviđene otvore u alatu.

Istiskivanje može da se izvodi u toplom i hladnom stanju.



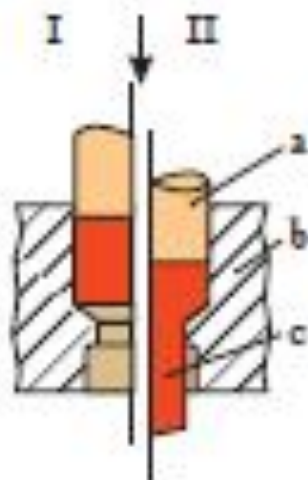
U zavisnosti od smera tečenja materijala u odnosu na smer delovanja deformacione sile istiskivanje može biti

- Istosmerno
- Suprotnosmerno
- Radijalno
- Kombinovano

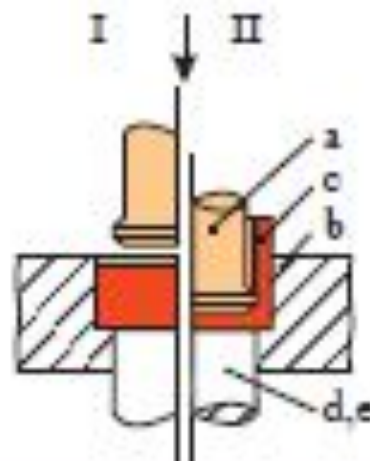


U procesu istiskivanja osnovni delovi alata su žig i matrica.

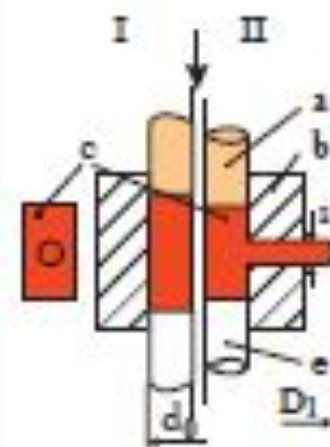
Relativno kretanje između žiga i matrice ostvaruje se montiranjem jednog od ta dva elementa za stacionarni deo mašine dok se preostali deo montira za pokretni deo mašine.



Istosmerno



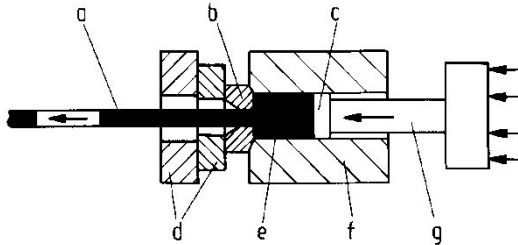
suprotnosmerno



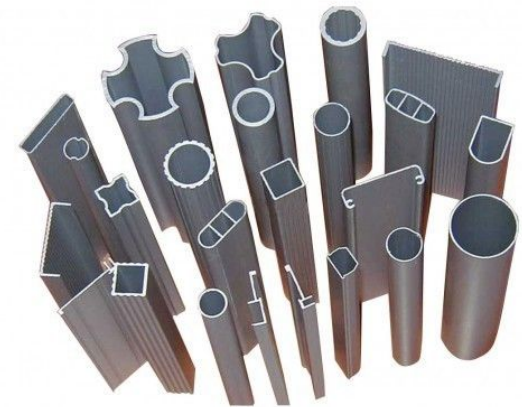
radijalno

a – žig b – matrica c – obradak d,e - izbacivač

Toplo istikivanje se najčešće koristi za proizvodnju profila i cevi.



- a – istisnuti profil d – potpore
b – matrica e – zagrejani materijal (blok)
c – pritisna ploča f – recipient
g – žig



Osnovne karakteristike procesa hladnog istiskivanja

- Mogućnost dobijanja obradaka različitih geometrijskih oblika za relativno kratko vreme
- Visok stepen iskorišćenja materijala i energije
- Deformaciono ojačan materijal
- Visoka tačnost i kvalitet obrađene površine



Limitirajući faktori

- Oblik obratka
- Deformabilnost materijala
- Opterećenje alata
- Ekonomski faktori (veličina serije)

Metoda istiskivanja se spominje još 1886. godine kada je korištena za istiskivanje cevi od olova.

Sve do tridesetih godina prošlog veka, kada je razvijen postupak za podmazivanje delova od čelika hladno istiskivanje se pretežno primenjivalo za proizvodnju delova od obojenih metala i njihovih legura.

Nakon Drugog svetskog rata sa razvojem automobilske industrije i ova metoda počinje više da se primenjuje.

Dalji razvoj metode hladnog istiskivanja omogućio je proizvodnju delova složene konfiguracije, kao i delova povišene tačnosti (Net Shape i Near Net Shape proizvodnja)

Materijali koji se koriste za hladno istiskivanje

Hladnim istiskivanjem najčešće se obrađuju sledeći materijali :

- Aluminijum i legure aluminijuma
- Bakar i legure bakra
- Čelici sa niskim i srednjim sadržajem ugljenika
- Niskolegirani i nerđajući čelici

U odnosu na obojene metale i njihove legure čelici imaju manju obradivost hladnim istiskivanjem. Po pravilu, što je niži procenat ugljenika i legirajućih elemenata u čeliku, to je deformabilnost čelika bolja.

Sa povećanjem sadržaja ugljenika i legirajućih elemenata u čeliku, obradivost čelika hladnim istiskivanjem opada.

Većina ugljeničnih i legiranih čelika koji se koriste za hladno istiskivanje imaju od 0,10% do 0,25% ugljenika u sebi. Međutim, u nekim slučajevima i čelici sa više od 0,45% ugljenika mogu da se koriste za hladno istiskivanje.

Legirani čelici su za dati sadržaj ugljenika tvrdi od ugljeničnih čelika, pa je i sama obrada istiskivanjem otežana. Kod većine legiranih čelika dolazi do deformacionog ojačavanja u znatno većoj meri nego kod ugljeničnih čelika, što utiče na potrebu međuoperacionog žarenja.

Određivanje ostvarenog stepena deformacije u procesu istiskivanja

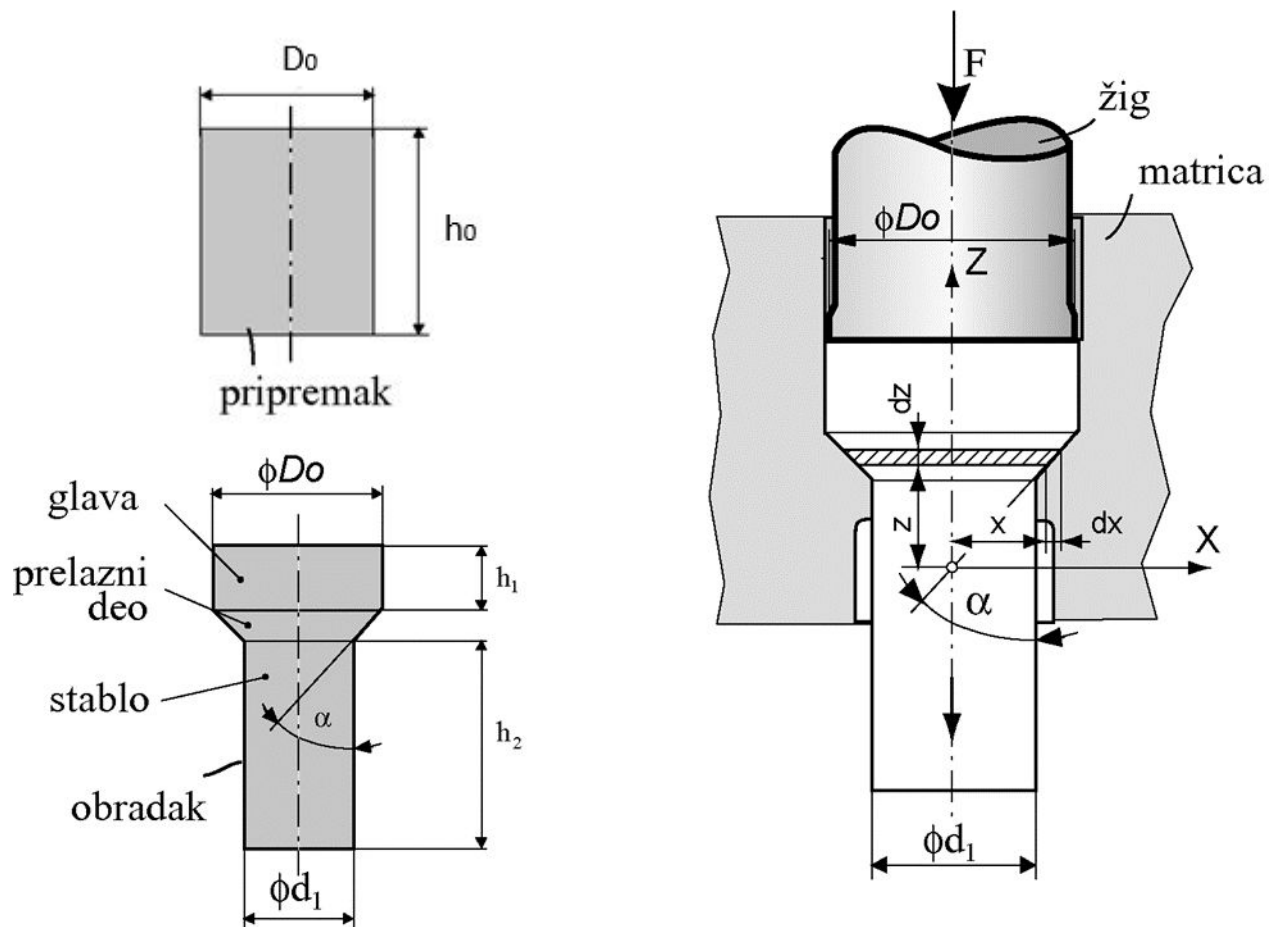
Jedan od načina da se odredi logaritamska deformacija u procesu istiskivanja je na osnovu promene površine poprečnog preseka.

