

TPD 2020

**Mašine za TPD
Slobodno sabijanje**

Mašine za TPD

Mašine i alati predstavljaju najvažnije komponente obradnog sistema u tehnologiji plastičnog deformisanja. Pomoću alata definišemo oblik i dimenzije dela koji se proizvodi (obratka), dok mašina omogućuje kretanje alata i zajedno sa njim ostvarivanje potrebne deformacione sile koja dovodi do promene deformacionog stanja u obratku i trajne promene njegovog oblika.

Opšta podela mašina u tehnologiji plastičnog deformisanja odnosi se na podelu prema karakteristikama mašina kojima je uslovljen završetak procesa plastičnog deformisanja.

Prema tom kriterijumu mašine za TPD mogu se podeliti na:

1. Mašine čija je glavna karakteristika hod
2. Mašine čija je glavna karakteristika sila
3. Mašine čija je glavna karakteristika energija

Podela mašina za TPD se može izvršiti i po sledećim kriterijumima:

Prema promeni opterećenja mašine mogu biti

- periodičnog dejstva i
- kontinualnog dejstva

Prema vrsti pogonskog sistema mašine se dele na

- mašine sa mehaničkim pogonom
- hidraulične mašine
- pneumatske mašine itd.

Prema broju dejstava

- mašine jednostrukog (prostog) dejstva
- mašine višestrukog dejstva

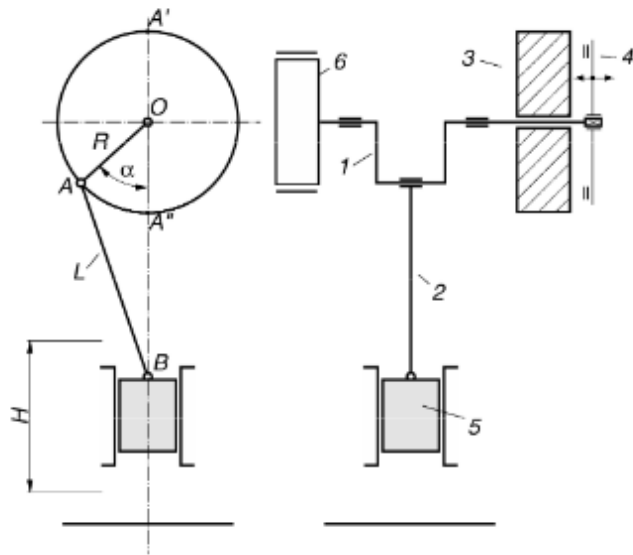
Prema nameni

- mašine univerzalne namene
- mašine specijalne namene

Prema broju radnih pozicija

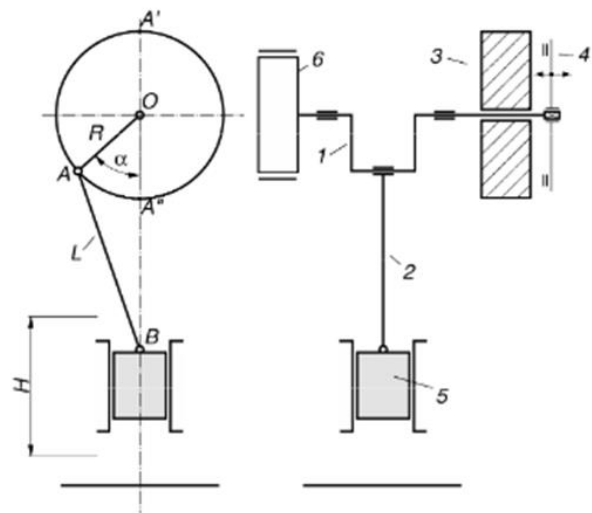
- jednopozicione
- višepozicione

Mašine čija je glavna karakteristika hod

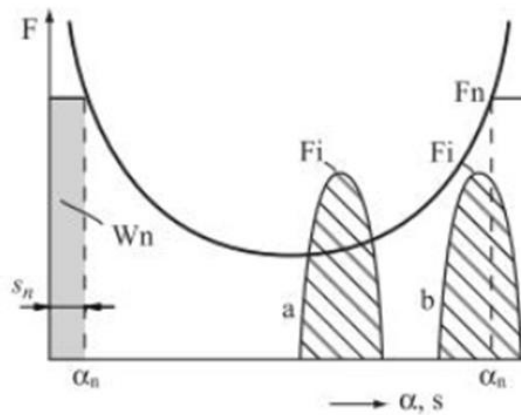


Osnovna karakteristika ovih mašina je da se proces deformisanja završava u trenutku dostizanja maksimalnog hoda.

