

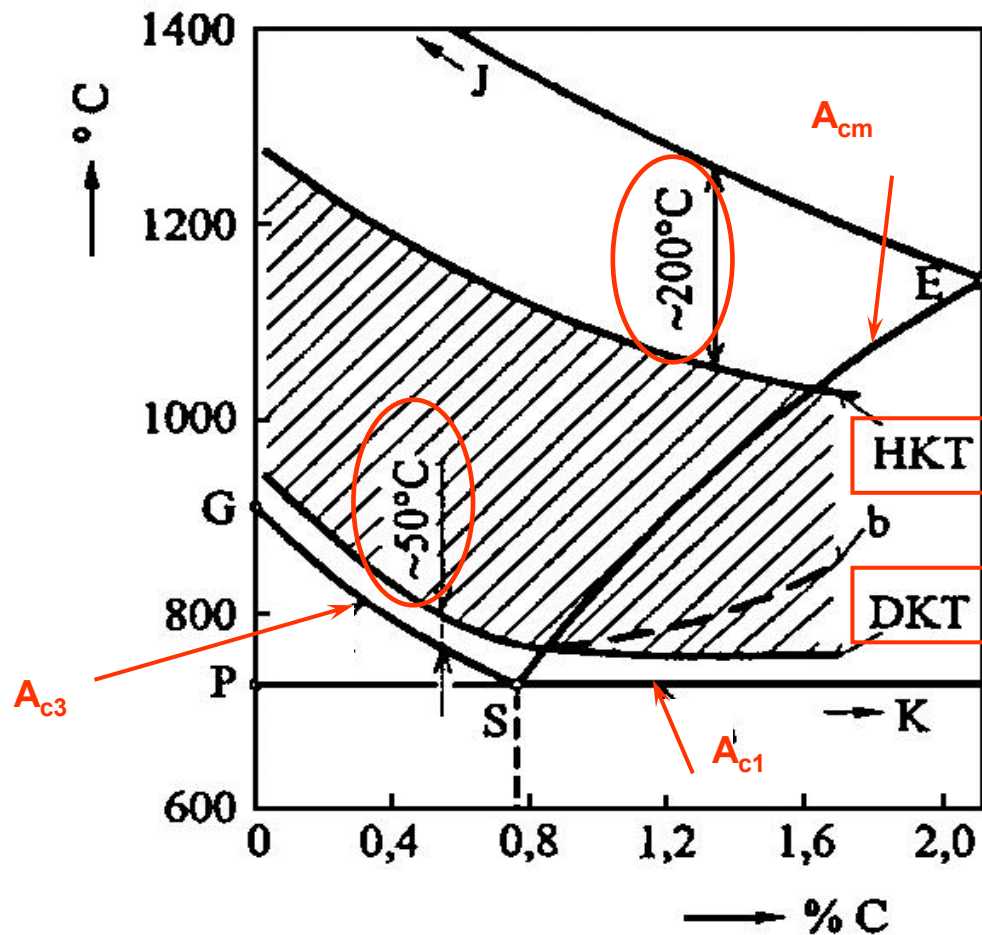
TECHNOLÓGIA TVÁRNENIA – Objemové tvárnenie za tepla

Objemové tvárnenie za tepla

Objemové tvárnenie za tepla je charakteristické tým, že pôsobením vonkajších síl na východiskový polotovár meníme jeho **tvar, rozmery** a **fyzikálno-mechanické vlastnosti s podstatnou zmenou jeho hrúbky** tak, aby spĺňal výkresom predpísané parametre, **nad teplotou rekryštalizácie**.

Tieto zmeny sa realizujú prostredníctvom **mechanizmov plastickej deformácie bez porušenia súdržnosti** materiálu.

Ohrev materiálu



Pásma kovacích teplôt
ocele (800 až 1300 °C),
zliatiny Cu (650 až 1000 °C),
zliatiny Al (350 až 500 °C)
zliatiny Ti (830 až 1060 °C).

Ohrev materiálu – parametre ohrevu

1. Teplota ohrevu

- a) **prehriatie**,
- b) **oduhličenie** – začiatok nad teplotou 721 °C,
- c) **oxidácia povrchu** – okuje (okovinenie) (FeO (*wüstit*), tvoriaci vnútornú vrstvu s obsahom (50 až 80) % z množstva okovín, Fe_3O_4 (*magnetit*), tvoriaci strednú vrstvu s obsahom (10 až 40) % z množstva okovín a Fe_2O_3 (*hematit*), tvoriaci hornú (povrchovú) vrstvu s obsahom 10 % z celkového množstva okovín),
- d) **spálenie povrchu**.

Ohrev materiálu – parametre ohrevu

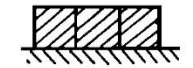
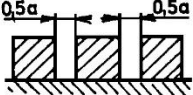
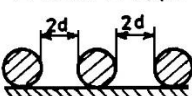
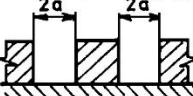
2. Rýchlosť a čas ohrevu

- a) *tepelná vodivosť materiálu,*
- b) *merná tepelná kapacita materiálu,*
- c) *súčiniteľ tepelnej rozťažnosti,*
- d) *spôsob odovzdávania tepla.*

3. Režim ohrevu a ochladzovania

4. Zloženie pecnej atmosféry

Ohrev materiálu – parametre ohrevu

Rozloženie polotovarov v peci	k_1	Rozloženie polotovarov v peci	k_2
	1		1
	1		1,4
	2		4
	1,4		2,2
	1,3		1,8

**Rozloženie ohrievaného materiálu
a jeho vplyv na rýchlosť (čas) ohrevu**

k_1 , k_2 – hodnoty opravných súčiniteľov, určované
tvorom prierezu polotovaru a jeho rozložením v peci

Ohrev materiálu – parametre ohrevu

Čas ohrevu

Pec plameňová

$$t = k\alpha D\sqrt{D} \quad (h)$$

Pec odporová

$$t = \frac{mc(T_K - T_0)}{a} \quad (s)$$

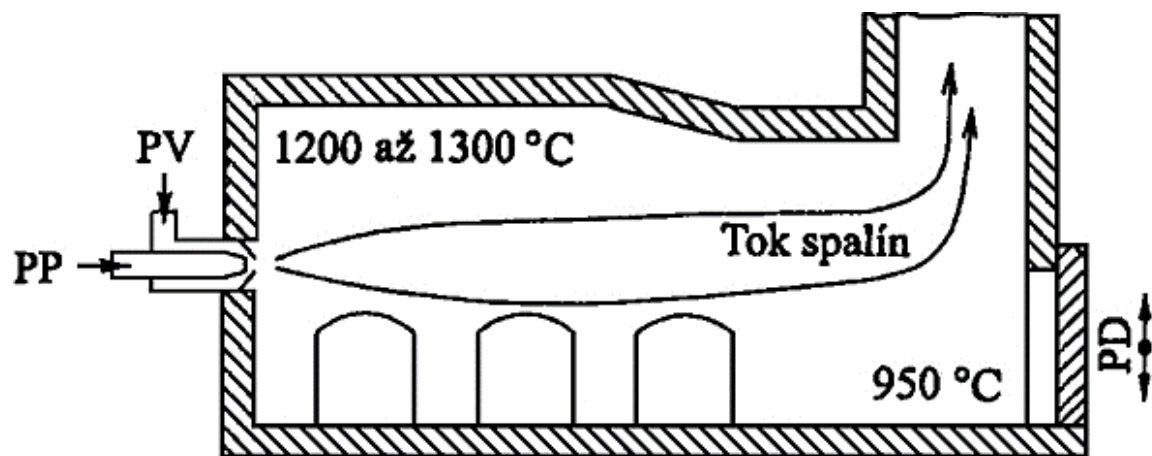
Zariadenia na ohrev materiálu

Pece rozdeľujeme podľa viacerých hľadísk a to:

1. **Podľa konštrukčného vyhotovenia** (pece komorové, pece hlbinné, vaňové pece, pece téglikové, pece poklopové, priebežné pece a iné),
2. **Podľa druhu paliva** (pece na plynné a tuhé palivo, pece elektrické a pece s vykurovaním na báze olejov),
3. **Podľa použitia** (pece pre voľné a zápusťkové kovanie).

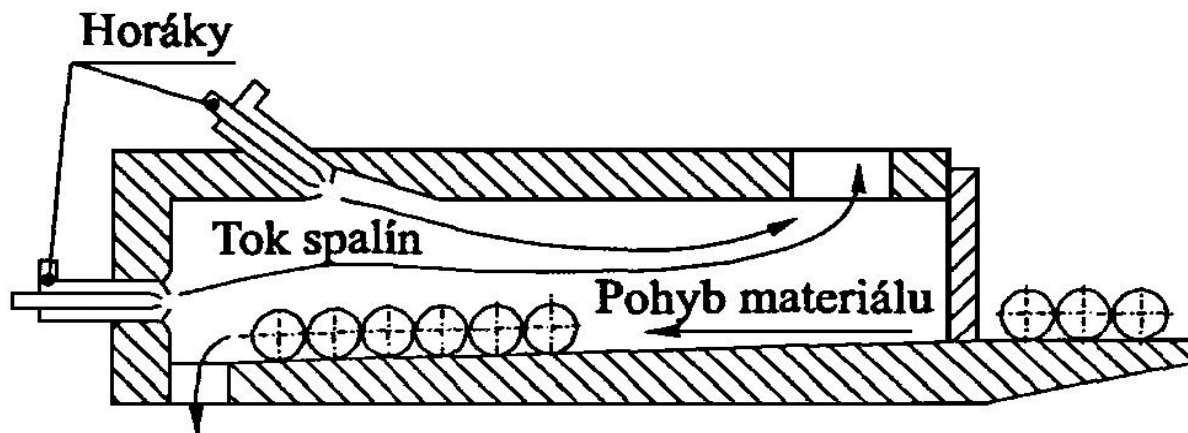
Ohrievacie zariadenia na voľné kovanie

1. Kováčske vyhne
2. Komorové pece
3. Narážacie (strkacie) pece



Komorová pec

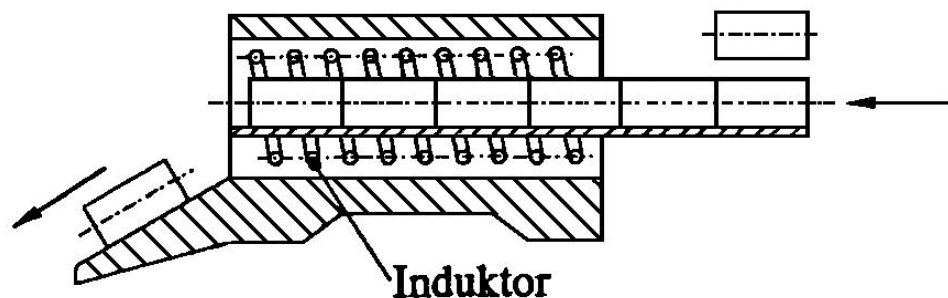
Ohrievacie zariadenia na voľné kovanie



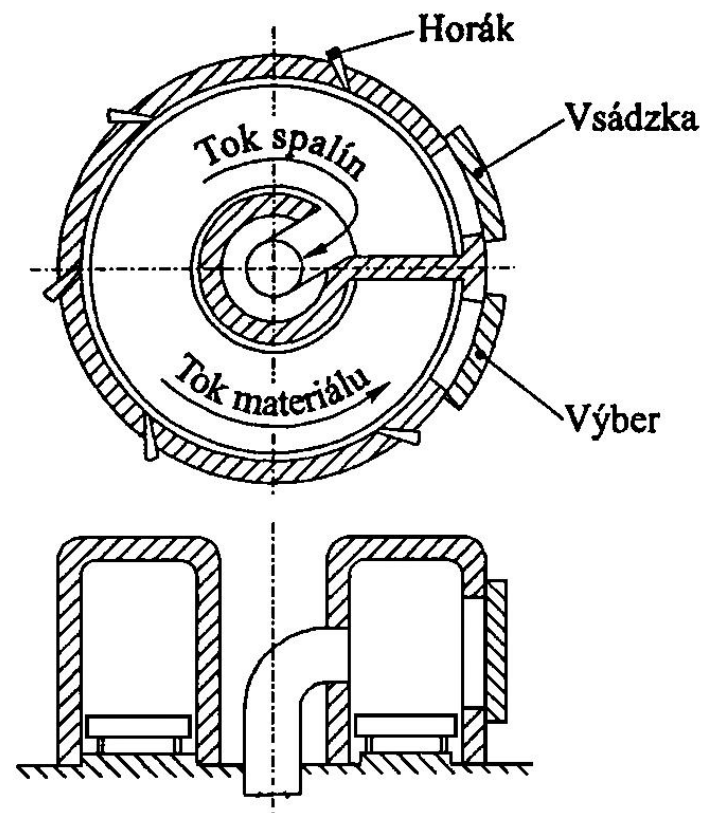
Narážacia (strkacia) pec

Ohrievacie zariadenia na zápustkové kovanie

1. Komerové pece
2. Narážacie (strkacie) pece
3. Štrbinové pece
4. Karuselové pece
5. Elektrické (odporové a indukčné)



Elektrický indukčný ohrev



Karuselová pec

Objemové tvárnenie za tepla

K základným prácam objemového tvárnenia za tepla patrí:

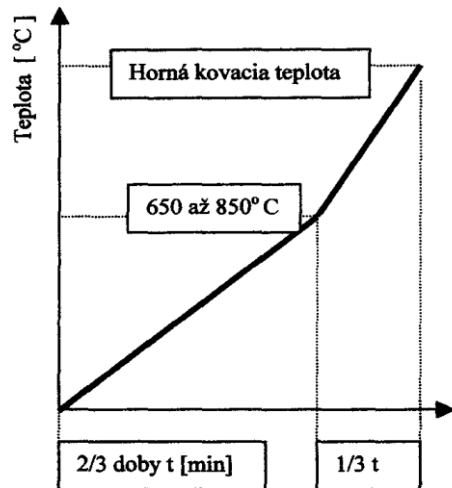
- **kovanie**
 - *voľné kovanie*
 - *zápustkové kovanie*
- **valcovanie**
 - *pozdĺžne valcovanie*
 - *priečne valcovanie*
 - *kosé valcovanie*

Ohrev materiálu – príklad

Čas ohrevu

Vypočítajte celkový čas ohrevu a čas ohrevu v jednotlivých fázach ohrevu, pre tyčový polotovár kruhového prierezu z materiálu STN 41 3251, ktorého rozmery sú $d = 58$ mm. Polotovár v peci je uložený vo vzdialenosti jeho priemeru a ohrev sa bude realizovať v peci plameňovej.