$$\varphi = \ln \frac{A_0}{A}$$

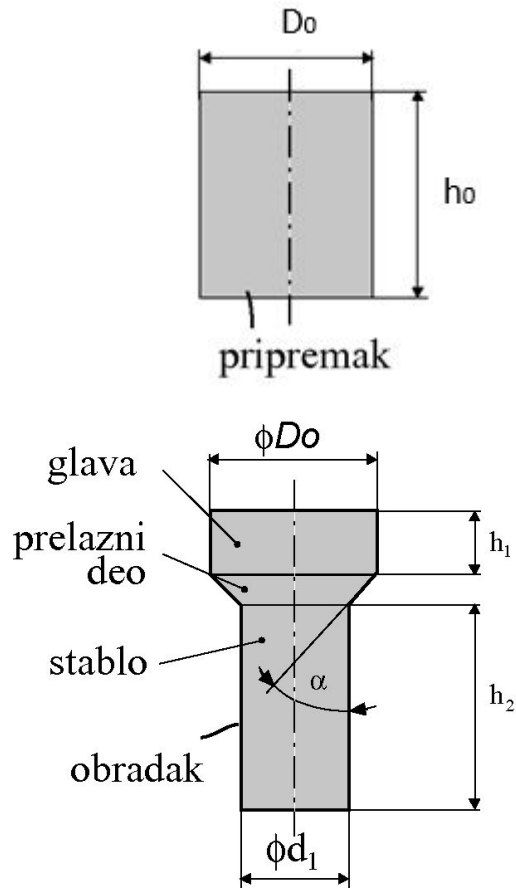
Gde su

- A_0 površina poprečnog preseka priprema
- A površina poprečnog preseka gotovog dela

Istosmerno istiskivanje



Istosmerno istiskivanje



Logaritamska deformacija kod istosmernog istiskivanja

$$\varphi = \ln \frac{A_0}{A} = \ln \frac{D_0^2 \pi}{d_1^2 \pi} = \ln \frac{D_0^2}{d_1^2}$$

$$\varphi = 2 \ln \frac{D_0}{d_1}$$

Deformaciona sila u procesu istosmernog istiskivanja

$$F = A_0 K_{sr} \varphi + A_0 K_{sr} \varphi \left(\frac{\mu}{\alpha} + \frac{2\alpha}{3\varphi} \right) + 4\mu K_0 \frac{h_0}{D_0} A_0$$

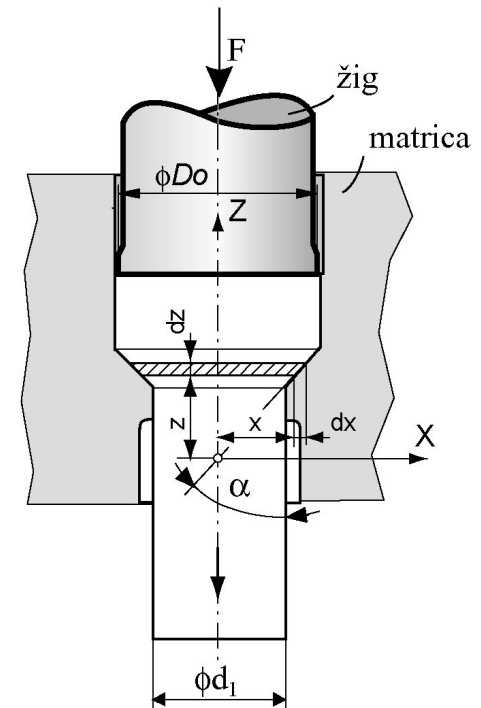
$$F = A_0 p$$

F_{id} – deformaciona sila idealne deformacije, bez trenja na kontaktnim površinama i bez unutrašnjeg trenja

F_{t1} – komponenta deformacione sile potrebna za savladavanje otpora trenja na kontaktnim površinama u konusnom delu matrice

F_{t2} – komponenta deformacione sile potrebna za savladavanje unutrašnjeg trenja usled promene pravca toka vlakana

F_{t3} – komponenta deformacione sile potrebna za savladavanje otpora trenja na kontaktnim površinama u cilindričnom delu matrice



$$F = A_0 K_{sr} \varphi + A_0 K_{sr} \varphi \left(\frac{\mu}{\alpha} + \frac{2\alpha}{3\varphi} \right) + 4\mu K_0 \frac{h_0}{D_0} A_0$$