Šema krivajnog pogonskog mehanizma
1 – krivajno vratilo, 2 – krivajna poluga,
3 – zamajac, 4 – spojnica, 5 – pritiskivač,
6 - kočnica



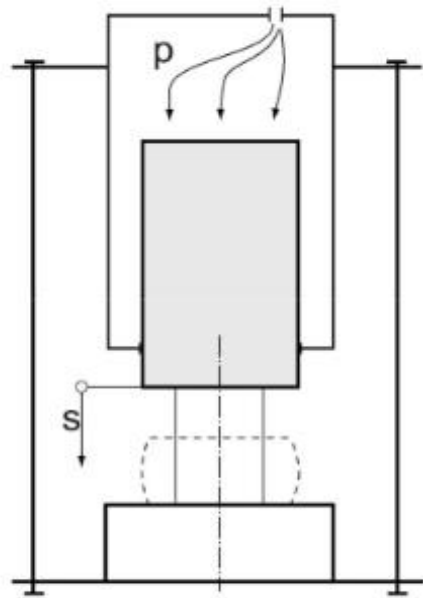
Šema krivajnog pogonskog mehanizma
 1 – krivajno vratilo, 2 – krivajna poluga,
 3 – zamajac, 4 – spojnica, 5 – pritiskivač,
 6 - kočnica



Dijagram sile na pritiskivaču krivajne
 prese sa prostim krivajnim
 mehanizmom

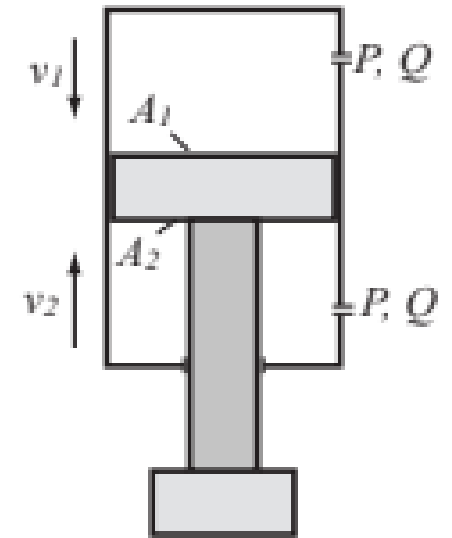


Mašine čija je glavna karakteristika sila

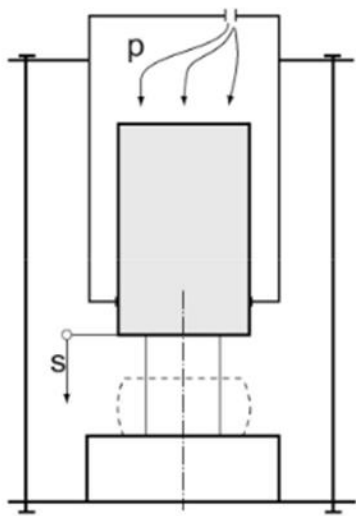


Kod mašina čija je glavna karakteristika sila proces deformisanja se zaustavlja dostizanjem maksimalne (nominalne) sile.

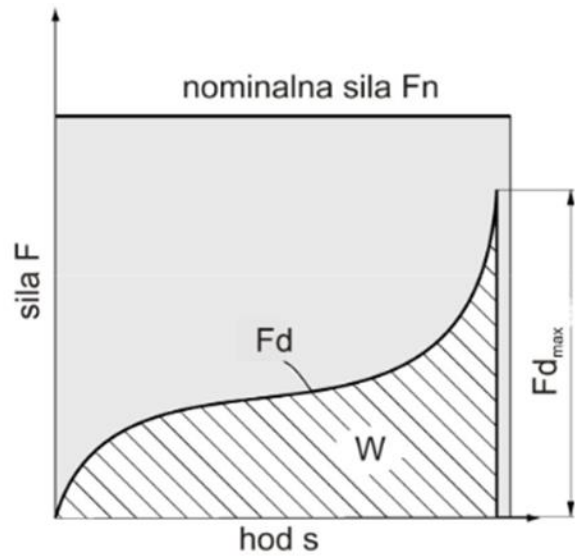
U ovu grupu spadaju hidraulične prese.



