

ZÁKLADY VÝROBNÝCH TECHNOLOGIÍ I.

Klasifikácia a pretvorenie materiálu

Odporučená literatúra

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

BAČA, J., BÍLIK, J., TITTEL, V. *Technológia tvárnenia*. Bratislava : STU Bratislava, 2010. ISBN 978-80- 227-3242-0.

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. 171 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.

DVOŘÁK, M., GAJDOŠ, F. a NOVOTNÝ, K. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. Vyd. 5., V Akademickém nakladatelství CERM 3. vyd. Brno: CERM, 2013. ISBN 978-80-214-4747-9.

FOREJT, M., PÍŠKA M., *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno : VUT Brno, 2006. ISBN 80-214-2374-9.

Odporučená literatúra

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

HRIVŇÁK, A., PODOLSKÝ, M., DOMAZETOVICH, V. *Teória tvárnenia a nástroje*. Bratislava : Alfa Bratislava, 1992. 344 s. ISBN 80-05-01032-X.

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

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

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

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

THEIS, H. E. *Handbook of metalforming processes [online]*. New York: Marcel Dekker, 1999 ISBN 08-247-9317-X.

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

Technológia tvárnenia – charakteristika

Tvárnenie je technológia spracovania kovových a nekovových materiálov, pri ktorej sa využíva **pretvorenie materiálu bez porušenia jeho celistvosti**.

V tomto procese pôsobíme vonkajšími silami na východiskový materiál, a tým meníme jeho **tvar, rozmery** a **fyzikálno-mechanické vlastnosti** tak, aby spĺňal výkresom predpísané parametre.

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

Schopnosť materiálu plastickey sa deformovať bez porušenia súdržnosti nazývame **tvárniteľnosť** alebo **plasticita**.

Technológia tvárnenia – charakteristika

TVÁRNITEĽNOSŤ – schopnosť materiálu plasticky sa deformovať bez porušenia súdržnosti materiálu *v konkrétnych technologických podmienkach.*

PLASTICITA (TVÁRNOSŤ) – veľkosť plastického pretvorenia materiálu do jeho porušenia *v ideálnych technologických podmienkach.*

PRETVORENIE – trvalá zmena tvaru materiálu / polotovaru dosiahnutá procesom tvárnenia. Je to *miera zmeny tvaru materiálu / polotovaru pred a po deformácii.*

Je to *kvantitatívne vyjadrenie plasticity* v technologických podmienkach (zo základných a napodobňujúcich skúšok).

Technológia tvárnenia – charakteristika

PRIRODZENÝ DEFORMAČNÝ ODPOR (σ_p) – je skutočné normálové napätie bez pasívnych odporov, potrebné na realizáciu plastického pretvorenia v materiáli pri jednoosovom zaťažení. Je to odpor materiálu proti pretvoreniu v *v ideálnych technologických podmienkach*.

DEFORMAČNÝ ODPOR (σ_d) – je to odpor materiálu proti pretvoreniu *v skutočných (technologických) podmienkach*. Je to prirodzený deformačný odpor zväčšený o vplyv trenia, či rýchlosti tvárnenia alebo stavu napätosti.

ZÁKLADY VÝROBNÝCH TECHNOLOGIÍ I.

Pretvorenie materiálu

Pretvorenie materiálu

Pretvorenie materiálu sa vyjadruje, ako:

- **absolútna zmena** (Δ)
- **pomerné pretvorenie** (ε)
- **skutočné pretvorenie** (φ)