A_0 - poprečni presek pripremk

K_{sr} - srednja vrednost napona tečenja

$$K = \frac{K_0 + K_1}{2}$$

K_0 - napon na granici plastičnog tečenja, R_e

K_1 - napon tečenja koji odgovara ostvarenom stepenu deformacije

φ – ostvareni stepen deformacije

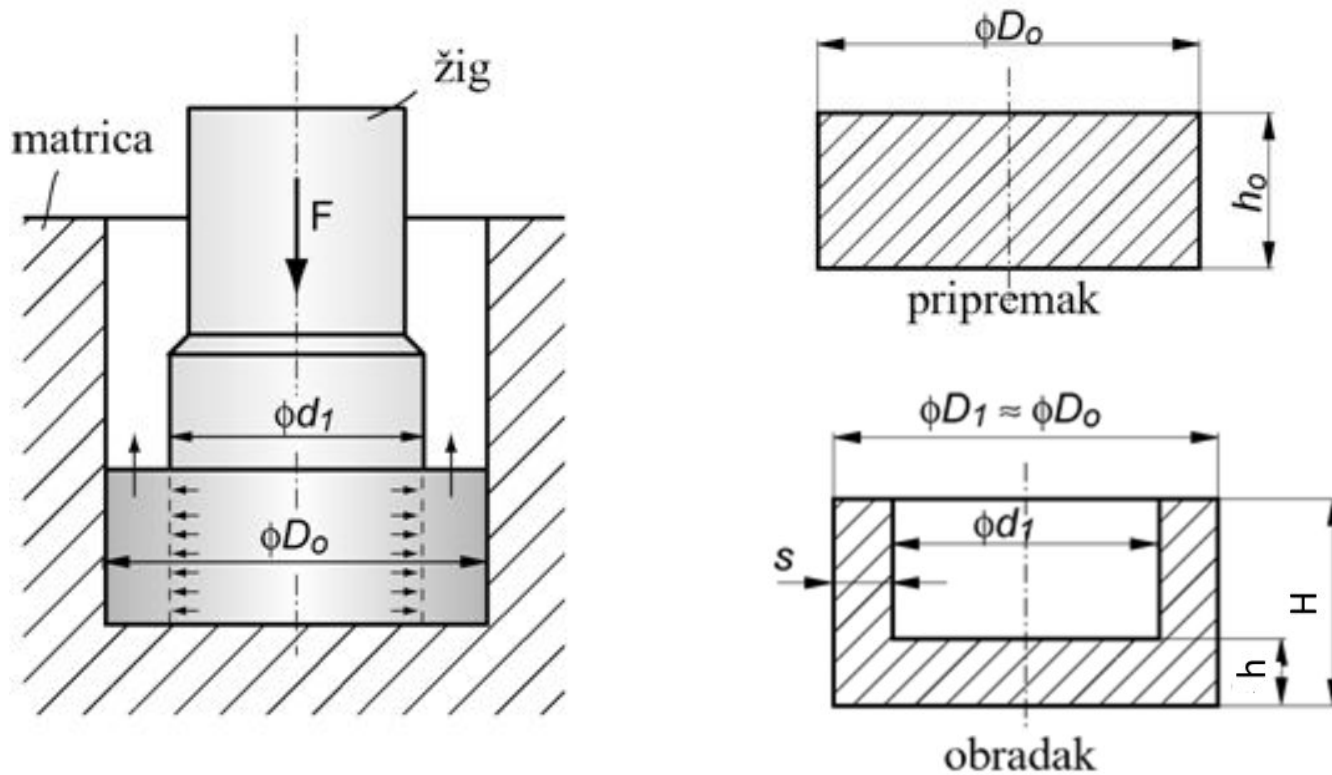
μ – koeficijent trenja

α – ugao nagiba matrice (u radijanima)

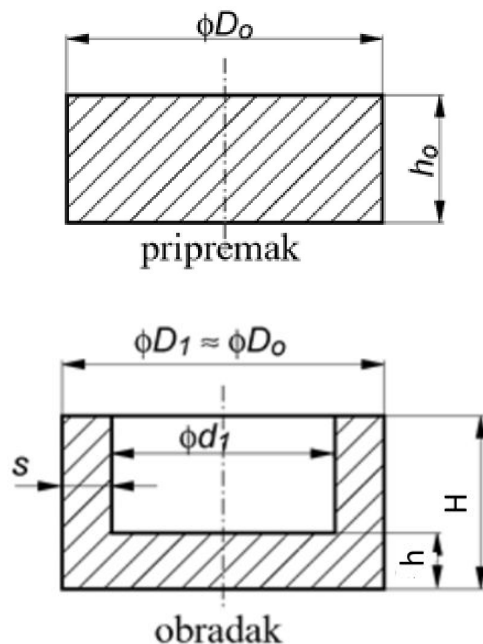
h_0 - visina pripremk

D_0 - prečnik pripremk

Suprotnosmerno istiskivanje



Logaritamska deformacija kod suprotnosmernog istiskivanja



$$\varphi = \ln \frac{A_0}{A} = \ln \frac{\frac{D_0^2 \pi}{4}}{\frac{(D_0^2 - d_1^2) \pi}{4}}$$

$$\varphi = \ln \frac{D_0^2}{D_0^2 - d_1^2}$$

II način određivanja stepena deformacije kod suprotnosmernog istiskivanja

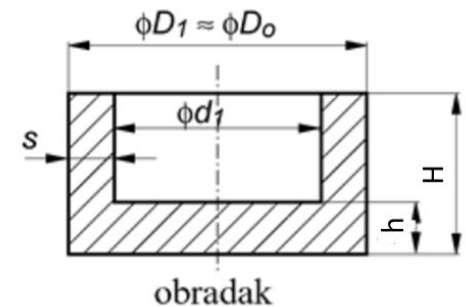
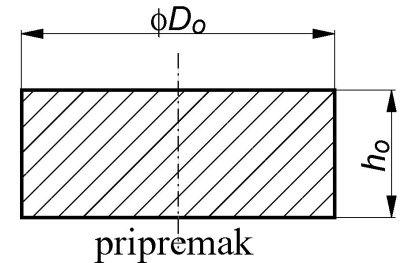
$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2$$

Veličina deformacije ispod žiga računa se kao:

$$\varphi_1 = \ln \frac{h_0}{h}$$

Veličina deformacije bočnog isticanja materijala određuje se prema sledećem izrazu:

$$\varphi_2 = \frac{d_1}{8 \cdot s} \ln \frac{h_0}{h}$$

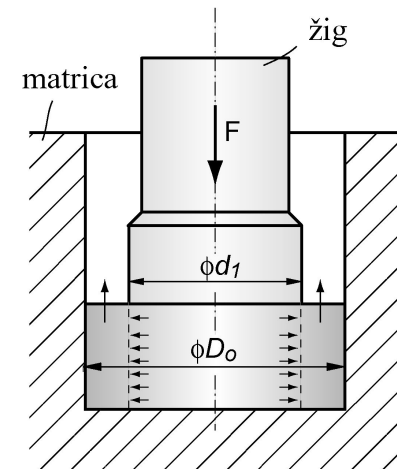


Deformaciona sila u procesu suprotnosmernog istiskivanja

$$F = p \cdot A = p \cdot \frac{d_1^2 \pi}{4}$$

$$p = K_0 \left(1 + \frac{\mu D}{3 h} \right) + K \left[1 + \frac{h_0}{s} \left(0,25 + \frac{\mu}{2} \right) \right]$$

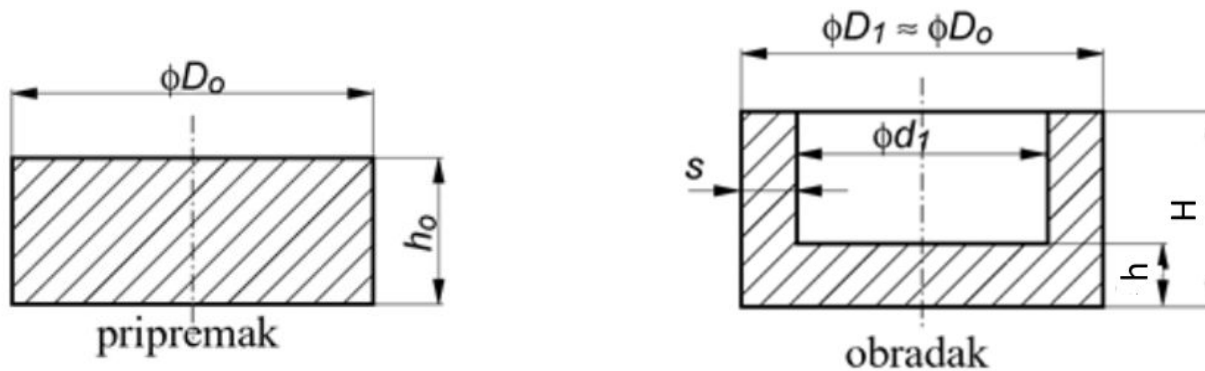
$$s = \frac{D_0 - d_1}{2}$$



Deformacioni rad

$$W = F(h_0 - h)$$

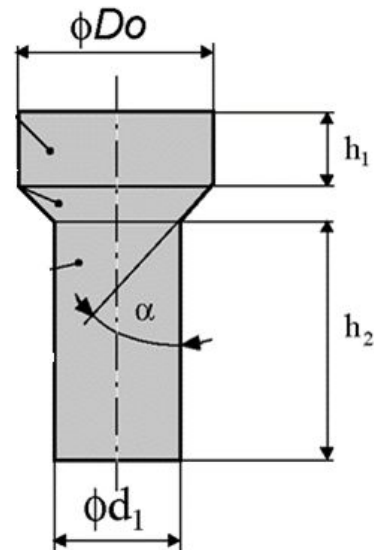
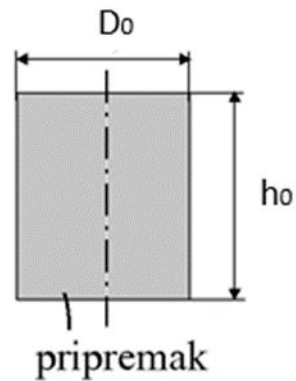
Suprotnosmerno istiskivanje



Deformacioni rad

$$W = F(h_0 - h_1)$$

Istosmerno istiskivanje



Projektovanje tehnologije hladnog istiskivanja

Projektovanje tehnološkog procesa hladnog istiskivanja sastoji se iz sledećih faza:

1. Analiza tehnološkičnosti konstrukcije obratka,
2. Određivanje oblika i dimenzija pripremka i načina njegovog dobijanja,
3. Podmazivanje u procesu hladnog istiskivanja
4. Određivanje faza oblikovanja - broja operacija
5. Konstrukcija alata
6. Izbor potrebne opreme

Analiza tehnoloĝnosti konstrukcije obratka

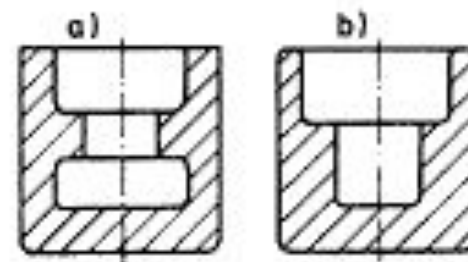
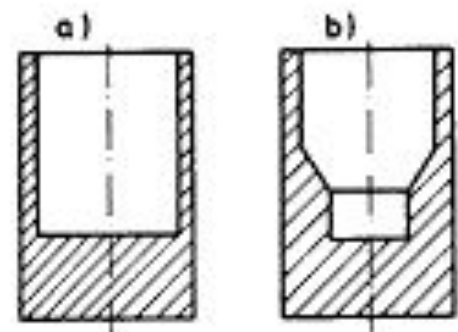
Kada se izabere tehnologija izrade nekog dela potrebno je, na osnovu tehniĝke dokumentacije iz koje se dobiju informacije o geometriji dela, dimenzijama i njihovim tolerancijama, materijalu, kao i veliĝini serije, analizirati tehnoloĝnost konstrukcije dela.

To znaĝi da treba odrediti u kojoj meri je izabrana tehnologija pogodna za proizvodnju dela uzimajuĝi u obzir navede informacije.

Ĉesto postoji potreba da se prvobitna konstrukcija dela modifikuje kako bi se prilagodila izradi pomoĝu neke specifiĝne tehnologije.

Inženjer koji je zadužen za konstrukciju dela i inženjer koji je zadužen za razradu tehnologije moraju sarađivati, zato što često postoji potreba da se, u određenoj meri, oblik i dimenzije dela prilagode tehnologiji kojom deo treba da se proizvede, a da ne dođe do narušavanja funkcije kojoj je namenjen.

Prvi korak u analizi tehnologičnosti je analiza tehničkog crteža dela sa aspekta da li je deo projektovan imajući u vidu mogućnosti i ograničenja tehnologije hladnog istiskivanja



- a) netehnologičan deo za metodu hladnog istiskivanja
- b) Tehnologičan deo za metodu hladnog istiskivanja

Određivanje oblika i dimenzija priprema i način njegovog dobijanja

Pri određivanju oblika i dimenzija priprema osnovno pravilo je da oblik i dimenzije priprema budu što je moguće bliže obliku i dimenzijama gotovog dela.

Kada se izrađuju rotaciono simetrični delovi, poprečni presek priprema je kružni, prečnik treba da bude jednak maksimalnom prečniku obratka, a visina se izračunava iz uslova konstantnosti zapremine, odnosno iz jednakosti zapremine priprema (V_p) i obratka (V_o)

Kao polufabrikat za izradu pripremka najčešće se koriste okrugle šipke, ali mogu se koristiti i šipke drugih poprečnih preseka (kvadratnog, šestougaoanog...). Pored toga mogu se koristiti i pločasti pripremci koji se dobijaju iz lima. Pripremci iz šipki izrađuju se na strugovima i testerama, dok se pločasti pripremci iz lima dobijaju razdvajanjem na specijalnim alatima. Na koji način će se pripremak izraditi zavisi od oblika obratka, veličine serije, kao i raspoložive opreme.

Nakon izrade, pripremci se po potrebnim termički obrađuju (rekristalizaciono žarenje), a zatim kalibrišu kako bi imali početni oblik koji je povoljan za dalje operacije istiskivanja. Kalibrisanje se takođe vrši kako bi se eliminisale eventualne netačnosti oblika koje nastaju u procesu izrade pripremkama.

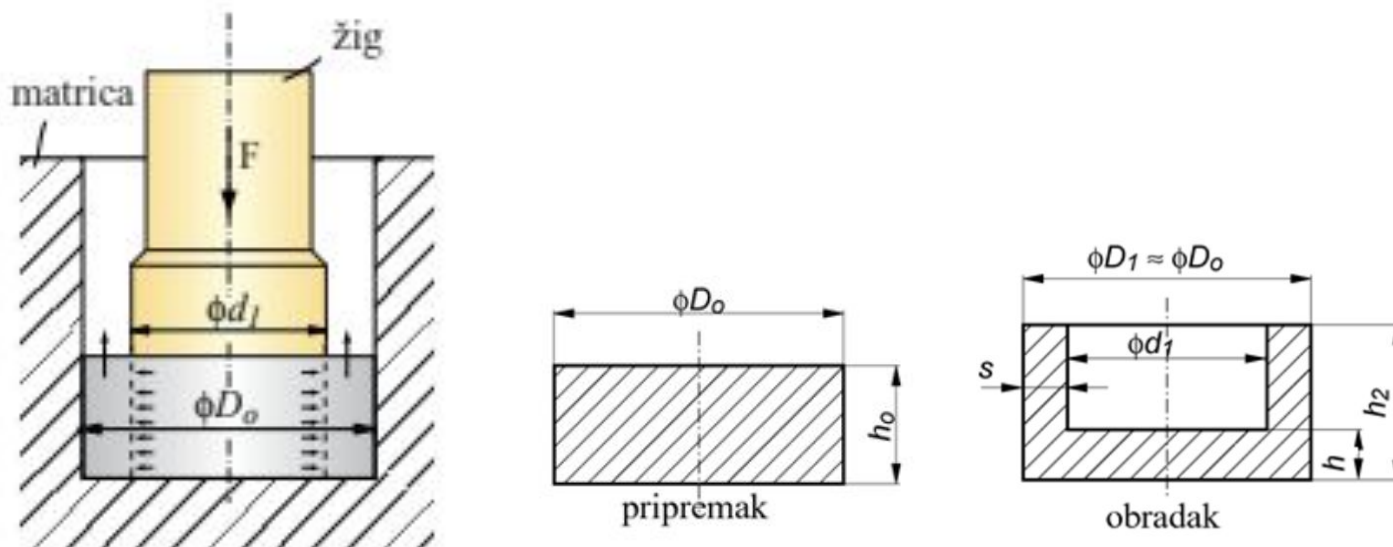
Podmazivanje u procesu hladnog istiskivanja

Hladno istiskivanje kao metoda našlo je svoju primenu krajem 19. veka za proizvodnju delova od obojenih metala i njihovih legura.

Istiskivanje čelika u to vreme nije bilo moguće zbog toga što se mineralna ulja ili masti koji su se koristili nisu pokazali kao adekvatna sredstva za podmazivanje zbog visokih pritisaka koji se javljaju u procesu .

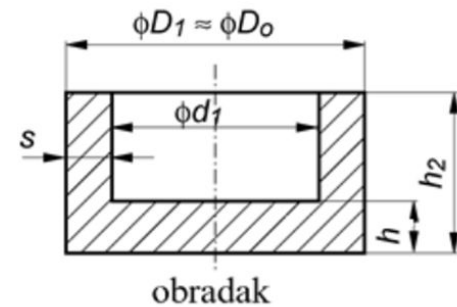
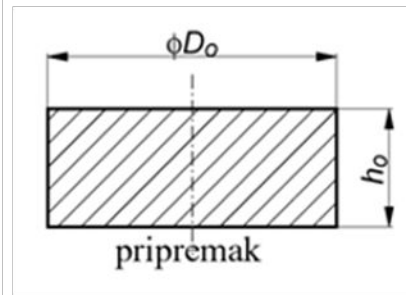
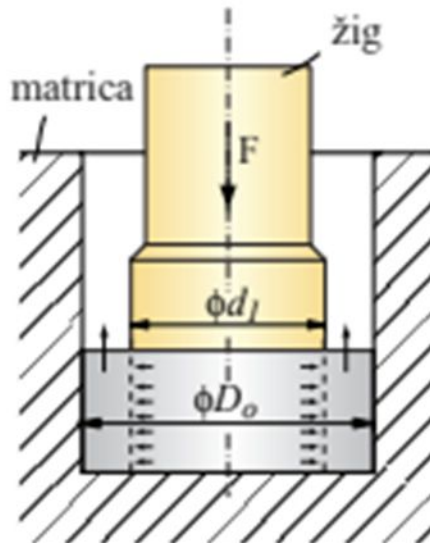
Istiskivanje čelika je omogućeno tridesetih godina 20. veka kada je patentiran postupak fosfatiranja. Od tog vremena univerzalna praksa je da se pre početka hladnog istiskivanja nanese fosfatni sloj. Primarna svrha ovog premaza je da formira nemetalni razdvajajući sloj između alata i radnog dela. Tokom istiskivanja premaz teče zajedno sa materijalom.