Šema hidraulične prese

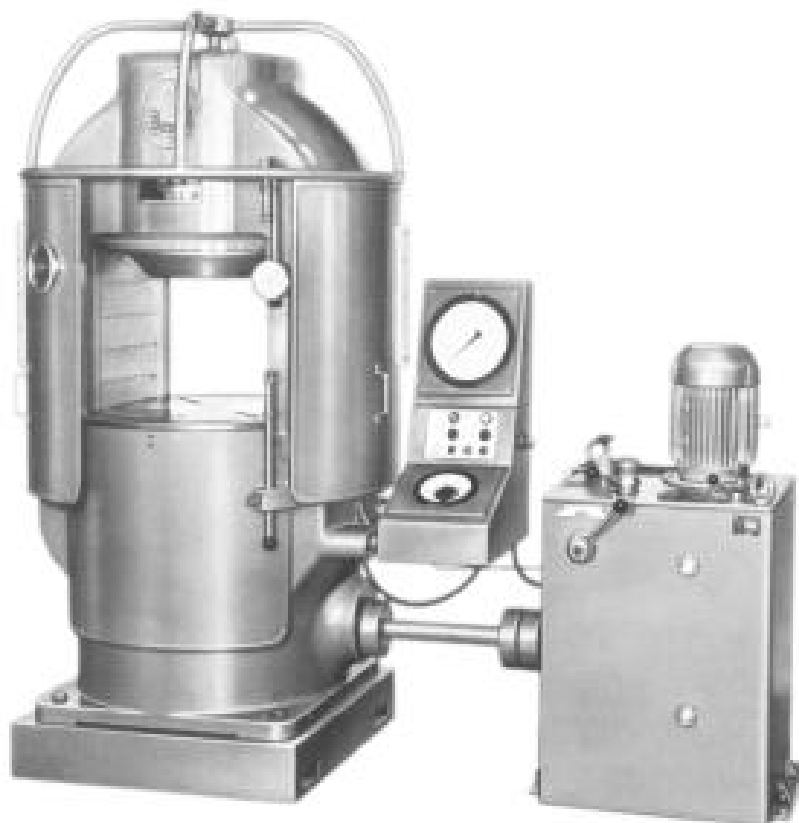


Šema hidraulične prese



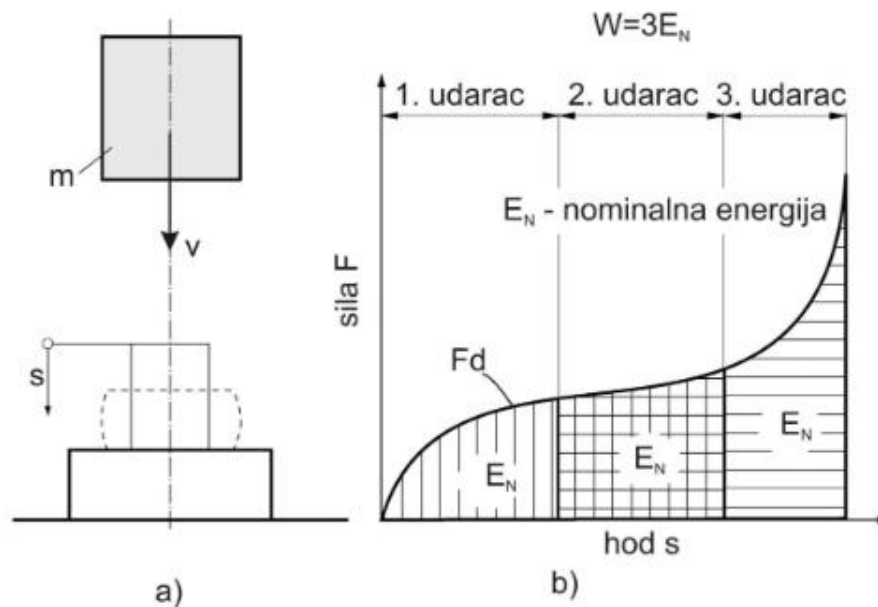
Dijagram promene sile kod hidraulične prese





Hidraulična
presa za
utiskivanje
gravura

Mašine čija je glavna karakteristika energija



Šema čekića

Dijagram sile

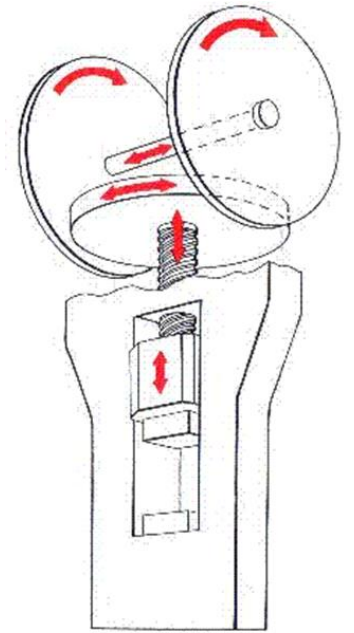
Mašine čija je glavna karakteristika energija odlikuju se time što se proces deformisanja zaustavlja kada se utroši raspoloživa energija malja ili bata. U ovu grupu mašina spadaju čekići i zavojne prese.