Pretvorenie materiálu

Predĺženie (ťahanie)

$$\Delta l = l - l_0 \text{ (mm)}$$

$$\varepsilon_l = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0} \text{ (-)} \quad \varepsilon_l = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0} 100 \text{ (\%)}$$

$$\varphi_l = \ln \frac{l}{l_0} \text{ (-)}$$

Pretvorenie materiálu

Stláčanie (ubíjanie)

$$\Delta h = h_0 - h \text{ (mm)}$$

$$\varepsilon_h = \frac{h_0 - h}{h_0} = \frac{\Delta h}{h_0} \text{ (-)}$$

$$\varepsilon_h = \frac{h_0 - h}{h_0} = \frac{\Delta h}{h_0} 100 \text{ (\%)}$$

$$\varphi_h = \ln \frac{h}{h_0} \text{ (-)}$$

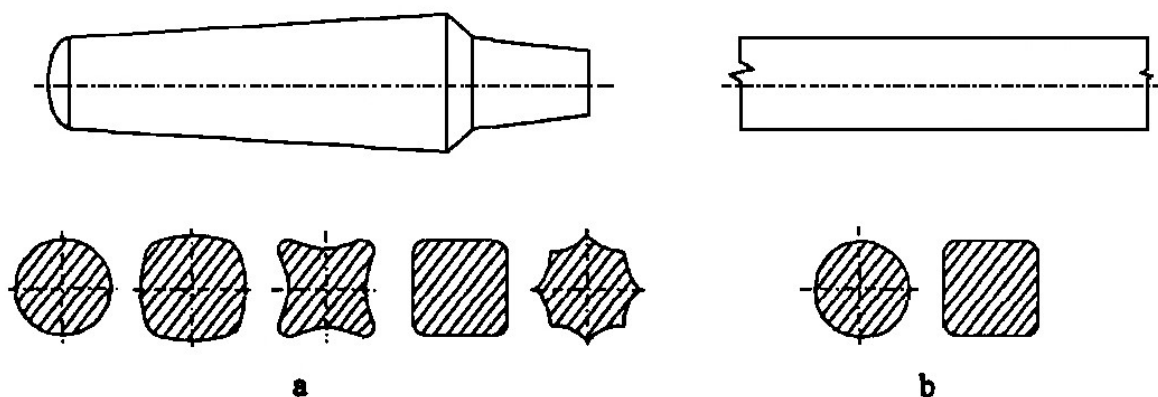
ZÁKLADY VÝROBNÝCH TECHNOLOGIÍ I.

Polotovary

Polotovary na tvárnenie

Na určenie optimálneho technologického postupu tvárnenia je potrebné použiť aj východiskový materiál (polotovar) s vhodným tvarom, pretože od toho závisí kvalita budúceho výtvarku, ale aj ekonomické ukazovatele výroby. V praxi sa používajú tieto druhy východiskového materiálu:

- **ingoty** – sú to odliatky s hmotnosťou 0,1 až 300 t s prierezom štvorhranným, obdĺžnikovým, kruhovým a mnohouholníkovým.
- predvalky.
- vývalky,
- predkovky.



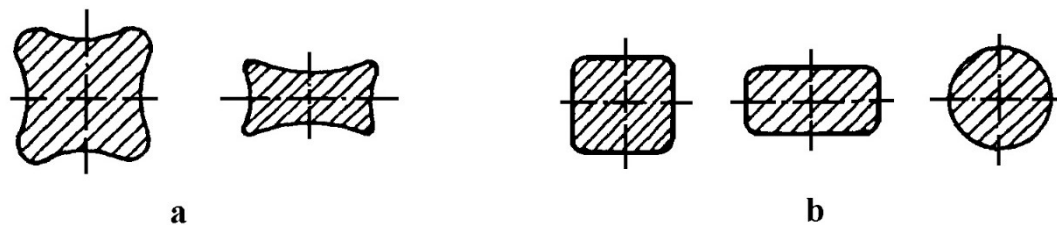
Tvary a prierezy ingotov

a – ingoty odlievané do kokily, b – ingoty odlievané kontinuálnym liatím

Polotovary na tvárnenie

Na určenie optimálneho technologického postupu tvárnenia je potrebné použiť aj východiskový materiál (polotovar) s vhodným tvarom, pretože od toho závisí kvalita budúceho výtvarku, ale aj ekonomické ukazovatele výroby. V praxi sa používajú tieto druhy východiskového materiálu:

- ingoty,
- **predvalky** – sú vyrobené z ingotov valcovaním za tepla. Vyrábajú sa zo všetkých tried ocelí a charakteristické sú tým, že po celej dĺžke majú konštantný prierez.
- vývalky,
- predkovky.