Prisustvo fosfatnog sloja kod istiskivanja čelika je potrebno zato što visoki pritisci koji se javljaju između obratka i alata mogu dovesti do istiskivanja sredstva za podmazivanje i direktnog kontakta između materijala obratka i materijala alata. Kada se materijal obratka kreće po materijalu alata bez sredstva za podmazivanje može doći do hladnog



Fosfatni sloj na površini pripreмка omogućuje da sredstvo za podmazivanje bude stalno prisutno na kontaknoj površini između obratka i alata, čak i pod dejstvom visokih pritisaka.

Fosfatni sloj je deformabilan. To znači da se u toku procesa istiskivanja fosfatni sloj deformiše zajedno sa površinom na koju je nanet.



Fosfatiranje je hemijski proces koji podrazumeva nanošenje zaštitne prevlake nerastvorenih fosfata gvožđa, mangana ili cinka, na površinu metala postupcima uranjanja ili prskanja predmeta u rastvorima za fosfatiranje.

Fosfatne prevlake mogu da se koriste kao i zaštita od korozije, ali ne predstavljaju dugotrajnu zaštitu.

U zavisnosti od elemenata koji su uključeni u sastav prevlake fosfatne prevlake mogu se podeliti u sledeće podgrupe: gvožđe - fosfatne, cink - fosfatne, mangan - fosfatne i cink - fosfatne prevlake modifikovane kalcijumom.

Postupak nanošenja **gvožđe - fosfatnih** prevlaka spada u najstarije i najekonomičnije postupke fosfatiranja, ali sa najmanjom korozionom otpornošću. Rastvor koji omogućava ovaj postupak fosfatiranja obezbeđuje odmaščivanje i fosfatiranje istovremeno, pa tako štedi vreme i prostor. Rastvor čine netoksične materije koje ostaju rastvorene i stvaraju malo taloga što je prednost u odnosu na cink - fosfatne rastvore koji sadrže materije koje ne ostaju u rastvorenom obliku već padaju u obliku taloga koji se klasifikuje kao opasan otpad.

Prevlaka **cink - fosfata** veoma je dobra jer njeni kristali formiraju poroznu površinu koja može da apsorbuje i mehanički zadrži sredstvo za podmazivanje, ali zahteva duže vreme za depoziciju i više faza u pripremi površine.

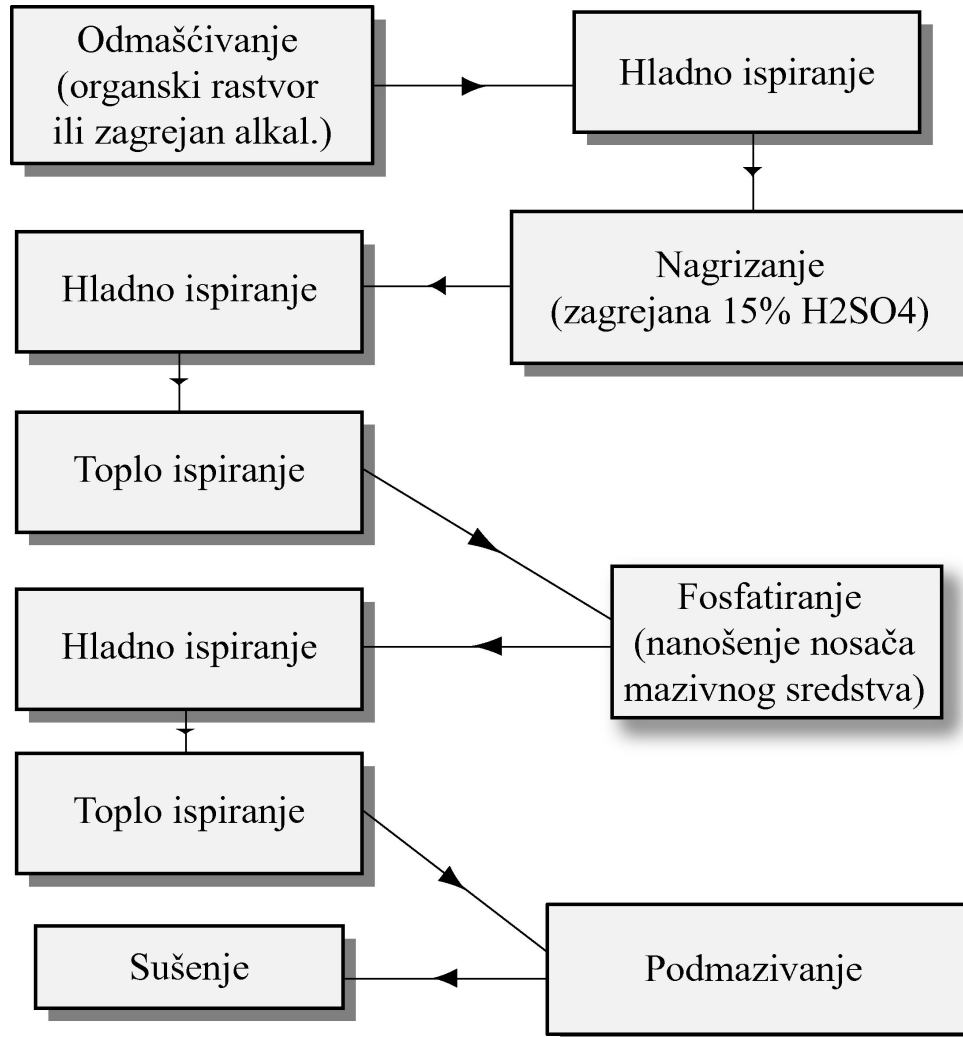
Prevlaka cink - fosfata ponaša se kao apsorbciona podloga koja je koroziono otporna. Prevlake cink - fosfata dobijaju se postupkom potapanja.

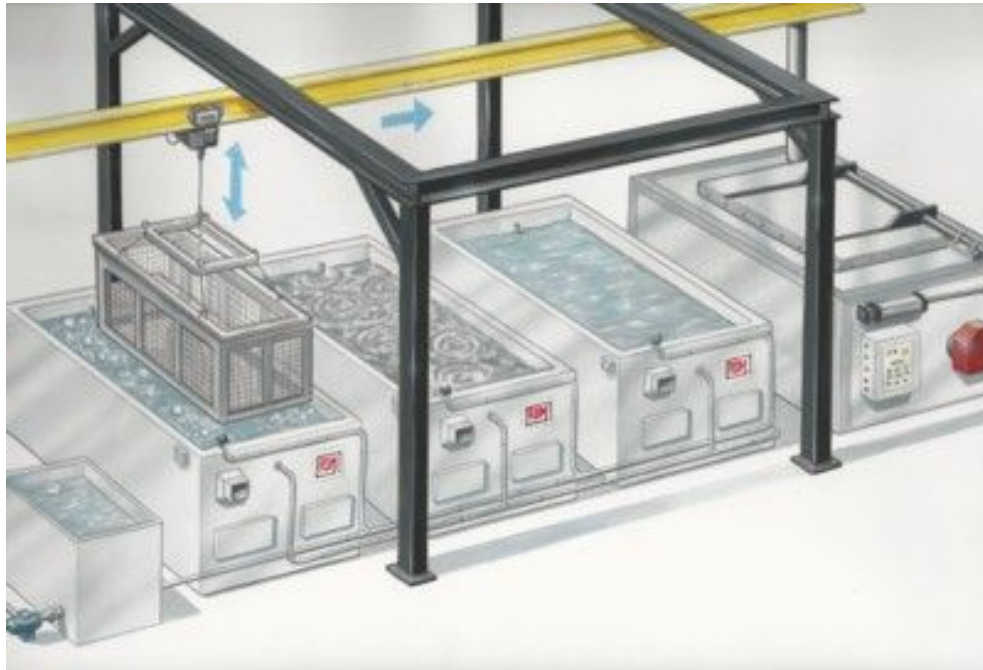
Postupci koji omogućavaju dobijanje prevlake cink - fosfata na nižim temperaturama koriste se kod metoda izvlačenja, kovanja i istiskivanja.