Čekić



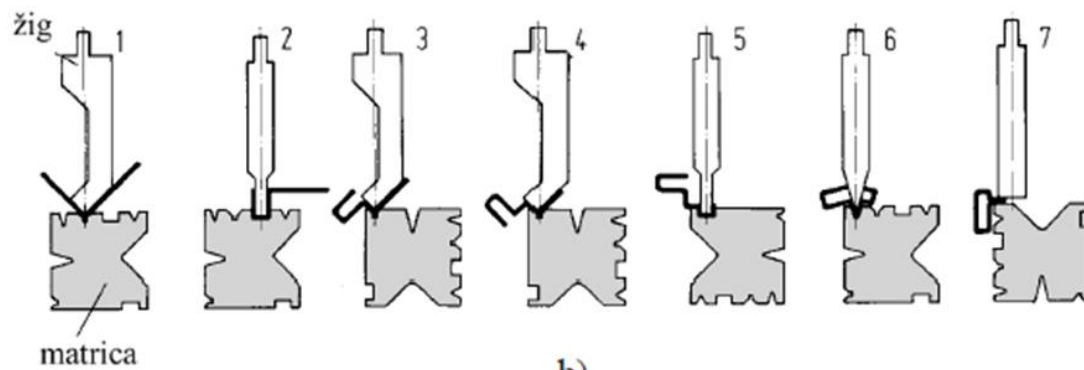
Zavojna presa



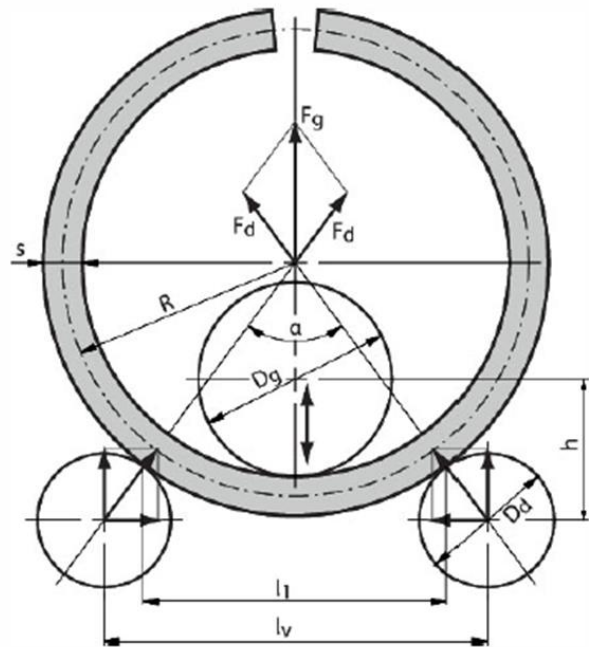
Savijanje na abkant presi



a)