Oceľ legovaná Si. Súčet legujúcich prvkov je 10,6 % $\Rightarrow$ vysokolegovaná zliatinová oceľ.



Pec plameňová $t = k\alpha D\sqrt{D} = 20.1,35.0,058\sqrt{0,058} = 0,38 \quad h = \underline{22,8 \text{ min}}$

$$t_c = t_I + t_{II}$$

$$t_I = \frac{2}{3}k\alpha D\sqrt{D} = \frac{2}{3}.20.1,35.0,058\sqrt{0,058} = 0,25 \quad h = \underline{15,2 \text{ min}}$$

$$t_{II} = \frac{1}{3}k\alpha D\sqrt{D} = \frac{1}{3}.20.1,35.0,058\sqrt{0,058} = 0,13 \quad h = \underline{7,6 \text{ min}}$$

Ohrev materiálu – príklad

Čas ohrevu

Vypočítajte celkový čas ohrevu a čas ohrevu v jednotlivých fázach ohrevu, pre tyčový polotovár kruhového prierezu z materiálu STN 41 3251, ktorého rozmery sú $d = 58$ mm. Polotovár v peci je uložený vo vzdialenosti jeho priemeru a ohrev sa bude realizovať v peci plameňovej.

Oceľ legovaná Si. Súčet legujúcich prvkov je 10,6 % $\Rightarrow$ vysokolegovaná zliatinová oceľ.

Pec odporová

$$t = \frac{mc(T_K - T_0)}{a} = \frac{0,785 \cdot 0,478 \cdot (1200 - 21)}{1,41} = 313,76 \text{ s} = 5,23 \text{ min}$$

$$V_0 = \frac{\pi d_0^2}{4} h_0 = \frac{\pi 36^2}{4} 100 = 101787,6 \text{ mm}^3 = 0,1 \text{ dm}^3$$

$$m = \rho V_0 = 7,85 \cdot 0,1 = 0,785 \text{ kg}$$

Voľné kovanie



Voľné kovanie

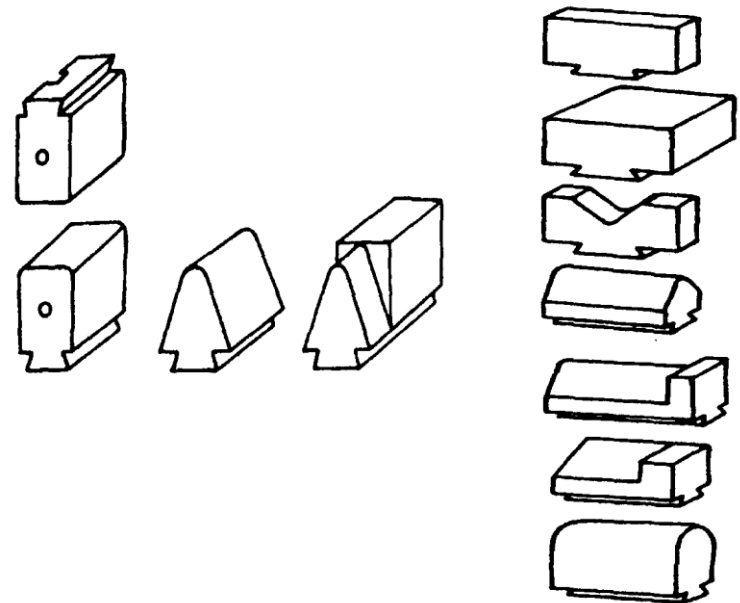
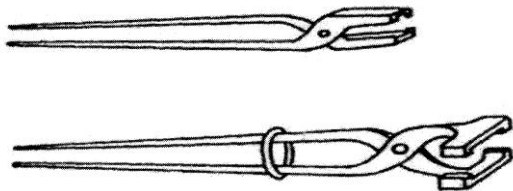


Voľné kovanie

Voľné kovanie

- *ručné* voľné kovanie
- *strojové* voľné kovanie

Ručné voľné kovanie



Voľné kovanie – ubíjanie

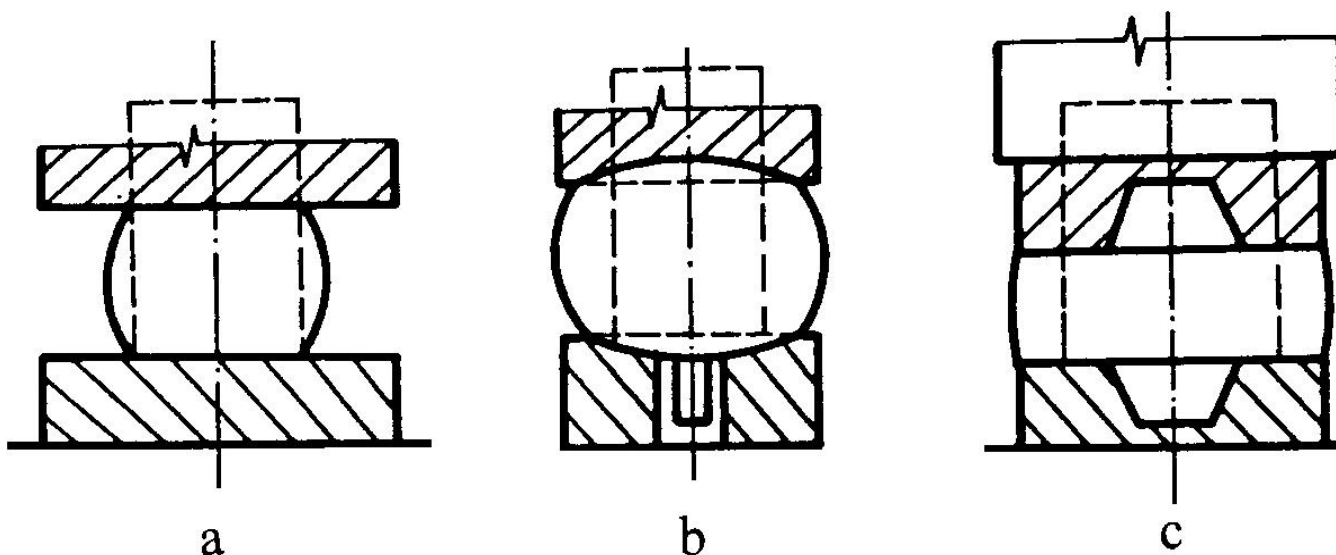


Schéma ubíjania

*a – rovnými kovadlami, b – vydutými kovadlami,
c – s vytlačovaním materiálu*

Voľné kovanie – predlžovanie

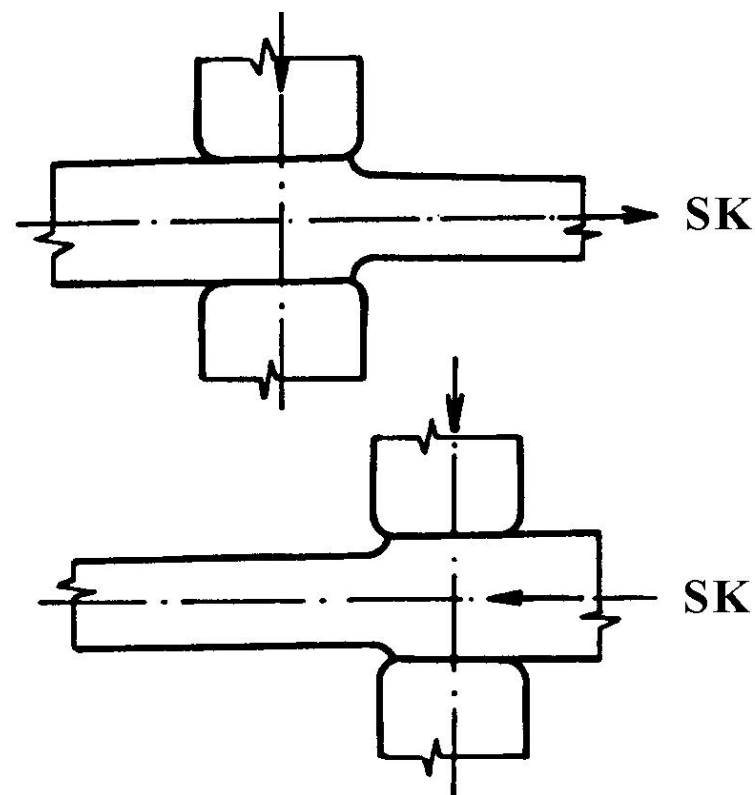


Schéma predlžovania

a – predlžovanie k sebe, b – predlžovanie od seba

SK – strana kováča

Voľné kovanie – kovanie na tŕni

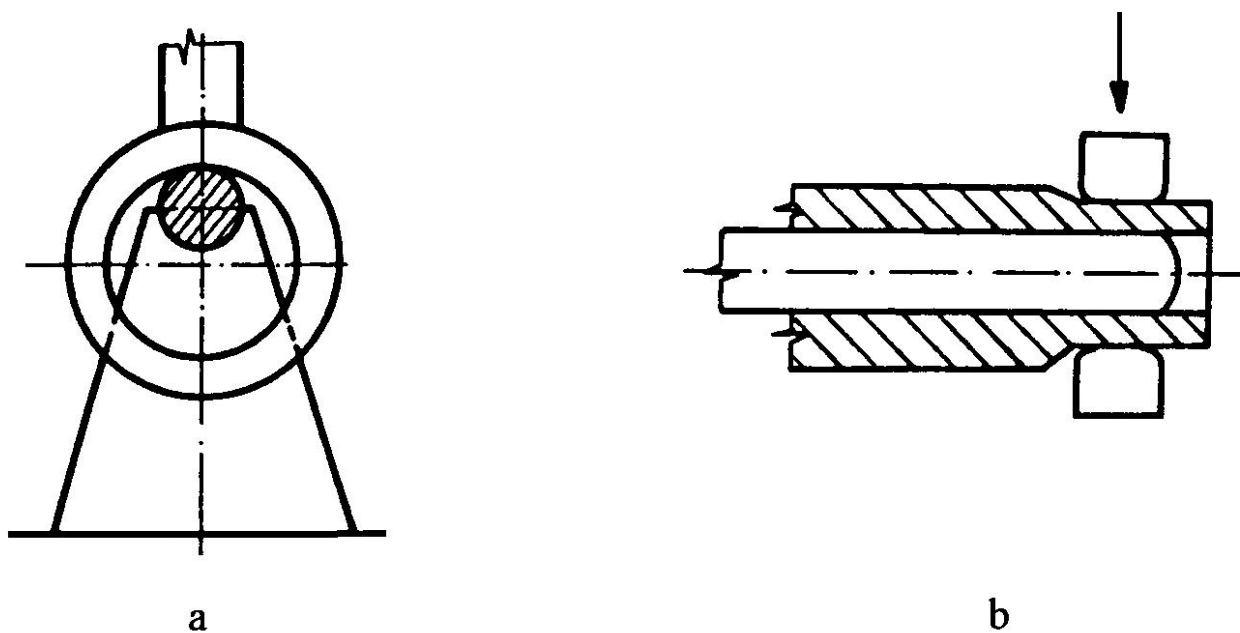


Schéma kovania na tŕni
a – rozširovanie, b – predlžovanie

Voľné kovanie – dierovanie

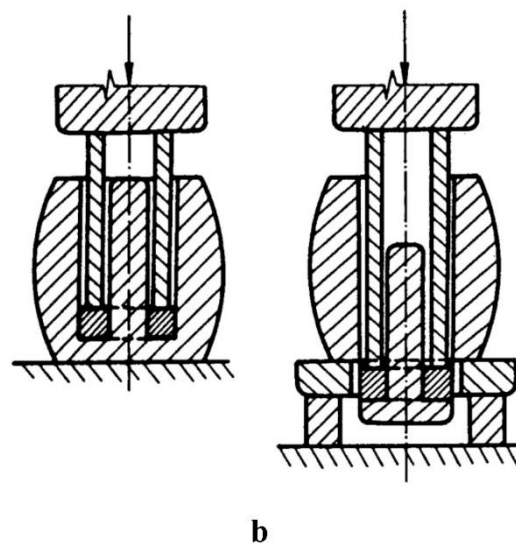
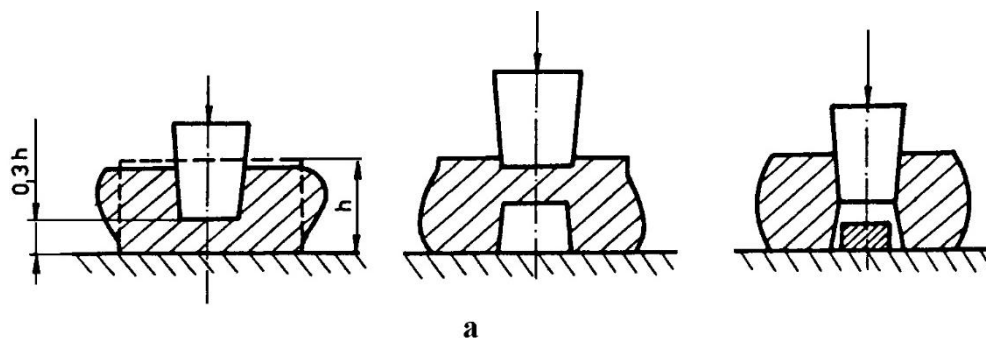