Ove fosfatne prevlake omogućavaju zadržavanje ulja ili drugih sredstava za podmazivanje pri određenoj temperaturi i pritisku tokom deformacije. Nanošenje fosfatnih prevlaka obezbeđuje duži radni vek alata, veće brzine deformisanja i veća izduženja osnovnog metala.

Mangan - fosfatne prevlake upotrebljavaju se za zaštitu površina na kojima se zahteva dobra otpornost na trenje, tj. sprečavaju kontakt metala sa metalom (nanose se na klipove, klipne prstenove, ležajeve, pogonske zupčanike itd), dok se **cink - fosfatne prevlake modifikovane kalcijumom** obično koriste kao osnova za boju ili druge organske prevlake

Operacije nanošenja fosfatnog sloja





Određivanje faza oblikovanja - broja operacija

Proces istiskivanja može biti izveden u jednoj ili više operacija, što zavisi od oblika i dimenzija obratka, vrste materijala koji se deformiše, kao i od veličine serije.

Postoje različiti kriterijumi na osnovu kojih se može odrediti broj operacija.

Prema prvom kriterijumu potrebno je prvo odrediti ukupnu deformaciju, a zatim ako je ona veća od dozvoljene treba je razdeliti na nekoliko manjih, i to tako da manje deformacije budu u dozvoljenim granicama.

Drugi kriterijum koristi se kod stepenastih obradaka. Ukupna zapremina deli se na posebne delove (segmente) s tim što se pretpostavlja da se svaki takav segment izrađuje u posebnoj operaciji.

U trećem slučaju glavni kriterijum za određivanje broja operacija je pritisak na čelo žiga u pojedinoj operaciji. Treba napomenuti da ovaj kriterijum mora biti zadovoljen i u prethodna dva slučaja.

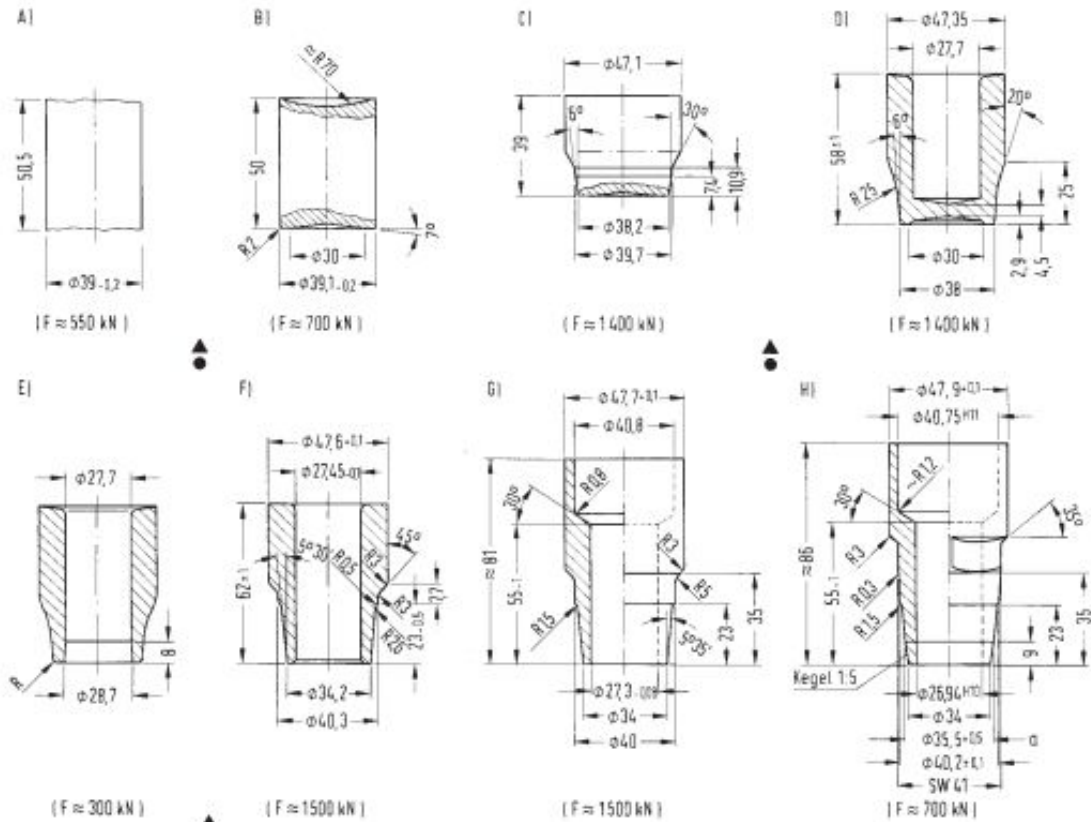
Kod višeoperacionog istiskivanja često se javlja potreba za međuoperacionim žarenjem, zato što posle određenog broja operacija materijal ojača u tolikoj meri da ne može da se nastavi sa procesom istiskivanja, zbog opterećenja koje prelazi granice

Posle međuoperacionog žarenja potrebno je obnoviti fosfatni sloj i ponovo izvršiti podmazivanje.

Primer
višeoperacionog
hladnog
istiskivanja

- A – odsecanje iz šipke
- B – kalibrisanje
- C – sabijanje
- D – suprotnosmernom istiskivanje
- E – probijanje dna

- F – istosmernom istiskivanje špijnih obradaka
- G – kombinovano istiskivanje
- H – završno istiskivanje



- ▲ meko žarenje
- fosfatiranje

Alati za hladno istiskivanje

Osnovni delovi alata su :

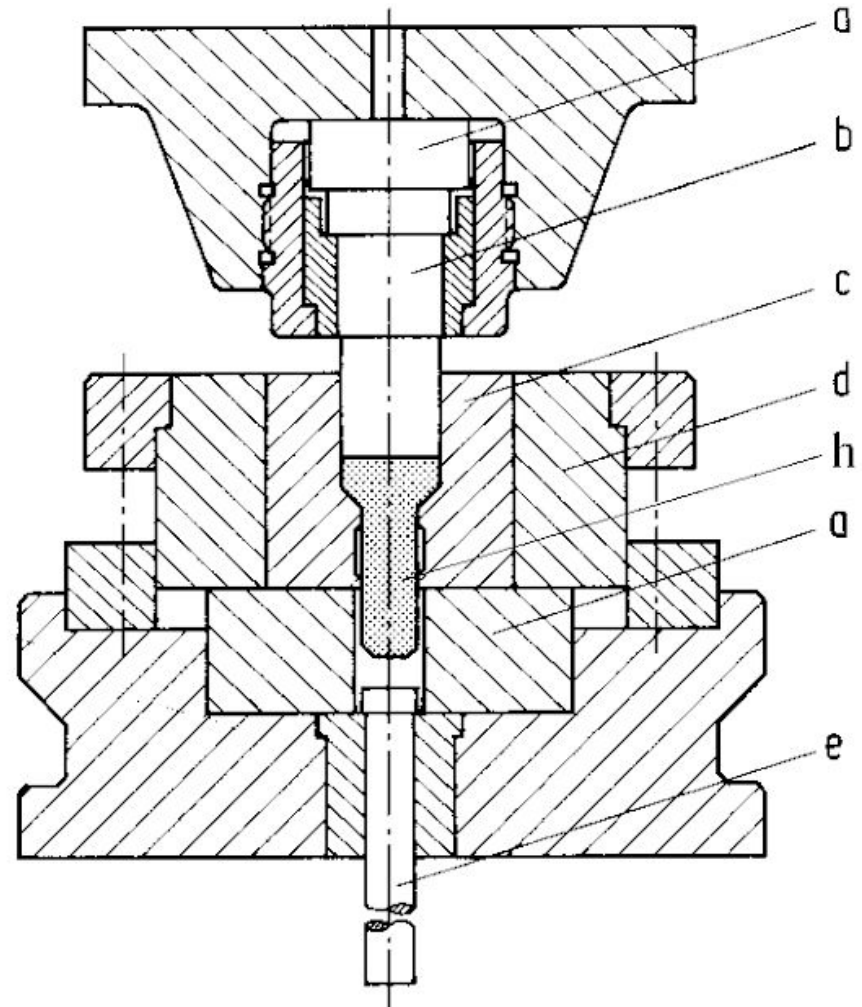
- radni delovi (žig, matrica, izbacivač)
- kućište
- pomoćni elementi (pritisne ploče, skidač, stezni elementi)

Kućišta su najčešće standardizovana i izrađuju se livenjem ili skidanjem strugotine.