Kružno savijanje lima



Mašina za rotaciono izvlačenje lima

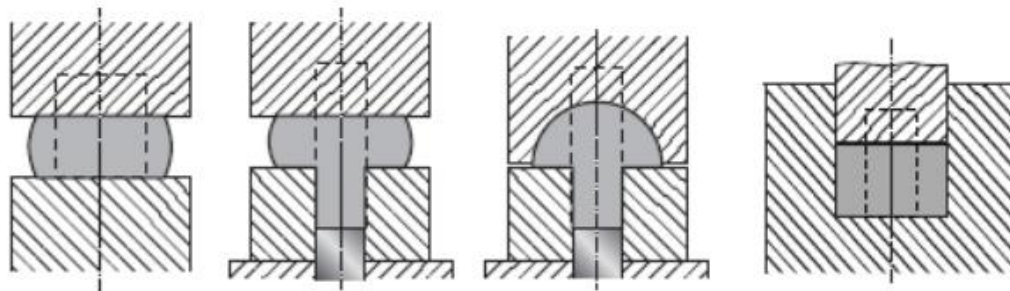


Sabijanje valjka

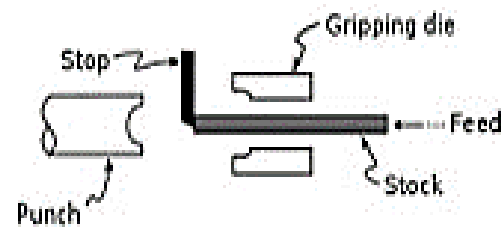
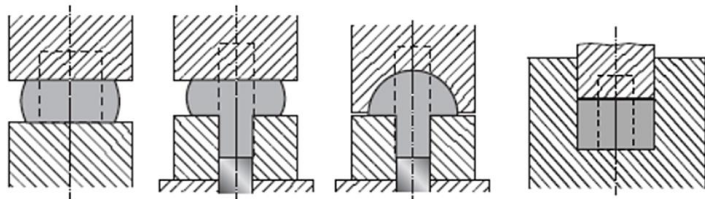
Sabijanje valjka predstavlja elementarnu operaciju zapreminskog oblikovanja.

Može biti samostalna operacija ili operacija predoblikovanja pri izradi složenih delova.

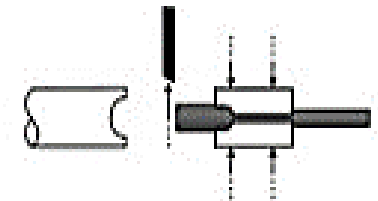
Može biti slobodno ili u kalupu.



Radna površina alata pri slobodnom sabijanju valjka i sabijanju valjka u kalupu može biti različitog oblika. Sabijanje se najčešće vrši ravnim pločama, ali se primenjuju i alati konusnog i sferičnog oblika i njihove kombinacije sa ravnim pločama.



(1) Bar stock is fed into the former



(2) Closing die grip on stock forming the carriage

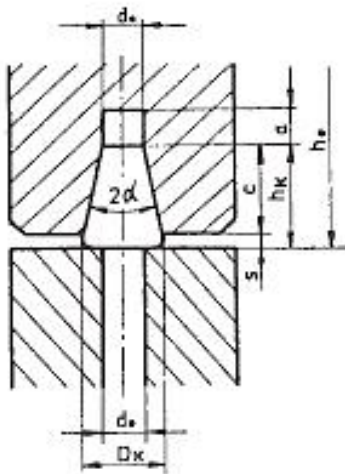


(3) Punch moves forward



(4) Round head is formed by punch

Oblikovanje sabijanjem delova složenijeg oblika izvodi se u više faza, pri čemu treba voditi računa o odnosu između dimenzija priprema i obratka, koje su posebno definisane za hladno i toplo oblikovanje, s obzirom na granične mogućnosti oblikovanja i mogućnost pojave izvijanja.

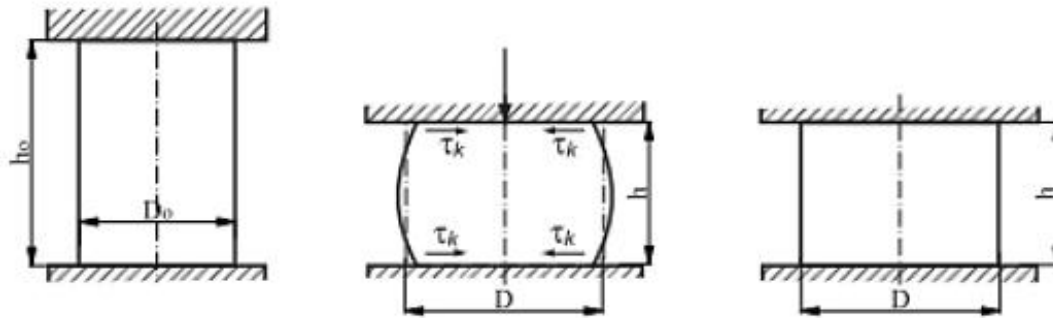


Broj operacija	$(h_0/d_0)_g$	$(d_1/h_1)_g$	$(d_1/d_0)_g$
1	2,4	4,5	2,2
2	2,4÷4,5	4,5÷8,5	2,2÷2,6
3	4,5÷8	8,5÷10	2,6÷4
>3	>8		