Schéma dierovania

*a – s plným trňom, b – dutým trňom,
h – výška polotovaru*

Voľné kovanie – sekanie

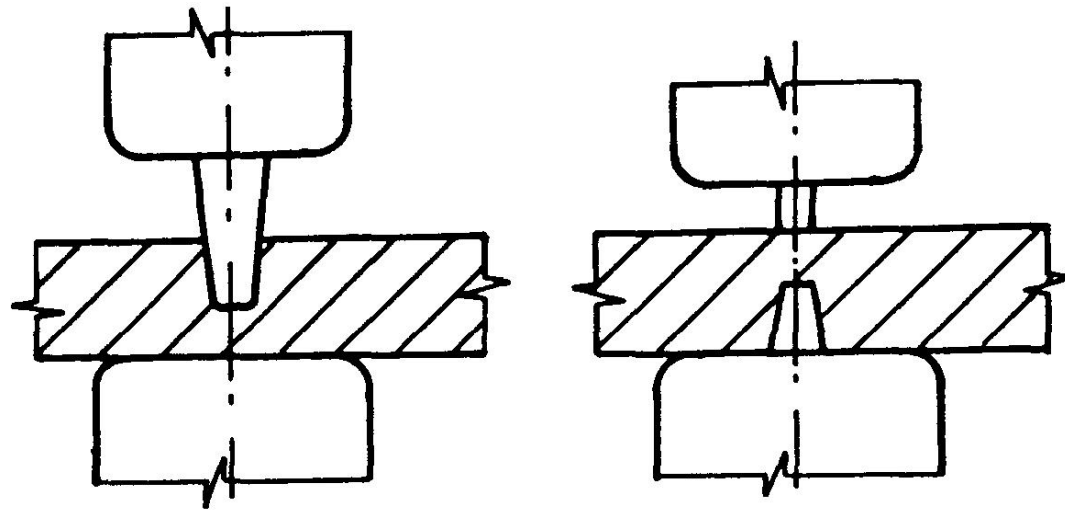


Schéma jednostranného sekania

Voľné kovanie – osadzovanie a presadzovanie

Schéma osadzovania

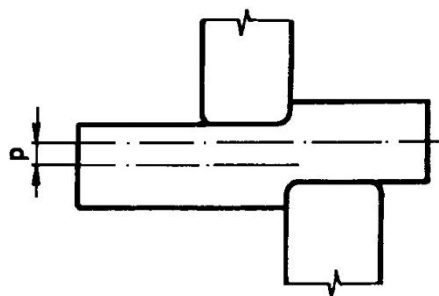
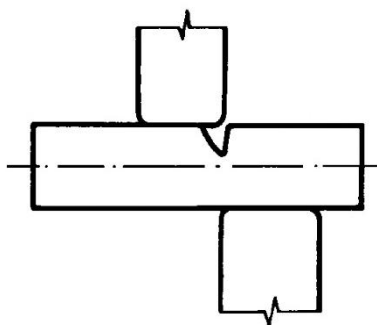
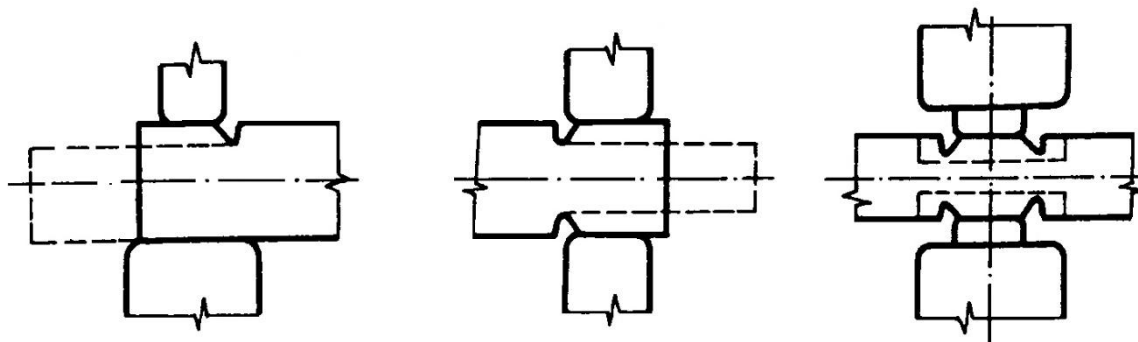


Schéma presadzovania

Voľné kovanie – ohýbanie a skrucovanie

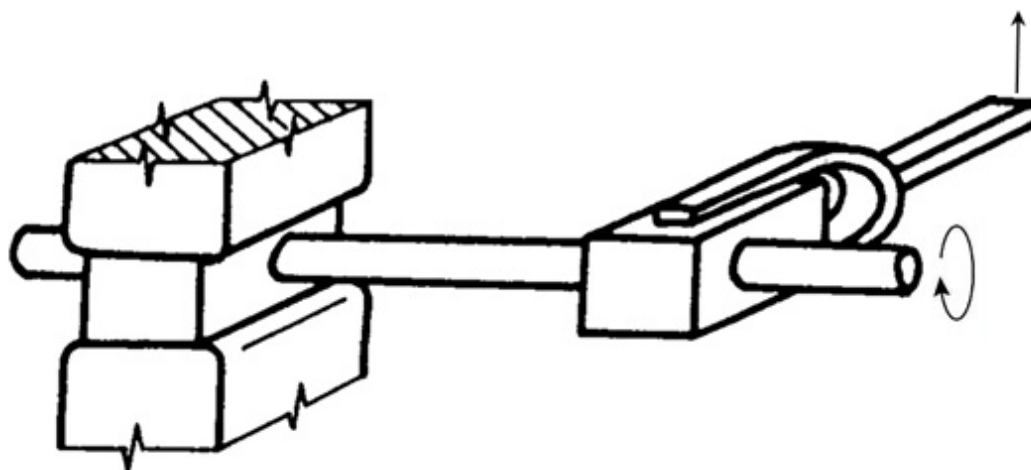


Schéma ohýbania a skrucovania

Voľné kovanie

Stupeň prekovania

$$K = \frac{S}{S_0} = \frac{h_0}{h} = \frac{L}{L_0}$$

Ubíjanie

Predlžovanie

Hmotnosť vsádzky

Ingot $m_{vsádzka} = m_{výkovok} + m_{strata (odsek)} + m_{opal} + m_{hlava} + m_{päta}$

Vývalok $m_{vsádzka} = m_{výkovok} + m_{strata (odsek)} + m_{opal}$

Voľné kovanie – energosilové parametre

Tvárnica sila

$$F_{VK} = p.S = k_o.S = \sigma_d.S$$

$$k_o = c.k_p = k_p.m.w.n.z$$

$$\sigma_d = c.\sigma_p = \sigma_p.m.w.n.z$$

$$F_{VK} = \sigma_p.m.w.n.z.S$$

Deformačná práca

$$A_d = \sigma_{ds}.V.\varphi$$

$$\sigma_{ds} = \frac{\sigma_{dz} + \sigma_{dk}}{2}$$

Voľné kovanie – voľba výrobného zariadenia

Pri voľbe tvárniaceho zariadenia vychádzame z hmotnosti barana bucharu m

Účinnosť tvárnenia
bucharom

$$\eta = \frac{A_d}{W}$$

$$W = \frac{A_d}{\eta}$$

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{A_d}{\eta}$$

$$W = \frac{1}{2}mv^2$$

$$m = \frac{2A_d}{\eta v^2} = \frac{2\sigma_{ds}V\varphi}{\eta v^2}$$

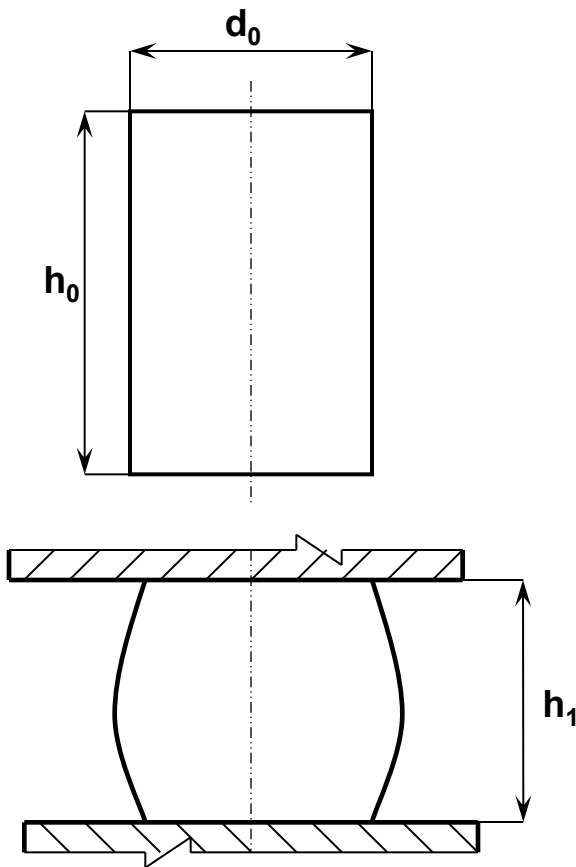
$$A_d = \sigma_{ds}V\varphi$$

Počet úderov

$$n = \frac{A_d}{A_{d1}\eta}$$

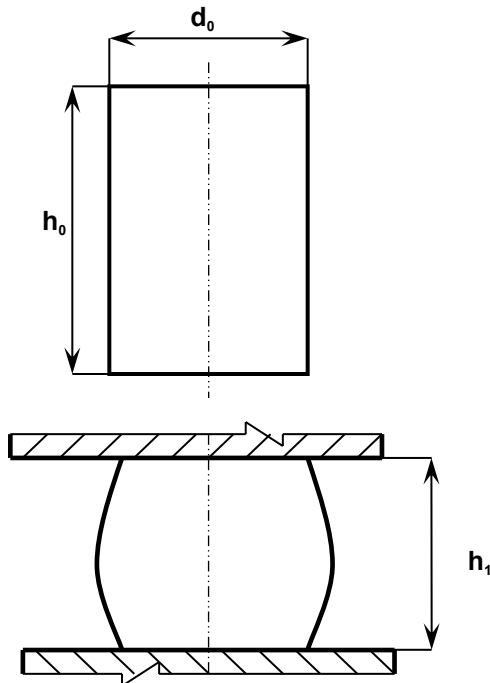
Voľné kovanie – príklad 1

Vypočítajte stupeň prekovania, pomerné a skutočné pretvorenie, silu a prácu pri ubíjaní polotovaru priemeru $d_0 = 60$ mm a výšky $h_0 = 130$ mm z materiálu STN 41 2040 ($R_m = \text{min. } 540$ MPa) na výšku $h_1 = 40$ mm. Ubíjanie sa bude realizovať v intervale teplôt (1200 až 1000) °C na vretenovom lise ($v = 0,5$ až $0,6$ ms⁻¹) s trením definovaným koeficientom trenia $f = 0,35$.



Stupeň prekovania: $K = ?$.
Pomerné pretvorenie $\varepsilon = ?$.
Skutočné pretvorenie $\varphi = ?$.
Sila na kovanie $F_{VK} = ?$.
Práca na kovanie $A_{VK} = ?$.

Voľné kovanie – príklad 1

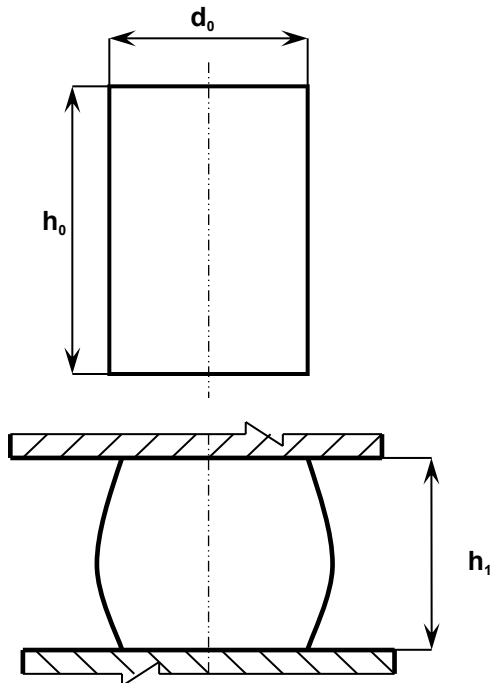


Vypočítajte stupeň prekovania, pomerné a skutočné pretvorenie, silu a prácu pri ubíjaní polotovaru priemeru $d_0 = 60$ mm a výšky $h_0 = 130$ mm z materiálu STN 41 2040 ($R_m = \text{min. } 540$ MPa) na výšku $h_1 = 40$ mm. Ubíjanie sa bude realizovať v intervale teplôt (1200 až 1000) °C na vretenovom lise ($v = 0,5$ až $0,6$ ms⁻¹) s trením definovaným koeficientom trenia $f = 0,35$.