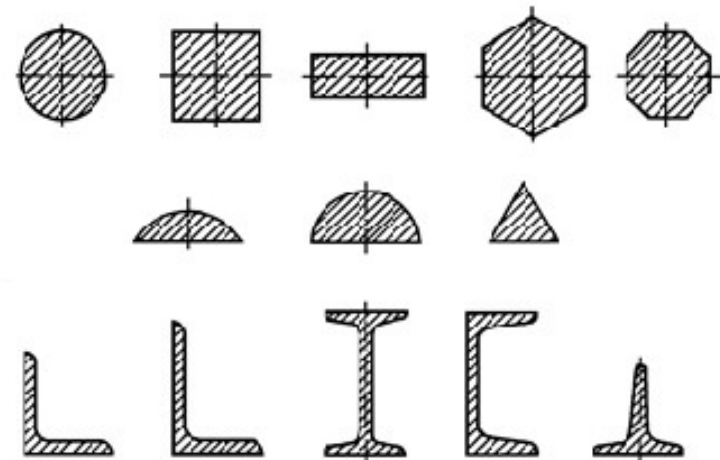
Základné tvary predvalkov

a – prierezy blokov, b – prierezy sochorov

Polotovary na tvárnenie

Na určenie optimálneho technologického postupu tvárnenia je potrebné použiť aj východiskový materiál (polotovar) s vhodným tvarom, pretože od toho závisí kvalita budúceho výtvarku, ale aj ekonomické ukazovatele výroby. V praxi sa používajú tieto druhy východiskového materiálu:

- ingoty,
- predvalky,
- **vývalky** – používajú sa ako polotovary pri výrobe výtvarkov voľným alebo zápusťkovým kovaním, pretláčaním a pod. Patria sem: tyče, široká a pásková oceľ, drôty a plechy.
- predkovky.



Prierezy vývalkov – tyčí

Polotovary na tvárnenie

Na určenie optimálneho technologického postupu tvárnenia je potrebné použiť aj východiskový materiál (polotovar) s vhodným tvarom, pretože od toho závisí kvalita budúceho výtvarku, ale aj ekonomické ukazovatele výroby. V praxi sa používajú tieto druhy východiskového materiálu:

- ingoty,
- predvalky,
- vývalky,
- **predkovky** – sú polovýrobky vyrobené z vývalkov, ktoré majú približne tvar finálnych výrobkov. Vyrábajú sa voľným kovaním, zápustkovým kovaním a valcovaním na kovacích valcoch.

Polotovary na tvárnenie

V praxi sa používajú predovšetkým rôzne typy **vývalkov**, a to:

- **tyče** – sa vyrábajú s kruhovým, štvorcovým, obdĺžnikovým a profilovým prierezom a pod.,
- **široká oceľ** – dodáva sa v hrúbkach 5 až 60 mm a šírkach 160 až 900 mm,
- **pásková oceľ** – má prierez po celej dĺžke konštantný a má tvar splošteného obdĺžnika. Dodáva sa vo zvitkoch alebo pruhoch s bočnými stenami, vytvorenými voľným šírením alebo orezaním s rozmermi hrúbky 1 až 5 mm a šírky 20 až 500 mm,
- **drôty** – vyrábajú sa s prierezom kruhovým s priemerom od 5,5 do 25 mm, polkruhový, štvorcový a šesťhranný prierezom,
- **plechy** – sú vyrábané valcovaním za tepla aj studena. Rozdeľujú sa na plechy tenké s hrúbkou do 3 mm a hrubé s hrúbkou nad 3 mm. Dodávajú sa v tvare tabúl, zvitkov a pásov so šírkou do 1 800 až 3 000 mm.