Izvijanje

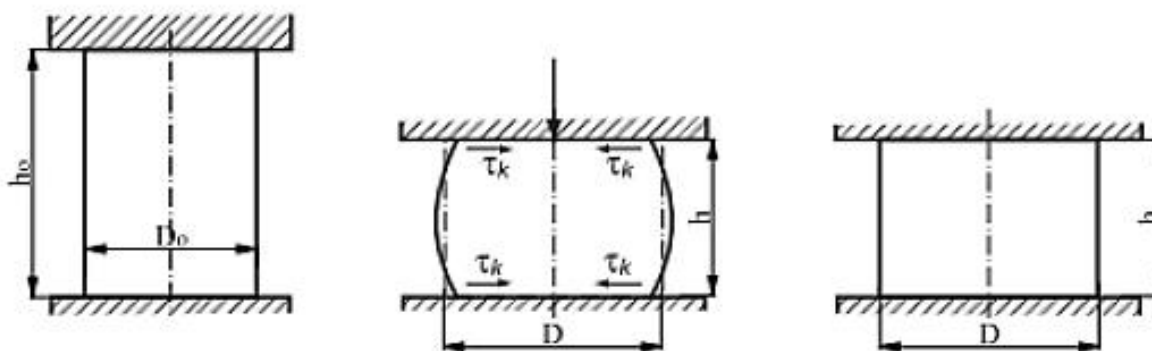
Slobodno sabijanje valjka ravnim pločama



Valjak se sabija ravnim pločama tako da dolazi do smanjenja početne visine uz istovremeno povećanje prečnika. Odnos početne visine i prečnika h_0/d_0 ne bi trebao da prelazi odnos 2,5 – 3,5. Prekoračenje ovog odnosa može da dovede do izvijanja obratka.

U procesu slobodnog sabijanja valjka zbog uticaja tangencijalnih napona na kontaktnim površinama (kontaktno trenje) dolazi do naburičavanja dela.

U teorijskoj analizi procesa koristi se pretpostavka da je valjak i nakon sabijanja pravilan.



Deformacije kod slobodnog sabijanja

Deformaciono stanje kod slobodnog sabijanja valjka je troosno.

- Deformacija visine $\varphi_h = \ln \frac{h}{h_0} < 0$
- Radijalna deformacija $\varphi_r = \ln \frac{R}{R_0} > 0$
- Tangencijalna deformacija $\varphi_t = \ln \frac{2\pi R}{2\pi R_0} = \ln \frac{R}{R_0} = \varphi_r > 0$

Pošto je $\varphi_r + \varphi_t + \varphi_h = 0$ i $\varphi_r = \varphi_t$

može se izvesti da je

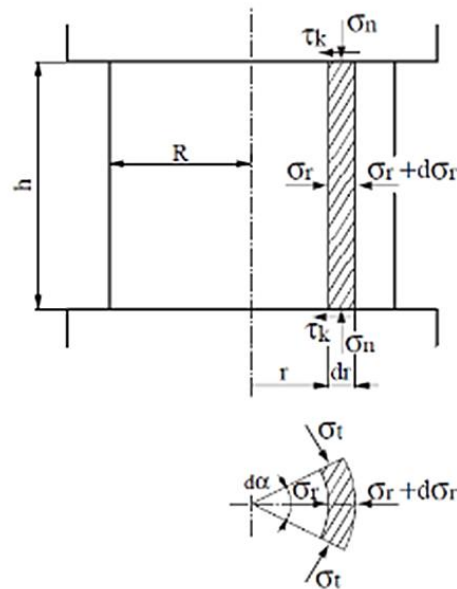
$$\varphi_r = \varphi_t = -\frac{\varphi_z}{2}$$

Kada se izrazi za deformacije uvrste u izraz za ekvivalentnu deformaciju može se dokazati da je ekvivalentna deformacija jednaka deformaciji visine.

$$\varphi_e = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\varphi_r - \varphi_t)^2 + (\varphi_t - \varphi_h)^2 + (\varphi_h - \varphi_r)^2} = |\varphi_z| = \ln \frac{h_0}{h}$$

Analiza naponskog stanja kod slobodnog sabijanja valjka

Diferencijalna jednačina ravnoteže može se postaviti na osnovu naponskog stanja prikazanog na slici.



$$\sigma_r \cdot h \cdot r \cdot d\alpha - (\sigma_r + d\sigma_r) \cdot (r + dr) \cdot h \cdot d\alpha - 2 \cdot \tau_k \cdot r \cdot d\alpha \cdot dr + 2 \cdot \sigma_t \cdot h \cdot dr \cdot \sin \frac{d\alpha}{2} = 0$$

Kada se u gornju jednačinu uvrsti da je $\tau_k = \mu \cdot \sigma_n$ diferencijalna jednačina dobija sledeći oblik

$$\sigma_r \cdot dr \cdot h + d\sigma_r \cdot r \cdot h + 2\mu \cdot \sigma_n \cdot r \cdot dr - \sigma_t \cdot dr \cdot h = 0$$