Stupeň prekovania

$$K = \frac{h_0}{h_1}$$

Voľné kovanie – príklad 1



Vypočítajte stupeň prekovania, pomerné a skutočné pretvorenie, silu a prácu pri ubíjaní polotovaru priemeru $d_0 = 60$ mm a výšky $h_0 = 130$ mm z materiálu STN 41 2040 ($R_m = \text{min. } 540$ MPa) na výšku $h_1 = 40$ mm. Ubíjanie sa bude realizovať v intervale teplôt (1200 až 1000) °C na vretenovom lise ($v = 0,5$ až $0,6$ ms⁻¹) s trením definovaným koeficientom trenia $f = 0,35$.

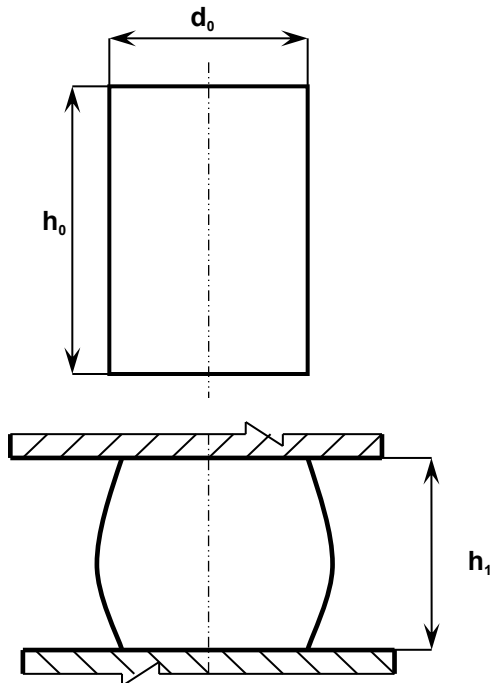
Pomerné a skutočné pretvorenie

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{h_0} = \frac{h_0 - h_1}{h_0}$$

$$\varphi = \ln \frac{h_0}{h_1}$$

Voľné kovanie – príklad 1

Vypočítajte stupeň prekovania, pomerné a skutočné pretvorenie, silu a prácu pri ubíjaní polotovaru priemeru $d_0 = 60$ mm a výšky $h_0 = 130$ mm z materiálu STN 41 2040 ($R_m = \text{min. } 540$ MPa) na výšku $h_1 = 40$ mm. Ubíjanie sa bude realizovať v intervale teplôt (1200 až 1000) °C na vretenovom lise ($v = 0,5$ až $0,6$ ms⁻¹) s trením definovaným koeficientom trenia $f = 0,35$.



Sila pri kovaní

$$F_{VK} = p \cdot S = \sigma_d S = \sigma_p \left(1 + \frac{f}{3} \frac{d_1}{h_1} \right) wS$$

$$F_{VK} = \sigma_{ps} \left(1 + \frac{f}{3} \frac{d_1}{h_1} \right) wS$$

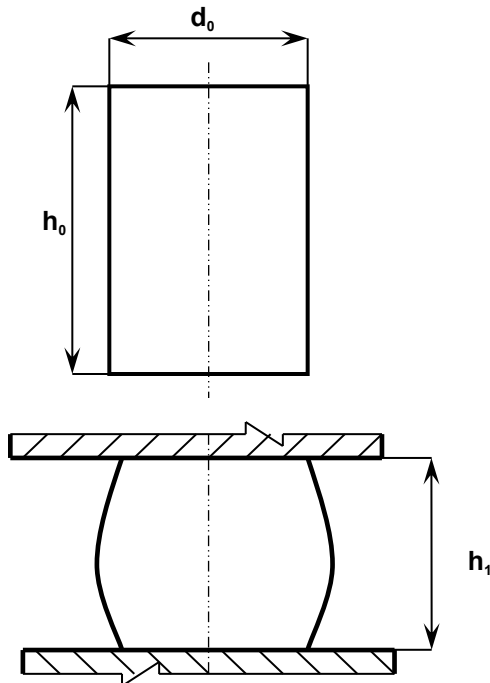
$$\sigma_{ps} = \frac{\sigma_{pz} + \sigma_{pk}}{2}$$

$$V_{polot} = V_{výtv}$$

$$\frac{\pi d_0^2}{4} h_0 = \frac{\pi d_1^2}{4} h_1 \Rightarrow d_1^2 = \frac{4 \pi d_0^2 h_0}{4 \pi h_1} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow d_1 = d_0 \sqrt{\frac{h_0}{h_1}}$$

Voľné kovanie – príklad 1



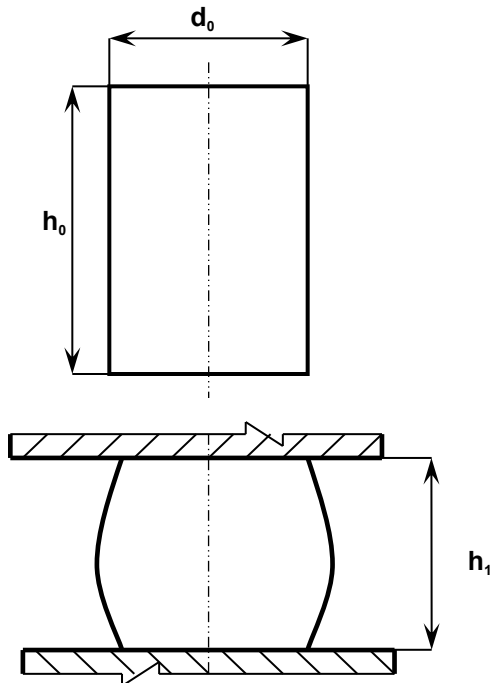
Vypočítajte stupeň prekovania, pomerné a skutočné pretvorenie, silu a prácu pri ubíjaní polotovaru priemeru $d_0 = 60$ mm a výšky $h_0 = 130$ mm z materiálu STN 41 2040 ($R_m = \text{min. } 540$ MPa) na výšku $h_1 = 40$ mm. Ubíjanie sa bude realizovať v intervale teplôt (1200 až 1000) °C na vretenovom lise ($v = 0,5$ až $0,6$ ms⁻¹) s trením definovaným koeficientom trenia $f = 0,35$.

Práca pri kovaní

$$A_{VK} = \sigma_{ds} V \varphi = \sigma_{ds} \frac{\pi d_1^2}{4} h_1 \varphi$$

p

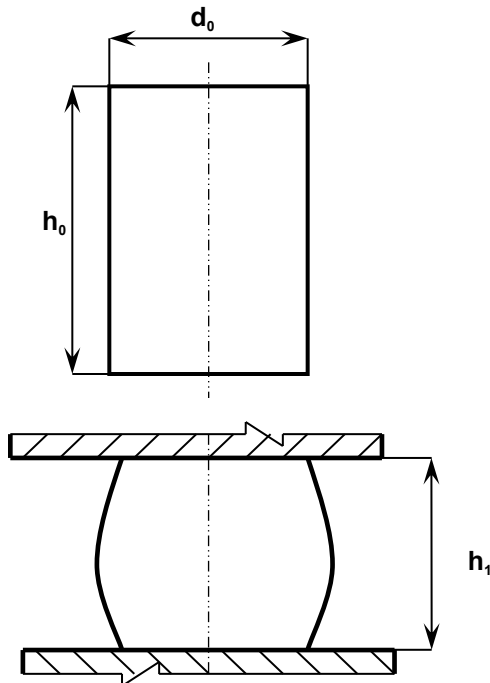
Voľné kovanie – príklad 2



Vypočítajte potrebný počet úderov na ubíjanie polotovaru priemeru $d_0 = 80$ mm a výšky $h_0 = 120$ mm z materiálu STN 41 1373.0 ($R_m = 363$ až 461 MPa) na výšku $h_1 = 45$ mm. Ubíjanie sa bude realizovať s dokončovacou teplotou od 1250 °C do 900 °C na kompresorovom buchare KB 630 ($v_B = 5$ ms⁻¹). Koeficient trenia pri ubíjaní $f = 0,35$.

Počet úderov: $n = ?$.

Voľné kovanie – príklad 2



Vypočítajte potrebný počet úderov na ubíjanie polotovaru priemeru $d_0 = 80$ mm a výšky $h_0 = 120$ mm z materiálu STN 41 1373.0 ($R_m = 363$ až 461 MPa) na výšku $h_1 = 45$ mm. Ubíjanie sa bude realizovať s dokončovacou teplotou od 1250 °C do 900 °C na kompresorovom buchare KB 630 ($v_B = 5$ ms⁻¹). Koeficient trenia pri ubíjaní $f = 0,35$.

Počet úderov

$$n = \frac{A_d}{A_{d1}\eta}$$

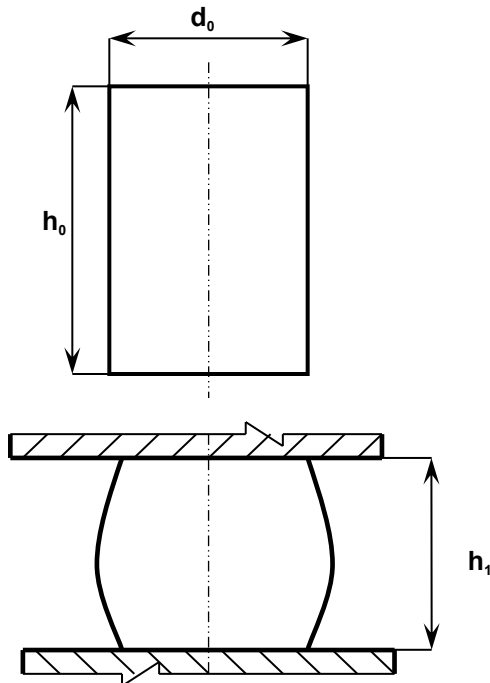
$$A_d = p V_V \varphi = p \frac{\pi d_1^2}{4} h_1 \varphi$$

Zákon konštantnosti objemu

$$V_p = V_V$$

$$\frac{\pi d_0^2}{4} h_0 = \frac{\pi d_1^2}{4} h_1$$

Voľné kovanie – príklad 2



Vypočítajte potrebný počet úderov na ubíjanie polotovaru priemeru $d_0 = 80$ mm a výšky $h_0 = 120$ mm z materiálu STN 41 1373.0 ($R_m = 363$ až 461 MPa) na výšku $h_1 = 45$ mm. Ubíjanie sa bude realizovať s dokončovacou teplotou od 1250 °C do 900 °C na kompresorovom buchare KB 630 ($v_B = 5$ ms⁻¹). Koeficient trenia pri ubíjaní $f = 0,35$.

Počet úderov

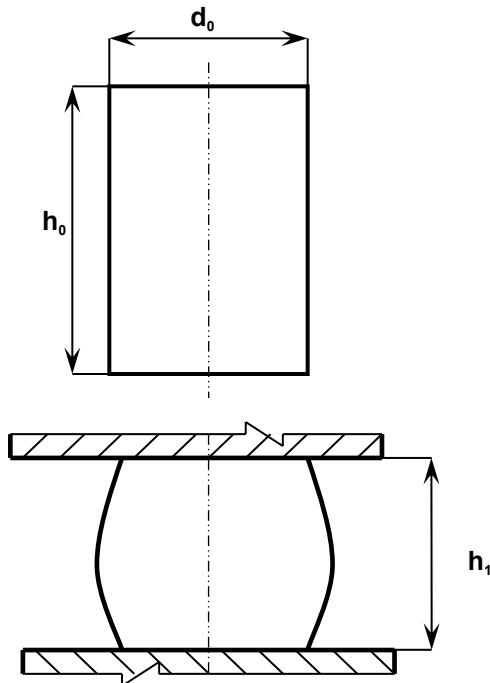
$$n = \frac{A_d}{A_{d1} \eta}$$

$$A_d = p V_v \varphi = p \frac{\pi d_1^2}{4} h_1 \varphi$$

$$p = \sigma_d = \sigma_p m w = \sigma_p \left(1 + \frac{f}{3} \frac{d_1}{h_1} \right) w$$

$$\sigma_p = \sigma_{ps} = \frac{\sigma_{pz} + \sigma_{pk}}{2}$$

Voľné kovanie – príklad 2



Vypočítajte potrebný počet úderov na ubíjanie polotovaru priemeru $d_0 = 80$ mm a výšky $h_0 = 120$ mm z materiálu STN 41 1373.0 ($R_m = 363$ až 461 MPa) na výšku $h_1 = 45$ mm. Ubíjanie sa bude realizovať s dokončovacou teplotou od 1250 °C do 900 °C na kompresorovom buchare KB 630 ($v_B = 5$ ms⁻¹). Koeficient trenia pri ubíjaní $f = 0,35$.