Konkretna izvedba alata za hladno istiskivanje zavisi od vrste istiskivanja, materijala obratka, veličine serije i mašine na kojoj se proces izvodi.

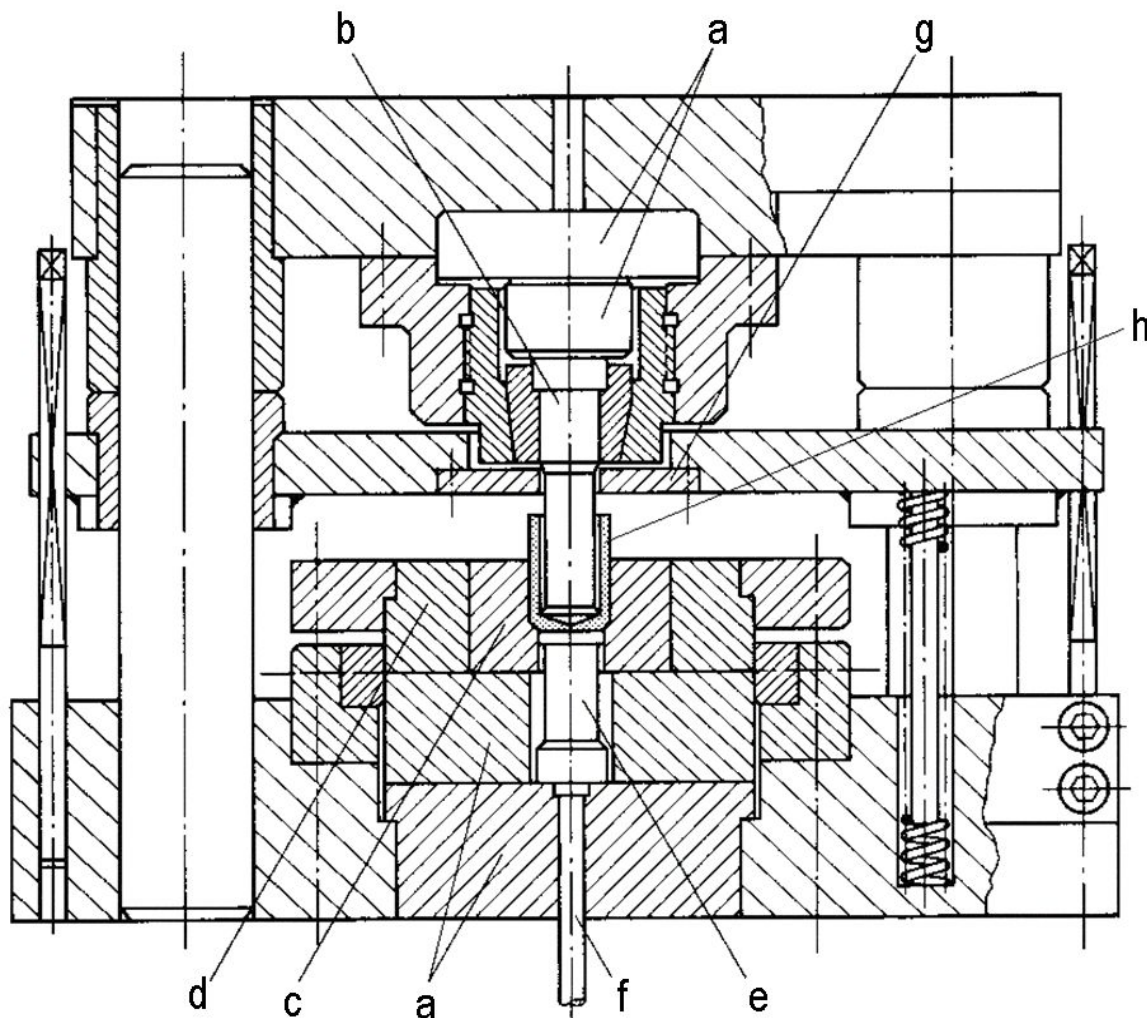
Alat za istosmerno istiskivanje

- a – pritisna ploča
- b – žig
- c – matrica
- d – ojačavajući prsten
- h - radni komad
- e – izbacivač obratka



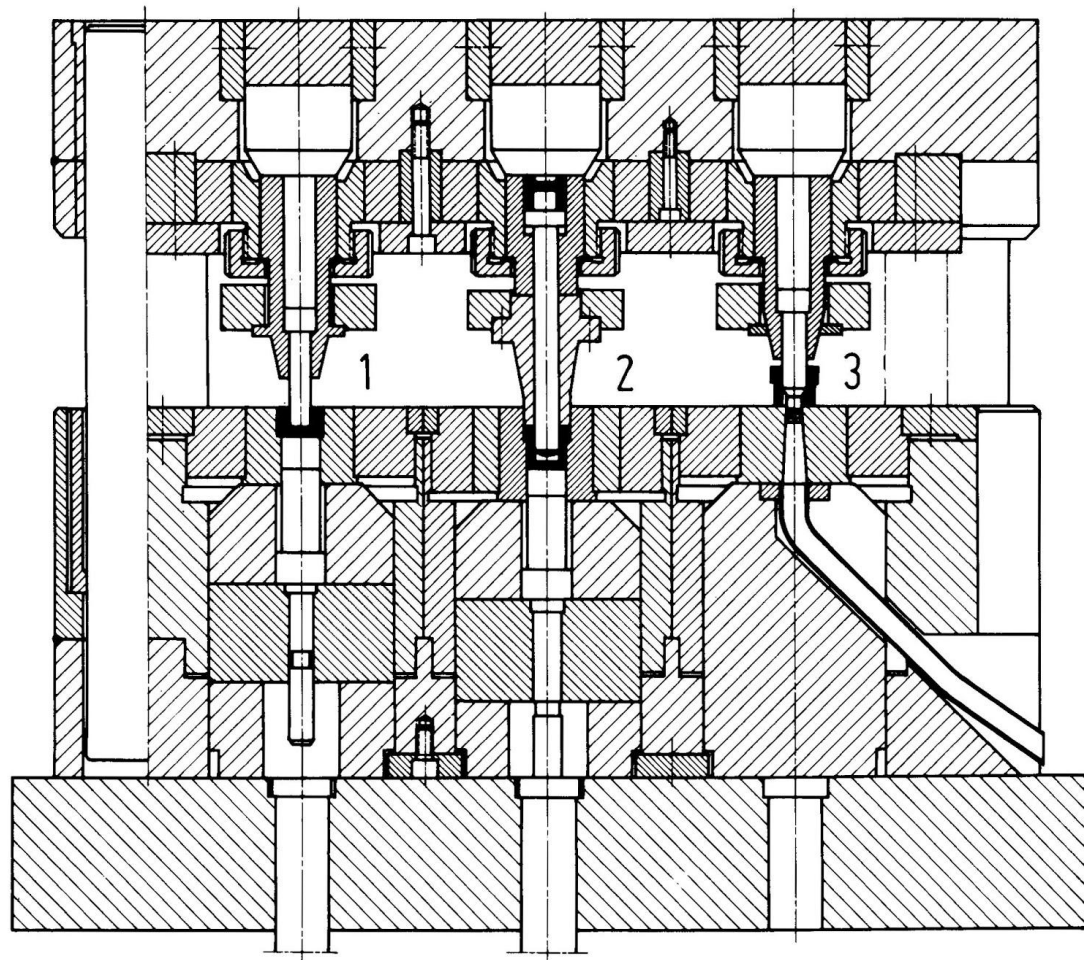
Alat za suprotnosmerno istiskivanje

- a – pritisna ploča
- b – žig
- c – matrica
- d – ojačavajući prsten
- h - radni komad
- f – izbacivač obratka
- g – skidač obratka



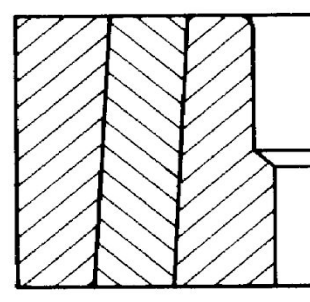
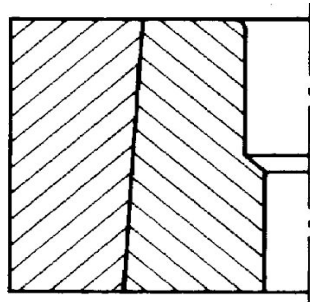
Višepozicioni alat

U jednom kućištu
je ugrađeno
nekoliko različitih
alata.