Kako je $\varphi_r = \varphi_t$, pretpostavka je da je i $\sigma_r = \sigma_t$, odatle sledi

$$d\sigma_r \cdot r \cdot h + 2\mu \cdot \sigma_n \cdot r \cdot dr = 0$$

Eliminacija radijalnog napona iz prethodne jednačine može se izvršiti primenom uslova plastičnosti, koji za ovaj slučaj glasi:

$$\sigma_n - \sigma_r = K$$

odakle sledi

$$d\sigma_n = d\sigma_r$$

Konačan oblik diferencijalne jednačine ravnoteže ima sledeći oblik

$$\frac{d\sigma_n}{\sigma_n} = -2\mu \frac{dr}{h}$$

čijom integracijom se dobija

$$\ln\sigma_n = -\frac{2\mu}{h}r + C_1$$

Integraciona konstanta određuje se iz sledećeg uslova:

Kada je $r = R$ vrednost radijalnog i normalnog napona imaju sledeće vrednosti

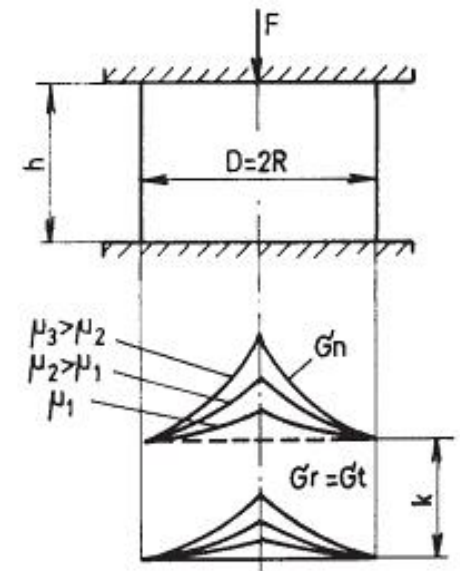
$$\sigma_r = 0 \quad i \quad \sigma_n = K$$

Odatle sledi da će integraciona konstanta imati sledeću vrednost

$$C_1 = \ln K + \frac{2\mu}{h} R$$

Rešavanjem diferencijalne jednačine ravnoteže dobija se izraz za normalni napon u procesu slobodnog sabijanja.

$$\sigma_n = K e^{\frac{2\mu}{h}(R-r)}$$



Kontaktne napone u zavisnosti od trenja

Deformaciona sila u procesu slobodnog sabijanja određuje se integracijom izraza za normalni napon.

$$F = \int \sigma_n dA = \int_0^R \sigma_n 2\pi r dr = 2\pi \int_0^R K e^{\frac{2\mu}{h}(R-r)} r dr$$

Da bi se odredio integral eksponencijalne funkcije, ona se aproksimira redom oblika:

$$e^x = 1 + x + \frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{6} + \dots$$

pri čemu se podintegralna funkcija aproksimira sa prva dva člana reda.

$$F = 2\pi K \int_0^R \left[1 + \frac{2\mu}{h}(R - r) \right] r dr$$

Konačan izraz za deformacionu silu kod slobodnog sabijanja valjka ima sledeći oblik:

$$F = KA \left(1 + \frac{\mu D}{3h} \right)$$

Idealna deformaciona sila se određuje za $\mu = 0$

$$F_{id} = KA$$

$$F = KA \left(1 + \frac{\mu D}{3h} \right)$$

Da bi se odredila deformaciona sila kod slobodnog sabijanja valjaka potrebno je odrediti sledeće veličine:

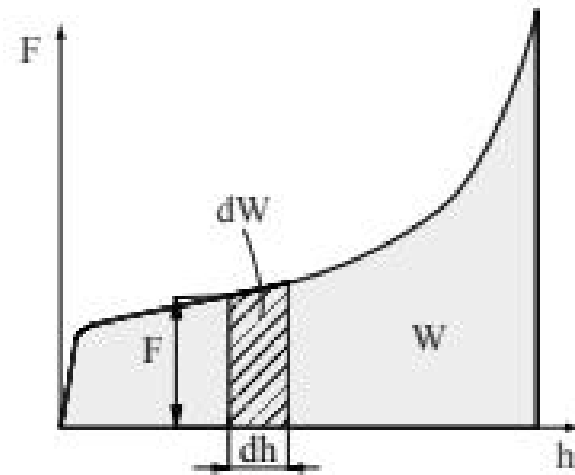
K – napon tečenja

A – površinu poprečnog preseka valjaka

μ – koeficijent trenja

D – prečnik valjka

h – visinu valjka



Promena sile u zavisnosti od hoda alata kod slobodnog sabijanja valjka

Deformacioni rad kod slobodnog sabijanja valjka određuje se na sledeći način:

$$W = \int_{h_0}^h F dh = \int_{h_0}^h KA \left(1 + \frac{\mu D}{3d} \right) dh$$