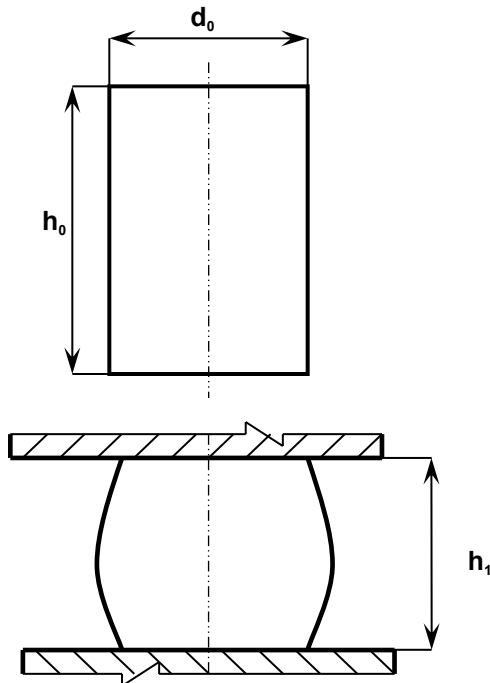
Počet úderov

$$n = \frac{A_d}{A_{d1} \eta}$$

$A_d = p V_v \varphi = p \frac{\pi d_1^2}{4} h_1 \varphi$

$$\varphi = \ln \frac{h_0}{h_1}$$

Voľné kovanie – príklad 2



Vypočítajte potrebný počet úderov na ubíjanie polotovaru priemeru $d_0 = 80$ mm a výšky $h_0 = 120$ mm z materiálu STN 41 1373.0 ($R_m = 363$ až 461 MPa) na výšku $h_1 = 45$ mm. Ubíjanie sa bude realizovať s dokončovacou teplotou od 1250 °C do 900 °C na kompresorovom buchare KB 630 ($v_B = 5$ ms⁻¹). Koeficient trenia pri ubíjaní $f = 0,35$.

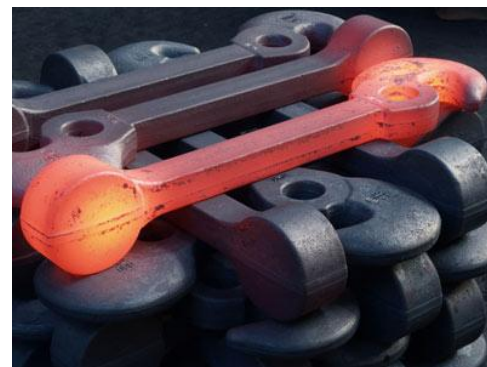
Počet úderov

$$n = \frac{A_d}{A_{d1} \eta}$$

(75 až 90) %

podľa typu výrobného zariadenia

Zápustkové kovanie



Zápustkové kovanie

Zápustkové kovanie je kovanie s *usmernením tečenia materiálu*.

- **zápustkové kovanie**
 - *s výronkom*
 - *bez výronku*
- **zápustkové kovanie**
 - *dynamické (úderové)*
 - *tlakové*

Zápustkové kovanie

Pri zápustkovom kovaní sa ako **nástroj** používa **ZÁPUSTKA**.

- **zápustka**

- **otvorená (OZ) – s výronkom**

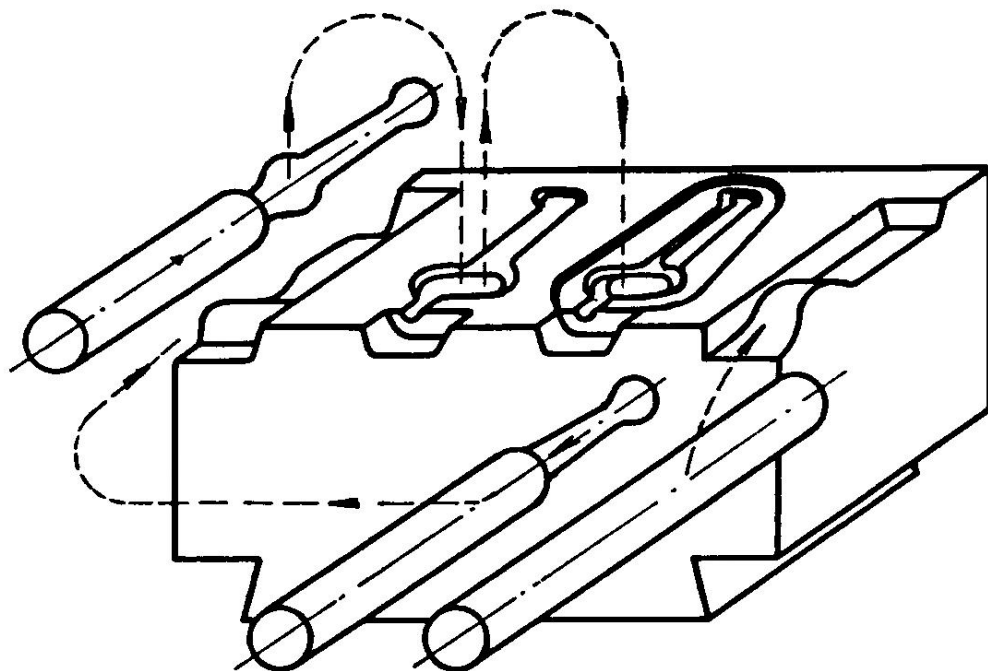


s otvorenou
výronkovou drážkou

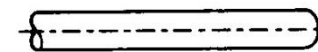
s uzatvorenou
výronkovou drážkou

- **uzatvorená (UZ) – bez výronku**

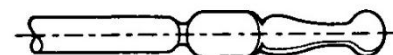
Zápustkové kovanie



**Schéma viacdutinovej spodnej
časti zápustky**



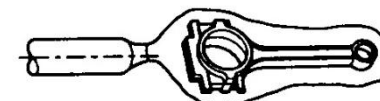
Polotovár



Ubíjanie



Predkovanie

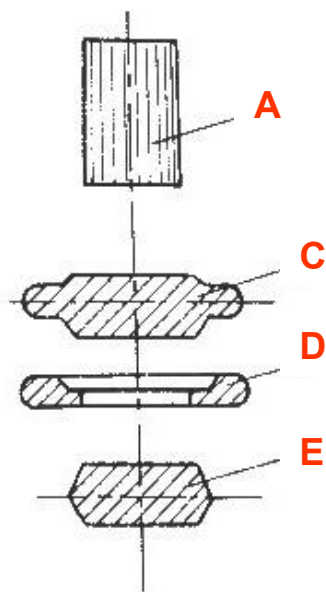
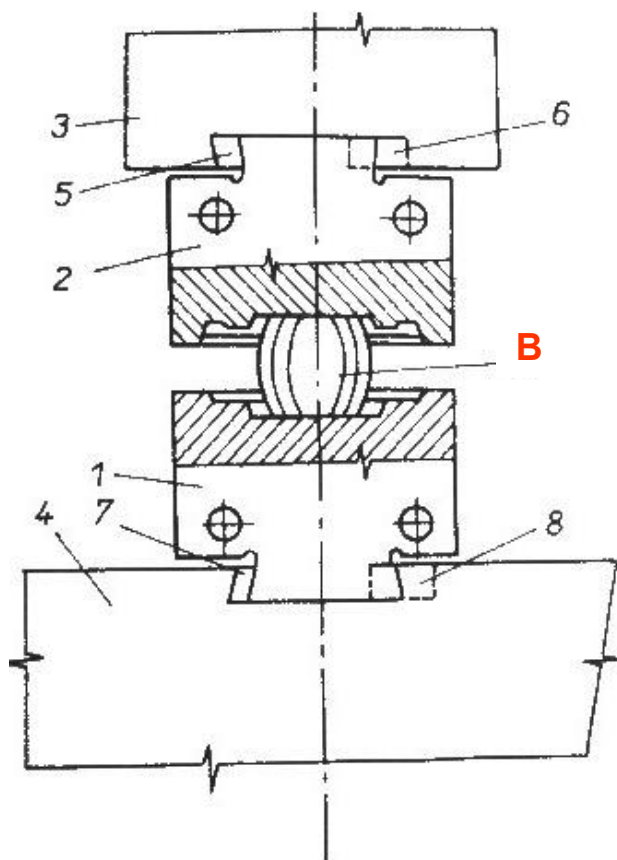


Dokovanie



Ostrihnutie

Zápustkové kovanie



Kovanie v zápustke

1 – spodná časť zápustky, 2 – vrchná časť zápustky, 3 – baran buchara, 4 – šabota, 5 – klin, 6 – pero, 7 – klin, 8 – pero

A – východiskový polotovár,

B – polotovár pri kovaní, **C** – výkovok,

D – odstrihnutý výronok, **E** – hotový výkovok

Zápustkové kovanie

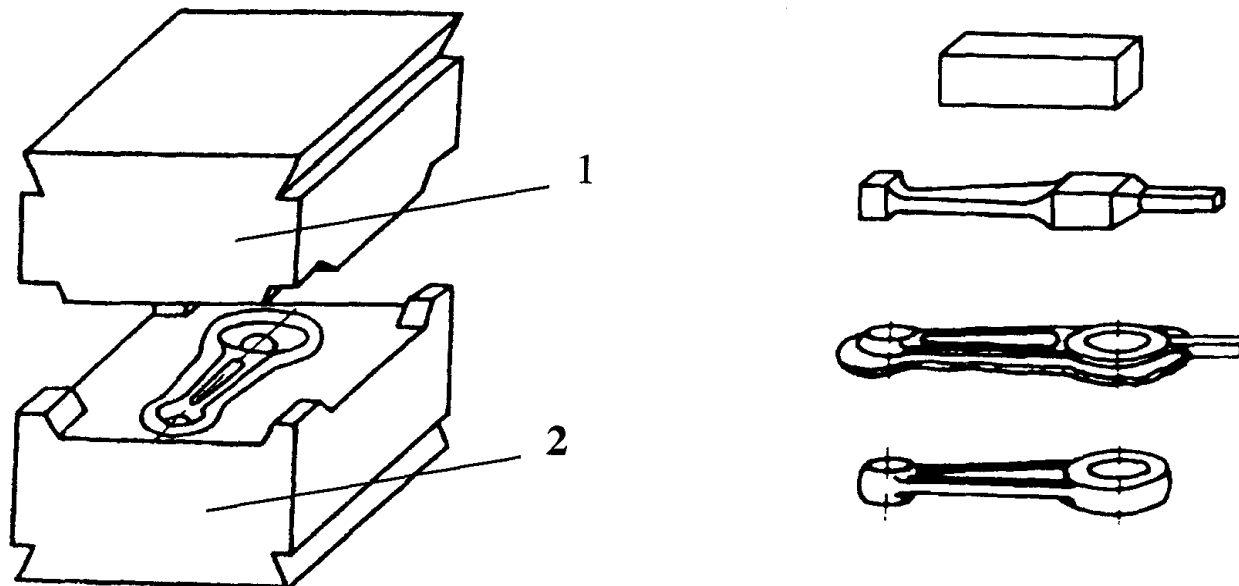


Schéma jednodutinovej otvorenej zápustky

1 – horná časť zápustky, 2 – spodná časť zápustky

Zápustkové kovanie



Zápustkové kovanie



**Technologický postup zápustkového
kovania ojnice s delenou hlavou**

Zápustkové kovanie

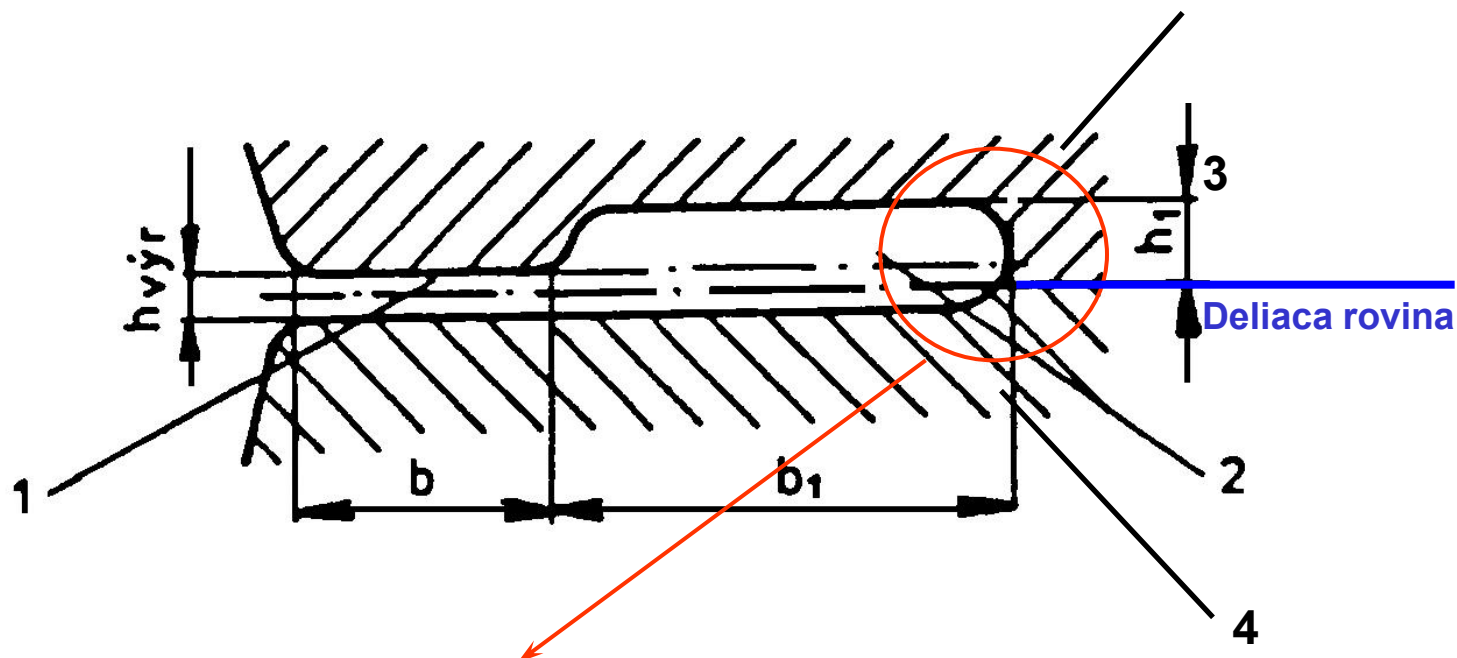


Schéma **uzatvorenej** výronkovej drážky (pre buchary)