ZÁKLADY VÝROBNÝCH TECHNOLOGIÍ I.

Klasifikácia tvárnenia

Rozdelenie tvárnenia

1. podľa **teploty tvárnenia**
2. podľa **tepelného efektu**
3. podľa **charakteru pretvorenia**
4. podľa **zaťaženia**
5. podľa **stupňa dosiahnutej deformácie**
6. podľa **tvárneného materiálu**

Rozdelenie tvárnenia

1. Podľa **teploty tvárnenia** procesy delíme na:
 - a) *Tvárnenie za studena*
 - b) *Tvárnenie za tepla*
 - c) *Tvárnenie za polooohrevu*

Teplota rekryštalizácie

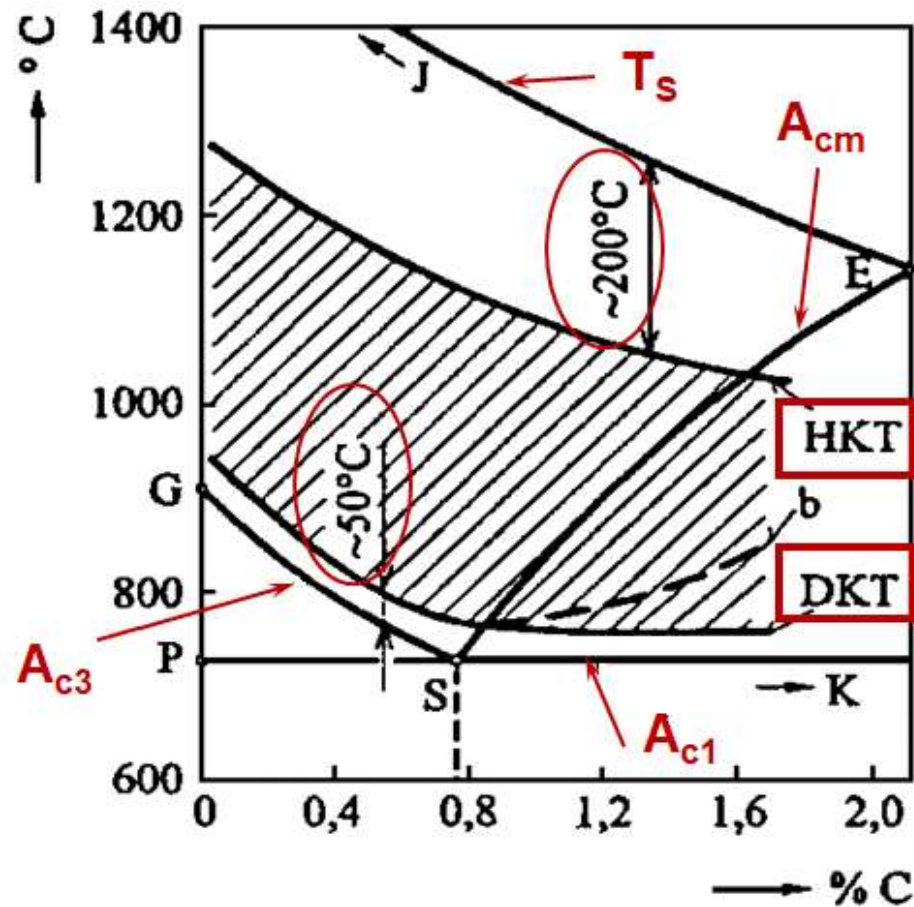
$$T_{rek} = (0,35 \text{ až } 0,4) \cdot T_{tav}$$

Rozdelenie tvárnenia

1. Podľa **teploty tvárnenia** procesy delíme na:
 - a) **Tvárnienie za studena** – proces tvárnenia sa realizuje pri teplotách nižších ako teplota rekryštalizácie **Trek** ($T_{tv} < 0,35T_{tav}$) ($T_{tv} < 0,1T_{tav}$). Materiál sa počas tvárnenia, **spevňuje** t. j. vyčerpáva sa jeho plasticita / tvárniteľnosť.