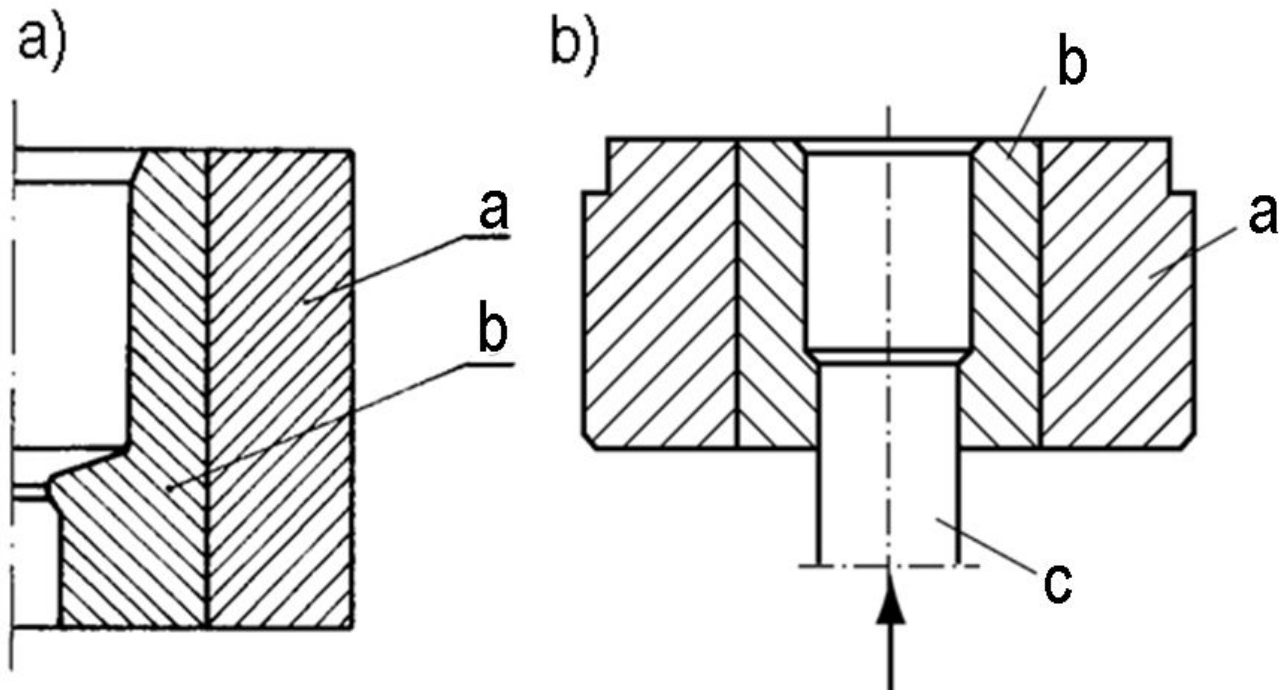
Matrica

Usled pritiska koji nastaje u procesu istiskivanja u matrici se javljaju visoke vrednosti tangencijalnih i radijalnih napona. Zbog pojave ovih napona potrebno je ojačavanje matrice koje je izvodi pomoću posebnih prstenova koji se montiraju na spoljašnju površinu matrice. Broj prstenova zavisi od unutrašnjeg pritiska koji deluje na matricu u radijalnom pravcu.



Ako je unutrašnji pritisak:

- $p \leq 1000$ MPa nije potrebno ojačavanje matrice
- $p \leq 1600$ MPa potreban je jedan ojačavajući prsten
- $p \leq 2200$ MPa potrebna su dva ojačavajuća prstena
- $p \geq 2200$ MPa potrebna su tri ojačavajuća prstena



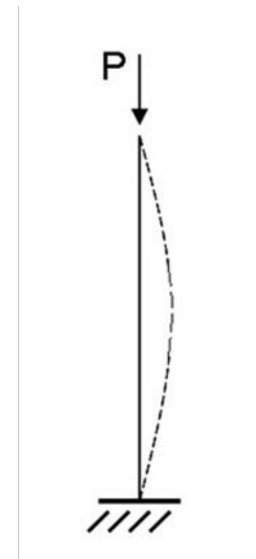
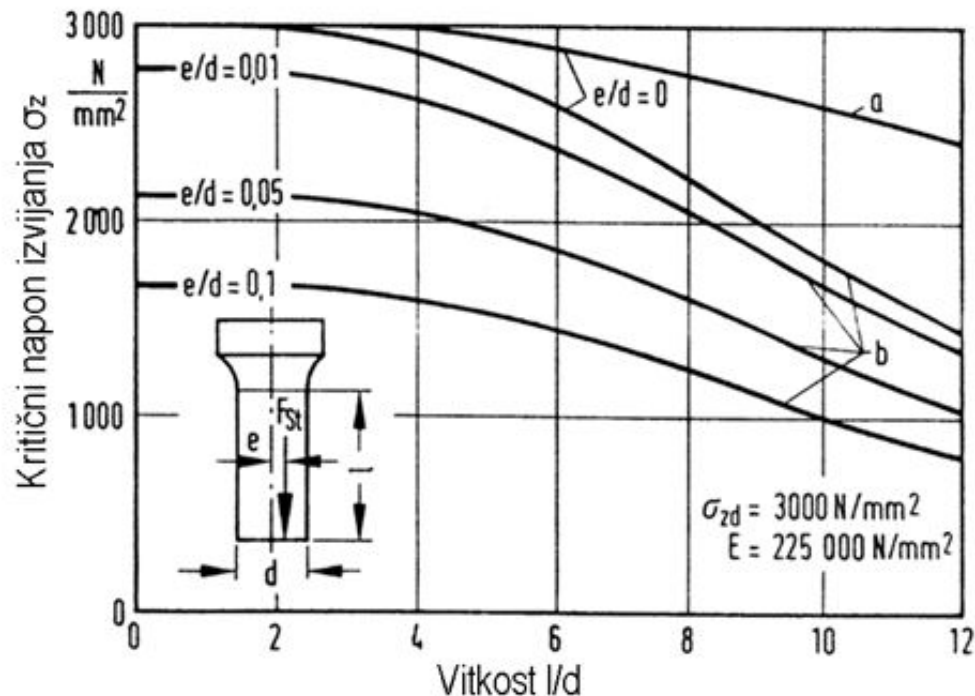
a) Istosmerno istiskivanje b) suprotnosmerno istiskivanje

a – ojačavajući prsten; b – matrica; c – dno matrice/izbacivač

Žig

Žig pored matrice predstavlja najopterećeniji deo alata. Odnos dužine i prečnika žiga l/d naziva se vitkost žiga. Vitkost bi trebala da bude što manja, najčešće iznosi od 3 do 4.

Za alatne čelike postoji generalna preporuka da pritisak na žigu ne bi trebao da prelazi 2500 N/mm^2



Izvijanje

Mašine za hladno istiskivanje

Za izvođenje procesa hladnog istiskivanja koriste se i mehaničke i hidraulične prese.

Hidraulične prese zbog svojih karakteristika (mogućnost ostvarivanja velikih sila, jednostavno podešavanje veličine hoda i brzine) više odgovaraju zahtevima hladnog istiskivanja.

Međutim, ako se zahteva veća brzina (veći broj hodova u minuti), uspešno se primenjuju i mehaničke prese.