1 – mostík, 2 – zásobník, 3 – horná časť zápustky, 4 – spodná časť zápustky

$h_{výr}$ – výška mostíka výronkovej drážky (VD), h_1 – výška zásobníka VD,

b – šírka mostíka VD, b_1 – šírka zásobníka VD

Zápustkové kovanie

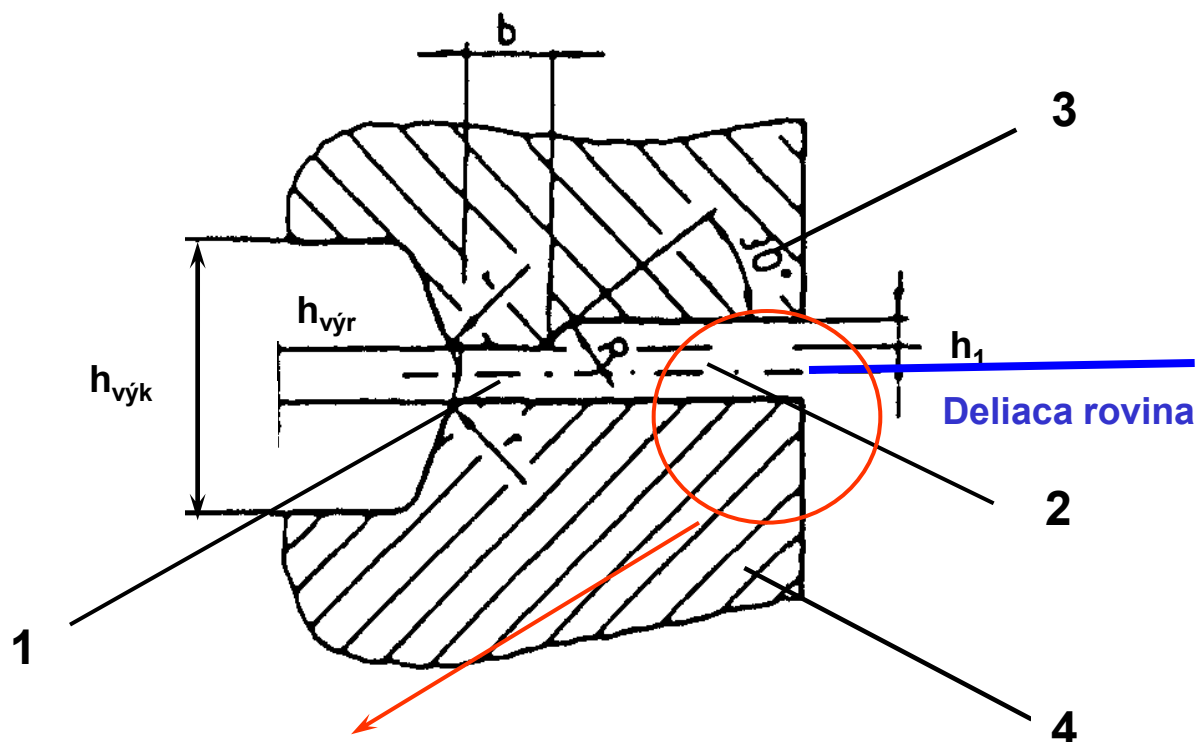


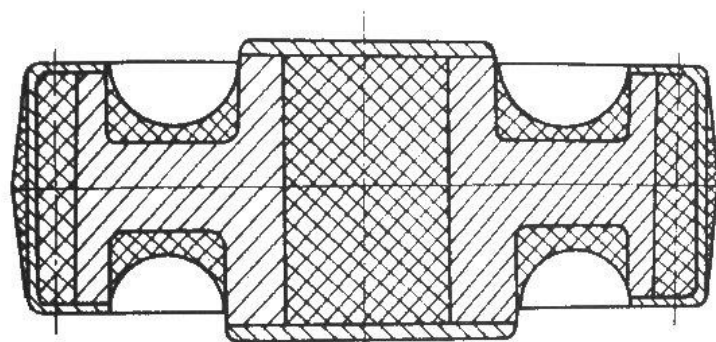
Schéma **otvorenej** výronkovej drážky (pre lisy)

1 – mostík, 2 – zásobník, 3 – horná časť zápustky, 4 – spodná časť zápustky

$h_{výr}$ – výška mostíka výronkovej drážky (VD), h_1 – výška zásobníka VD,

$h_{výk}$ – výška výkovku b – šírka mostíka VD, b_1 – šírka zásobníka VD

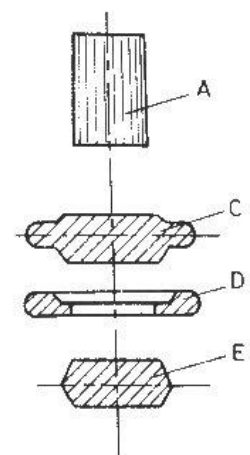
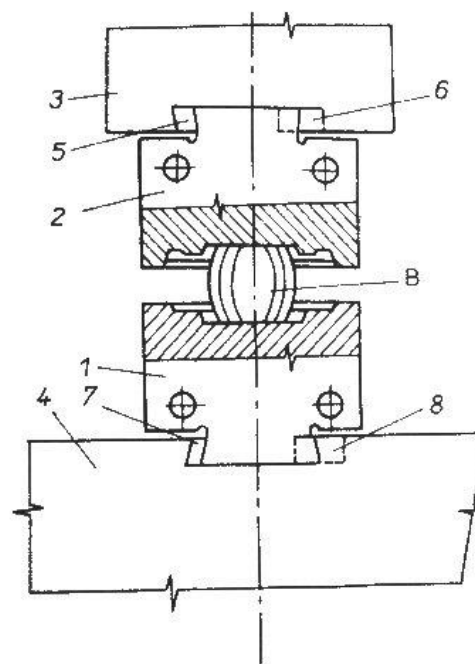
Zápustkové kovanie



prídavok na obrábanie



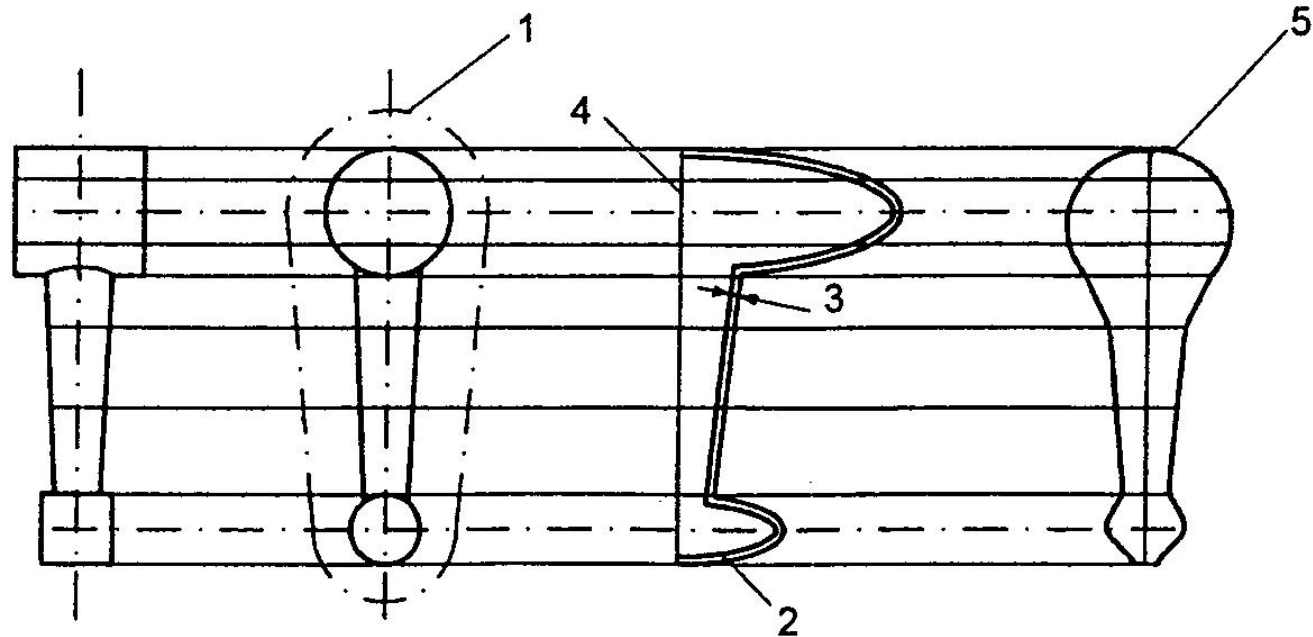
technologický prídavok



Zápustkové kovanie – ideálny predkovok

$$S_i = S_v + 2kS_{vd}$$

$$d_i = 2\sqrt{\frac{S_i}{\pi}}$$

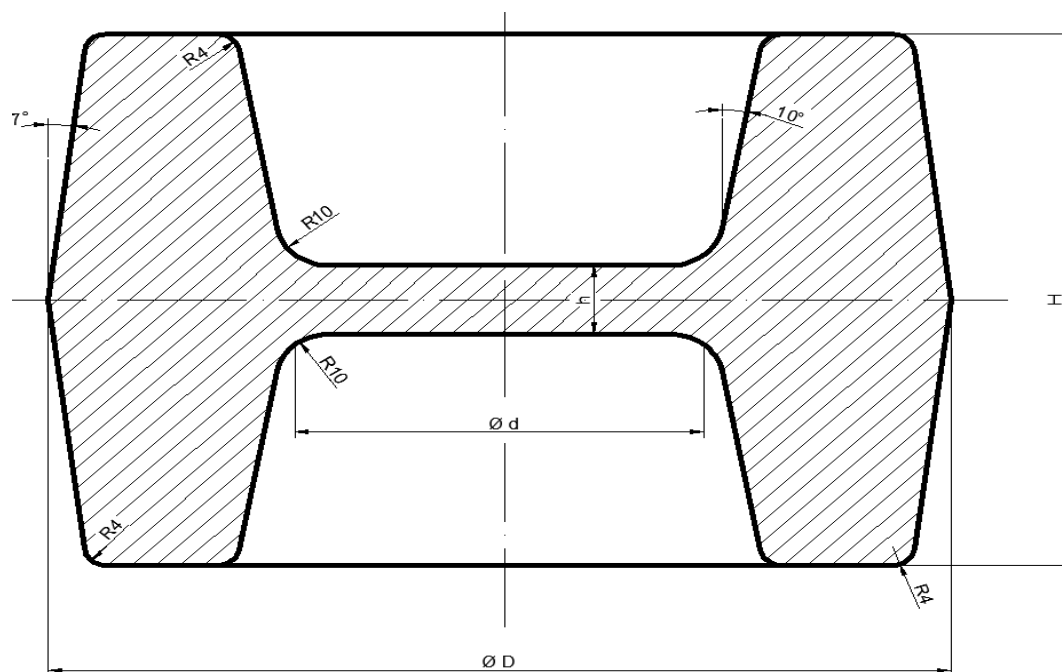


Postup konštrukcie ideálneho predkovku

1 – obrys výronku, 2 – prierezový obrazec výkovku, 3 – prídavok na výronok,
4 – deliaca rovina, 5 – ideálny predkovok

Zápustkové kovanie – príklad 3

Vypočítajte hmotnosť a rozmery polotovaru, využitelnosť materiálu, silu a prácu, potrebnú na kovanie, silu na ostrihovanie a dierovanie, pri výrobe rotačného výkovku z materiálu STN 41 1523.1 ($R_m = 510$ až 628 MPa). Zápustkové kovanie sa bude realizovať v intervale teplôt (1250 až 800) °C. Zvoľte výrobné zariadenia.



Hmotnosť polotovaru: $m_{pol} = ?$.

Rozmery polotovaru.

Využitelnosť materiálu: $\eta = ?$.

Sila na zápustkové kovanie: $F_{ZK} = ?$.

Sila na odstrihnutie výronku: $F_o = ?$.

Sila na dierovanie: $F_d = ?$.

Práca na kovanie: $A_{ZK} = ?$.

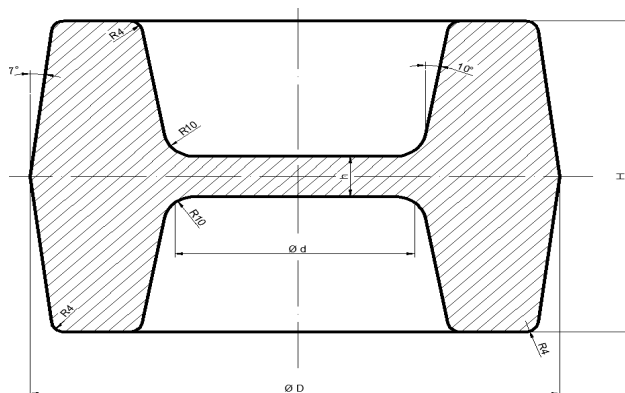
$D = 168$ mm,

$d = 80$ mm,

$H = 116$ mm,

$h = 13$ mm.

Zápustkové kovanie – príklad 3



$D = 168 \text{ mm}$,
 $d = 80 \text{ mm}$,
 $H = 116 \text{ mm}$,
 $h = 13 \text{ mm}$.