Konačan izraz imati sledeći oblik

$$W = V K_{sr} \left[\ln \frac{h_0}{h} + \frac{2}{9} \mu \left(\frac{D}{h} - \frac{D_0}{h_0} \right) \right]$$

$$W = V K_{sr} \left[\ln \frac{h_0}{h} + \frac{2}{9} \mu \left(\frac{D}{h} - \frac{D_0}{h_0} \right) \right]$$

Da bi se odredio deformacioni rad kod slobodnog sabijanja valjaka potrebno je odrediti sledeće veličine:

V - zapreminu obratka

K_{sr} – srednji napon tečenja, koji se određuje na osnovu početne i krajnje vrednosti

$$K_{sr} = \frac{K_0 + K_1}{2}$$

D_0, D – prečnici na početku i na kraju procesa sabijanja

h_0, h – visine na početku i na kraju procesa sabijanja

Idealan deformacioni rad dobija se kada se u izraz za ukupan deformacioni rad uvrsti da je koeficijent trenja jednak nuli, $\mu = 0$.

$$W_{id} = V K_{sr} \ln \frac{h_0}{h} = V K_{sr} \varphi$$

Stepen korisnog dejstva procesa sabijanja je:

$$\eta = \frac{W_{id}}{W}$$

Sabijanje valjka u kalupu

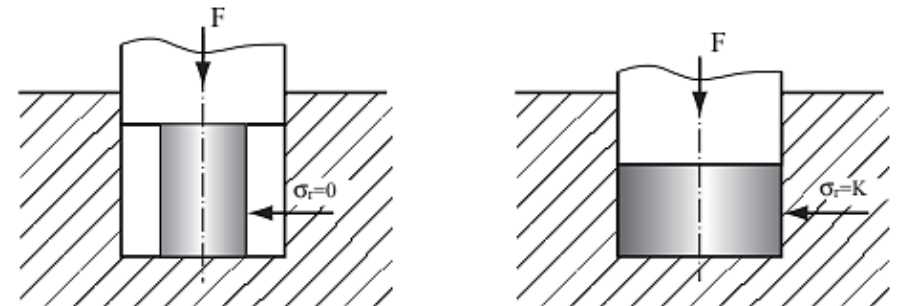
Početna faza sabijanja valjka u kalupu identična je slobodnom sabijanju valjka. Na kraju procesa materijal obratka bočnim površinama dolazi u kontakt sa materijalom alata. U ovom slučaju granični uslovi prilikom određivanja sile se menjaju. Deformaciona sila i deformacioni rad imaju dvostruku vrednost u odnosu na silu i rad kod slobodnog sabijanja.

Deformaciona sila

$$F = 2KA \left(1 + \frac{\mu D}{3h} \right)$$

Deformacioni rad

$$W = 2V K_{sr} \left[\ln \frac{h_0}{h} + \frac{2}{9} \mu \left(\frac{D}{h} - \frac{D_0}{h_0} \right) \right]$$



a)

b)

Sabijanje valjka u kalupu
a) početak procesa b) kraj procesa

Alati za sabijanje

Za slobodno sabijanje valjka u hladnom stanju koriste se masivne ploče kružnog ili pravougaonog preseka.

Za smanjenje opasnosti od loma potrebno je da debljina ploče bude odgovarajuća.

Kod visokih opterećenja poželjno je da debljina ploče bude jednaka prečniku ploče.

Radni elementi alata se izrađuju se od legiranog alatnog čelika, termički se obrađuju na tvrdoću od 60 do 62 HRC, a zatim se bruse i poliraju.

Mašine koje se koriste za sabijanje

Za jednostavne operacije sabijanja, koje se izvode u jednoj fazi, mogu se koristiti jednopozicione mehaničke i hidraulične prese prostog dejstva.

Za sabijanje u kalupu potrebno je da mašina ima izbacivač, odnosno potrebna je presa dvostrukog dejstva.

Za višeoperaciono oblikovanje sabijanjem (a i za druge postupke hladnog oblikovanja) koriste se jednopozicioni i višepozicioni automati.

Mašine za sabijanje biraju se na osnovu tehnoloških parametara procesa od kojih su najvažniji: deformaciona sila, deformacioni rad, dimenzije alata, hod alata, veličina serije.