Vypočítajte hmotnosť a rozmery polotovaru, využiteľnosť materiálu, silu a prácu, potrebnú na kovanie, silu na ostrihovanie a dierovanie, pri výrobe rotačného výkovku z materiálu STN 41 1523.1 ($R_m = 510$ až 628 MPa). Zápustkové kovanie sa bude realizovať v intervale teplôt (1250 až 800) $^\circ\text{C}$. Zvoľte výrobné zariadenia.

Hmotnosť polotovaru (vsádzky): $m_{pol} = ?$

$$m_{vsádzka} = m_{výkovok} + m_{výronok} + m_{blana} + m_{opal}$$

Zápustkové kovanie – príklad 3

Hmotnosť polotovaru (vsádzky): $m_{pol} = ?$

$$m_{vsádzka} = m_{výkovok} + m_{výronok} + m_{blana} + m_{opal}$$

$$m_{výkovok} = V_{výkovok} \cdot \rho_{ocel'} = 2052,60 \cdot 7,85 = \underline{16112,91 \text{ g}} = 16,1 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} V_{výkovok} &= \left(\frac{\pi D^2}{4} H - \frac{\pi d^2}{4} H \right) + \frac{\pi d^2}{4} h = \left(\frac{\pi 16,8^2}{4} 11,6 - \frac{\pi 8^2}{4} 11,6 \right) + \frac{\pi 8^2}{4} 1,3 = \\ &= \left(\frac{886,24}{4} 11,6 - \frac{200,96}{4} 11,6 \right) + \frac{200,96}{4} 1,3 = \\ &= (2570,07 - 582,78) + 65,31 = 2052,60 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Zápustkové kovanie – príklad 3

Hmotnosť polotovaru (vsádzky): $m_{pol} = ?$

$$m_{vsádzka} = m_{výkovok} + m_{výronok} + m_{blana} + m_{opal}$$

$$m_{výronok} = V_{výronok} \cdot \rho_{ocel'} = 47,64 \cdot 7,85 = \underline{373,96 \text{ g}} = 0,4 \text{ kg}$$

$$V_{výronok} = 1,6 \cdot S_{výr} [D_{výk} + 0,7(b + b_1)] = 1,6 \cdot 1,53 [16,8 + 0,7(1 + 2,8)] =$$

$$= 1,6 \cdot 1,53 \cdot 19,46 = 47,64 \text{ cm}^3$$

$$h_{výr} = (0,012 \text{ až } 0,015) \sqrt{S_{výk}} = 0,012 \sqrt{22167,08} =$$

$$= 0,012 \cdot 148,89 = 1,79 \text{ mm} \Rightarrow VD5 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow h_{výr} = 2 \text{ mm}, b = 10 \text{ mm}, b_1 = 28 \text{ mm}, S_{výr} = 153 \text{ mm}^2$$

$$S_{výk} = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi 168^2}{4} = \frac{88668,3}{4} = 22167,08 \text{ mm}^2$$

Zápustkové kovanie – príklad 3

Hmotnosť polotovaru (vsádzky): $m_{pol} = ?$

$$m_{vsádzka} = m_{výkovok} + m_{výronok} + m_{blana} + m_{opal}$$

$$m_{blana} = V_{blana} \cdot \rho_{ocel'} = 65,34 \cdot 7,85 = \underline{512,96 \text{ g}} = 0,5 \text{ kg}$$

$$V_{blana} = \frac{\pi d^2}{4} h = \frac{\pi 8^2}{4} 1,3 = \frac{201,06}{4} 1,3 = 65,34 \text{ cm}^3$$

Zápustkové kovanie – príklad 3

Hmotnosť polotovaru (vsádzky): $m_{pol} = ?$

$$m_{vsádzka} = m_{výkovok} + m_{výronok} + m_{blana} + m_{opal}$$

$$m_{opal} = (0,01 až 0,03) m_{úžitková} = 0,01 \cdot m_{úžitková} =$$
$$= 0,01 \cdot 16999,83 = \underline{170,00 \text{ g}} = 0,17 \text{ kg}$$

$$m_{úžitková} = m_{výk} + m_{výr} + m_{blana} = 16112,91 + 373,96 + 512,96 = 16999,83 \text{ g}$$

Zápustkové kovanie – príklad 3

Hmotnosť polotovaru (vsádzky): $m_{pol} = ?$

$$m_{vsádzka} = m_{výkovok} + m_{výronok} + m_{blana} + m_{opal}$$

$$\begin{aligned} m_{vsádzka(polot)} &= m_{výkovok} + m_{výronok} + m_{blana} + m_{opal} = m_{úžitkové} + m_{opal} = \\ &= 16999,83 + 170,00 = \underline{17169,83 \text{ g}} = 17,17 \text{ kg} \end{aligned}$$

Využitelnosť materiálu: $\eta = ?$

$$\eta = \frac{m_{výkovok}}{m_{vsádzka}} 100 = \frac{16112,91}{17169,83} 100 = \underline{93,84 \%}$$

Zápustkové kovanie – príklad 3

Sila na zápustkové kovanie: $F_{ZK} = ?$ (STOROŽEV)

$$F_{ZK} = F_1 + F_2 = \sigma_{ps} \cdot m_1 \cdot S_1 + \sigma_{ps} \cdot m_2 \cdot S_2 = \\ = 65,5 \cdot 14,9 \cdot 22167,08 + 65,5 \cdot 4 \cdot 5592,03 = \underline{23099073,59 \text{ N}}$$

$$m_1 = \left(1,5 + \frac{b}{h_{výr}} + 0,1 \frac{D_V}{h_{výr}} \right) = \\ = \left(1,5 + \frac{10}{2} + 0,1 \frac{168}{2} \right) = \underline{14,9}$$

$$m_2 = \left(1,5 + \frac{b}{2h_{výr}} \right) = \\ = \left(1,5 + \frac{10}{2 \cdot 2} \right) = \underline{4}$$

$$\sigma_{ps} = \frac{\sigma_{pHKT(1250)} + \sigma_{pDKT(800)}}{2} = \frac{20 + 111}{2} = \underline{65,5 \text{ MPa}}$$

$$S_1 = S_{výk} = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi 168^2}{4} = \frac{88668,3}{4} = \underline{22167,08 \text{ mm}^2}$$

$$S_2 = S_{výr} = \frac{\pi(D+2b)^2}{4} - \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi(168+2 \cdot 10)^2}{4} - \frac{\pi 168^2}{4} = \underline{5592,03 \text{ mm}^2}$$

Zápustkové kovanie – príklad 3

Práca na kovanie: $A_{ZK} = ?$

$$\begin{aligned} A_{dZK} &= 18(1 - 0,005 D_V) \left(1,1 + \frac{2}{D_V} \right)^2 (0,75 + 0,001 D_V^2) D_V \sigma_{pkovacia} = \\ &= 18(1 - 0,005 \cdot 16,8) \left(1,1 + \frac{2}{16,8} \right)^2 (0,75 + 0,001 \cdot 16,8^2) \cdot 16,8 \cdot 111 = \\ &= \underline{47161,58 \text{ J}} = 47 \text{ kJ} \end{aligned}$$

$$F_{ZK} = 23099073,59 \text{ N} = 23 \text{ MN}$$

Na zápustkové kovanie volím hydraulický vretenový lis LVH 2500
($F_m = 25 \text{ MN}$, energia zotrvačníka 400 kJ)

Zápustkové kovanie – príklad 3

Sila na odstrihnutie výronku: $F_o = ?$

Sila na dierovanie: $F_d = ?$

$$F_o = k \cdot S_D \cdot \tau_s = 1,7 \cdot 2111,15 \cdot 150 = \underline{538343,32 \text{ N}}$$

$$S_D = \pi D(2h_{výr}) = \pi \cdot 168(2 \cdot 2) = 2111,15 \text{ mm}^2$$

$$F_d = k \cdot S_d \cdot \tau_s = 1,7 \cdot 6534,51 \cdot 150 = \underline{1666300,74 \text{ N}}$$

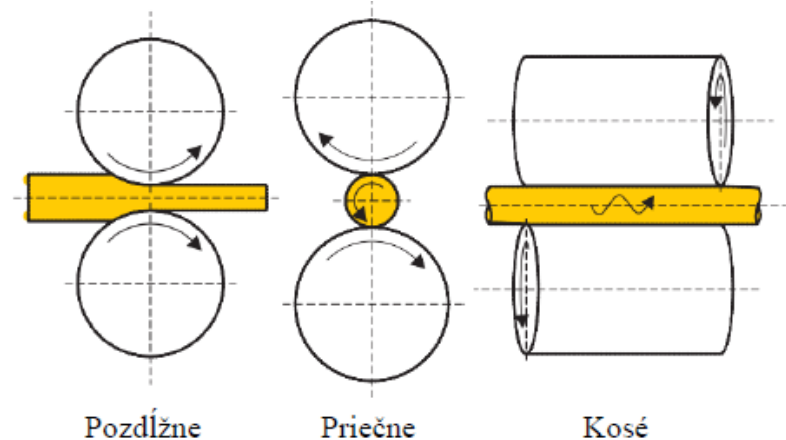
$$S_d = \pi d(2h) = \pi \cdot 80(2 \cdot 13) = 6534,51 \text{ mm}^2$$

Na dierovanie volím excentrický lis EVR 250 ($F_m = 2500 \text{ kN}$),
na ostrihovanie volím excentrický lis 80FPR ($F_m = 800 \text{ kN}$)

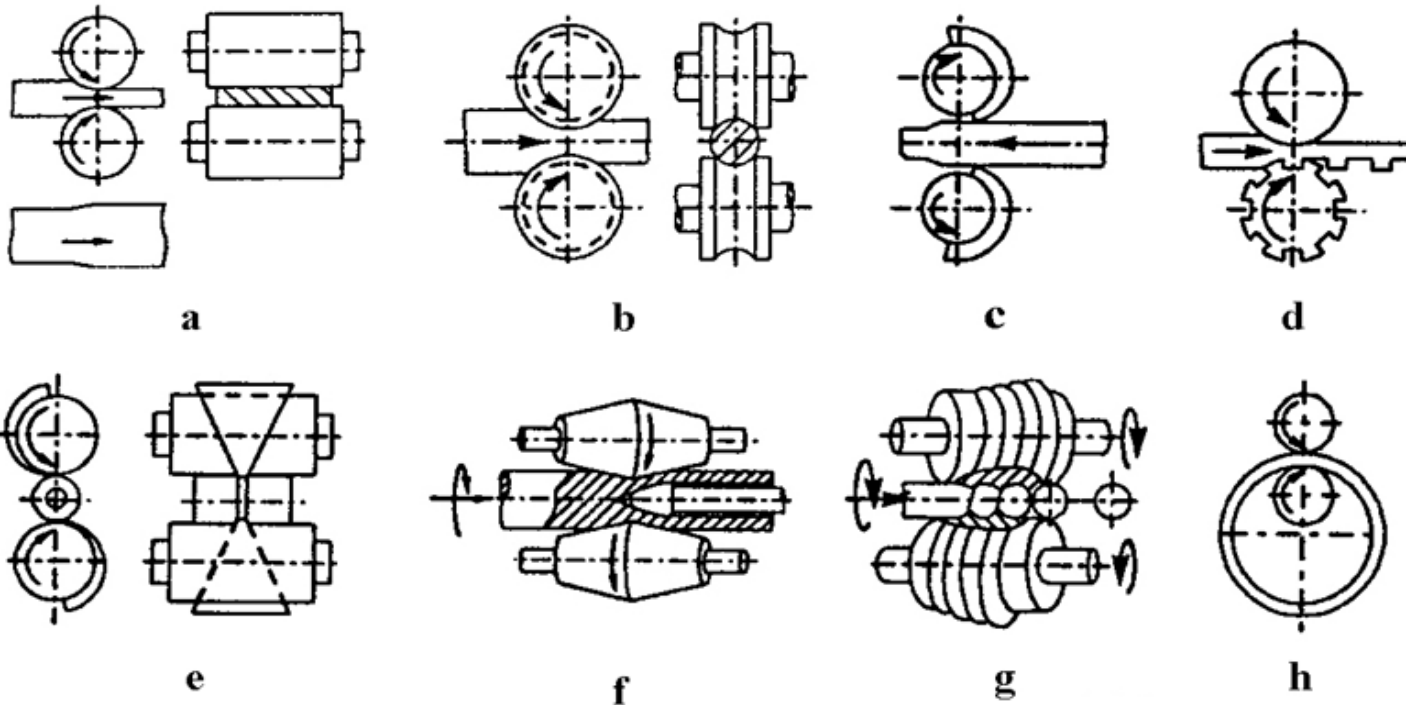
Valcovanie

K základným prácam objemového tvárnenia za tepla patrí:

- kovanie
 - *voľné kovanie*
 - *zápustkové kovanie*
- **valcovanie**
 - *pozdĺžne valcovanie*
 - *priečne valcovanie*
 - *kosé valcovanie*



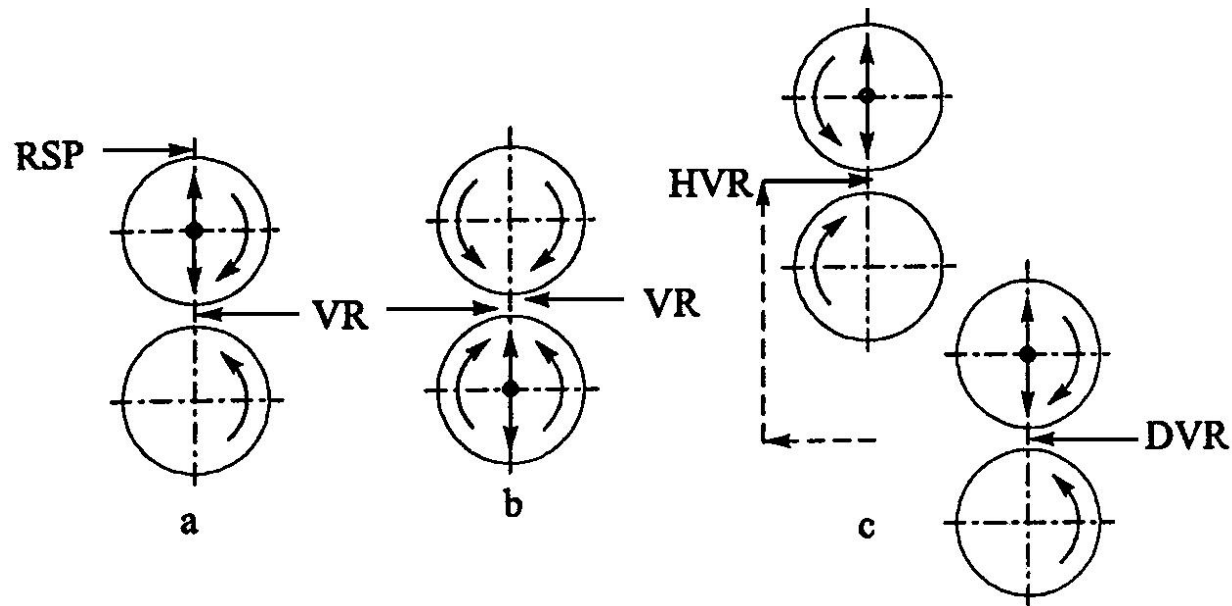
Valcovanie



Operácie valcovania

*a – pozdĺžne, b – pozdĺžne tvarové plynulé, c – pozdĺžne tvarové prerušované,
d – pozdĺžne tvarové periodické, e – priečne tvarové,
f – kosé dierovanie, g – kosé tvarové valcovanie, h – rozvalcovanie*

Schémy valcovacích stolíc typu duo

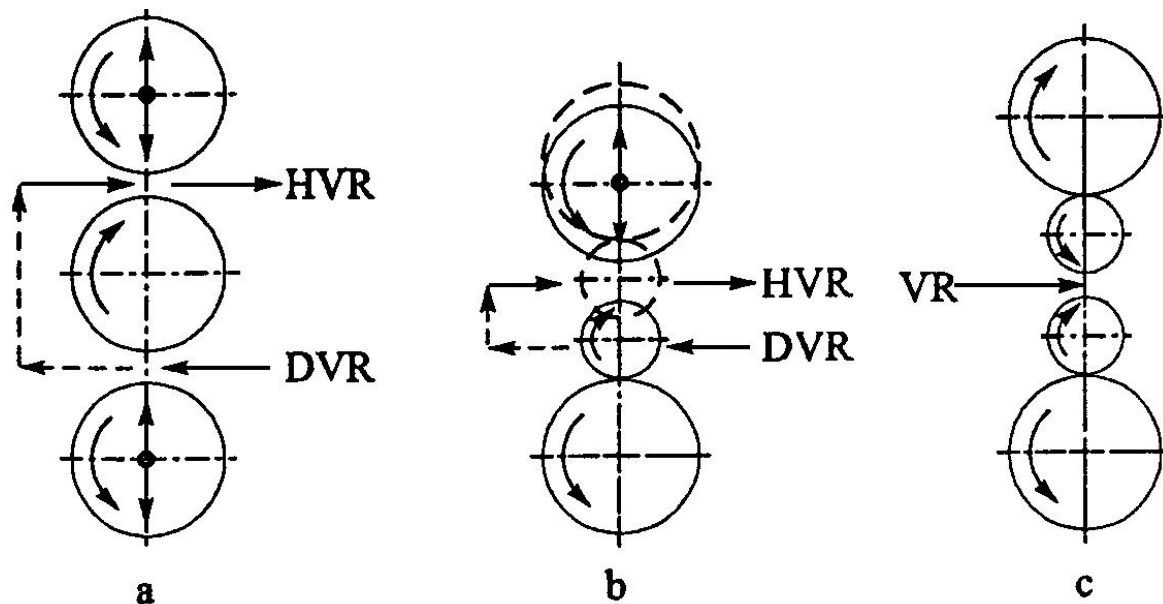


Schémy valcovacích stolíc typu duo

a – jednosmerné, b – vratné (reverzné), c – dvojité

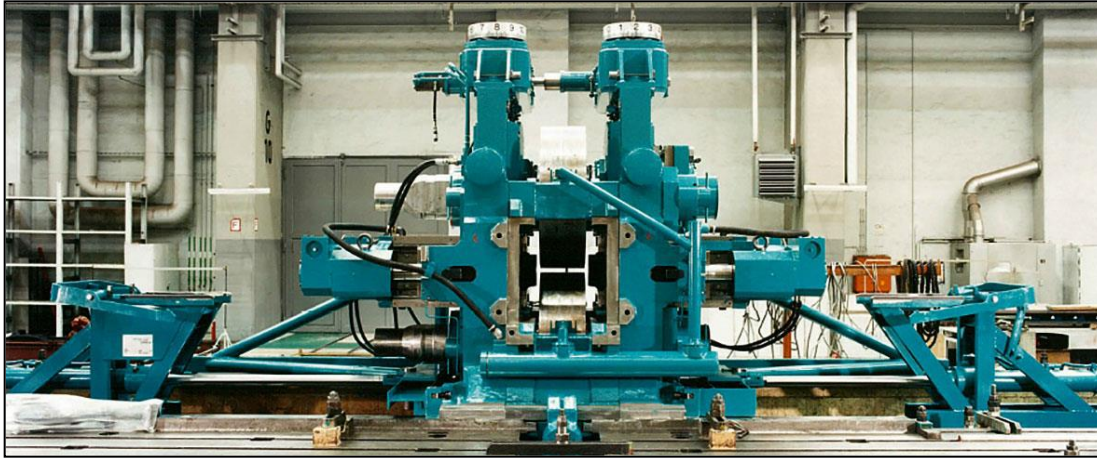
RSP – rovina spätného pohybu, VR – valcovacia rovina, HVR – horná VR, DVR – dolná VR

Schémy valcovacích stolíc typu trio a kvatro



Schémy valcovacích stolíc typu
a, b – trio, c – kvatro

Schémy valcovacích stolíc typu trio a kvatro

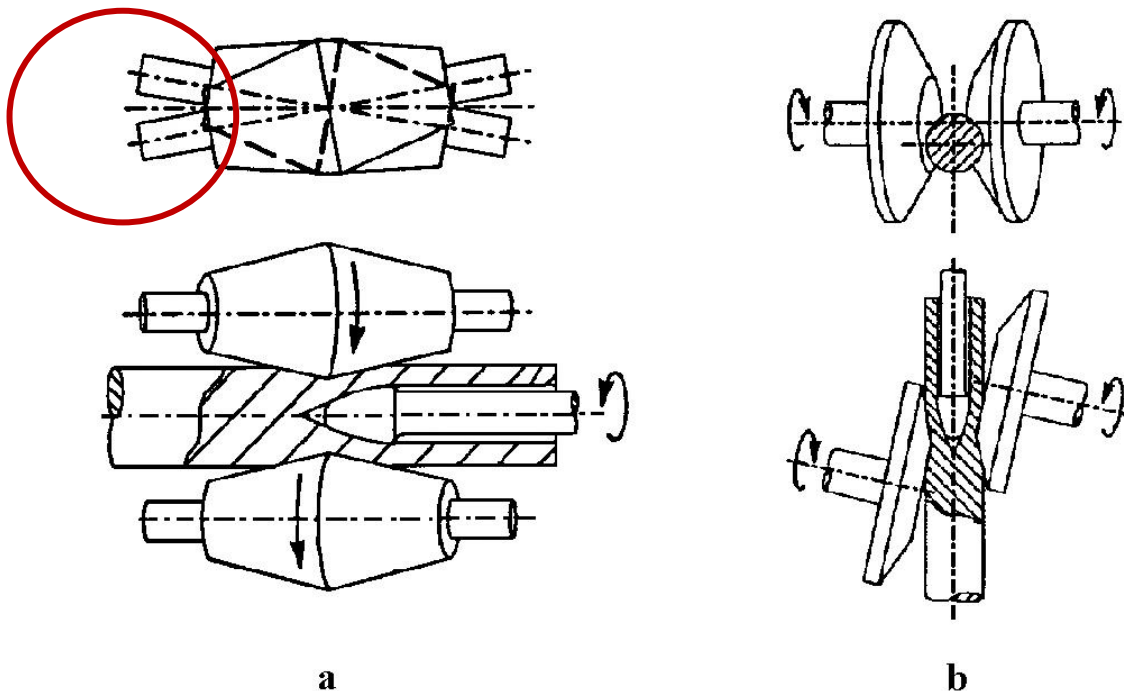


Valcovacia stolica typu MWE Mill Technologies



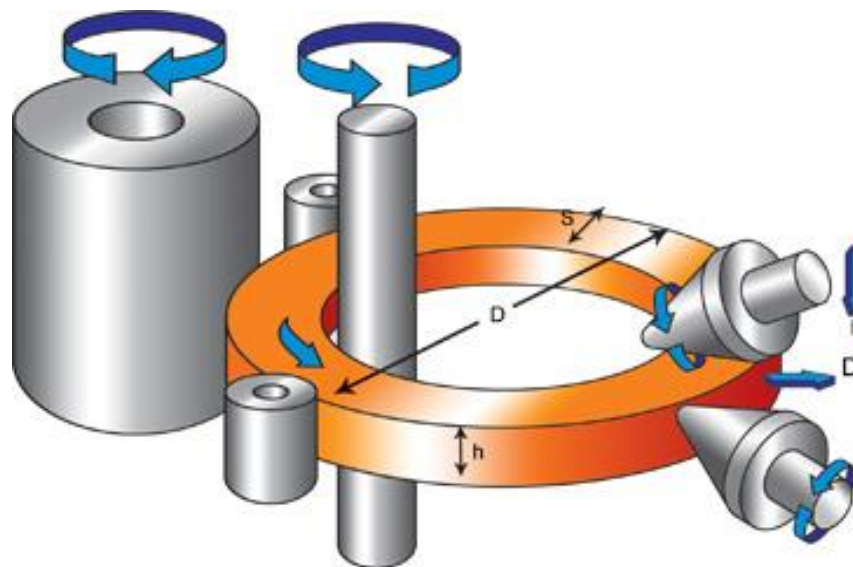
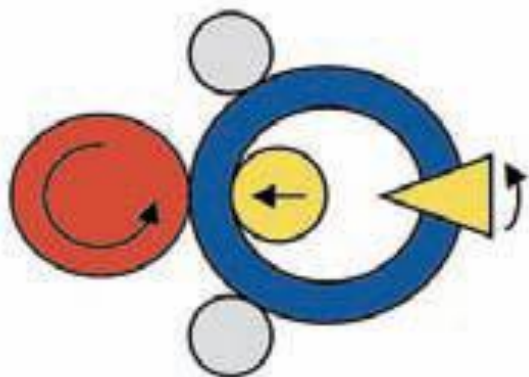
Valcovacia trať

Valcovanie rúr



Schémy valcovania rúr podľa
a – Manesmana, b – Stiefela

Valcovanie krúžkov (rozvalcovovanie)



Odporučená literatúra

BAČA, J., BÍLIK, J. *Technológia tvárnenia*. Bratislava : STU Bratislava, 2000. ISBN 80-227-1339-2.

BENKO, B., MÄSIAR, H., KOTRAS, P. *Technológia tvárnenia, zlievania a zvárania. Návod na cvičenia*. Bratislava : STU Bratislava, 1991. 171 s. ISBN 80-227-0340-0.

BÍLIK, J. et al. *Technológia tvárnenia. Návod na cvičenia*. Bratislava : STU Bratislava, 2004. 201 s. ISBN 80-227-2099-2.

BLAŠČÍK, F. et al. *Technológia tvárnenia, zlievarenstva a zvárania*. Bratislava: Alfa Bratislava, 1988.

ČABELKA, J. et al. *Mechanická technológia*. Bratislava: SAV Bratislava, 1967.

HRIVŇÁK, A., EVÍN, E., SPIŠÁK, E. *Technológia plošného tvárnenia*. Bratislava : Alfa Bratislava, 1990. 264 s. ISBN 80-05-00439-7.

Odporučená literatúra

KALPAKJIAN, S. *Manufacturing Engineering and Technology*. Massachusetts : PE-USR, 2006. 895 pp. ISBN 0-13-148965-8.

KOSTKA, P. *Metal forming*. Bratislava : SjF STU Bratislava, 2002. 117 p. ISBN 80-227-1801-7.

LIPA, Z. et al. *Priemyselné technológie a výrobné zariadenia*. Bratislava : STU Bratislava, 2003. 324 s. ISBN 80-227-1907-2.

LETKO, I. et al. *Priemyselné technológie*. Žilina: ZUSI, 2002.

MORAVEC, J.: *Technológia 1*. EDIS, 2020.

MORAVEC, J.: *Technológia tvárnenia kovov*. EDIS, 2016.

ŠUGÁR, P., ŠUGÁROVÁ, J. *Výrobné technológie – zlievanie, zváranie, tvárnenie*. Zvolen : TU Zvolen, 2009. 291 s. ISBN 978-80-89090-587.

VASILKO, K., BOKUČAVA, G. *Výrobné technológie*. Prešov: FVT, 2001.

TECHNOLÓGIA TVÁRNENIA – Objemové tvárnenie za tepla