 - b) **Tvárnienie za tepla** – proces tvárnenia sa realizuje pri teplotách vyšších ako teplota rekryštalizácie **Trek** ($T_{tv} > 0,7T_{tav}$). Výhodou tvárnenia za tepla je, že je **lepšia plasticnosť materiálu** (u väčšiny kovov a ich zliatin) a pretvárny odpor je menší ako pri tvárnení za studena.
 - c) **Tvárnienie za poloochrevu** – proces tvárnenia sa realizuje pri teplotách **spodnej hranice dolnej kovacej teploty**, aby sa zabránilo nepriaznivému vzniku okovín ($T_{tv} = (0,4 \text{ až } 0,7)T_{tav}$).

Ohrev materiálu



$$HKT = T_s - (200 \text{ až } 300) \text{ (}^\circ\text{C)}$$

$$DKT = T_{Ac3} (T_{Ac1}) + (20 \text{ až } 50) \text{ (}^\circ\text{C)}$$

Pásma kovacích teplôt

oceľe (700 až 1 300) °C,
 zliatiny Cu (650 až 1 000) °C,
 zliatiny Al (350 až 500) °C,
 zliatiny Ti (830 až 1 060) °C)

Rozdelenie tvárnenia

2. Podľa **tepelného efektu**, teda podľa množstva vyvinutého tepla, ktoré sa spotrebuje na zvýšenie teploty tvárneného kovu, rozdeľujeme tvárniace procesy na:
- a) **Tvárniace procesy izotermické** – tieto procesy sú charakteristické tým, že **všetko teplo, vyvinuté pri tvárnení, sa odvádza do okolia**, takže teplota tvárnených materiálov sa nemení. Vzniká vtedy, keď vonkajšie pole je stacionárne, deformácia je vratná alebo nevratná, ale dostatočne pomalá vzhľadom na odovzdávanie tepla.
 - b) **Tvárniace procesy adiabatické** – sú charakteristické tým, že **všetko teplo, vyvinuté pri tvárnení, ostáva v tvárnených materiáloch** a spotrebuje sa na zvýšenie ich teploty.
 - c) **Tvárniace procesy polytropické** – sú charakteristické tým, že **časť tepla, ktoré sa vyvinulo pri tvárnení, sa odvádza do okolia a časť ostáva v tvárnených materiáloch** a spotrebuje sa na zvýšenie ich teploty. Je to charakteristické napr. pri vysokorýchlostnom tvárnení, kde sa premení na teplo veľké množstvo energie a iba nepatrná časť sa odvedie do okolia.

Rozdelenie tvárnenia

3. Podľa **charakteru pretvorenia**, tvárniace procesy rozdeľujeme na:

a) **Plošné tvárnenie**

- ohýbanie
- ťahanie
- kovotlačenie

- strihanie

b) **Objemové tvárnenie**

- voľné kovanie
- zápustkové kovanie
- valcovanie



OTZT

-
- ubíjanie (nabíjanie)
 - pretláčanie
 - razenie
 - kalibrovanie
 - ťahanie (objemové)
 - rotačné kovanie
 - radiálne lisovanie



OTZS

Rozdelenie tvárnenia

4. Podľa **zat'aženia** (použitého tvárniaceho stroja) tvárniace procesy rozdeľujeme na:
- Tvárnenie **statické** (tlakové),
 - Tvárnenie **dynamické** (rázové),
 - Tvárnenie **spojité**,
 - **Nespojité** tvárnenie.

Rozdelenie tvárnenia

5. Podľa **stupňa dosiahnutej deformácie**

(pomer medzi voľným povrchom tvárneného materiálu a povrchom, ktorý je v styku s tvárniacim nástrojom), možno technologické tvárniace procesy rozdeliť do troch skupín:

- a) voľný povrch tvárneného materiálu je väčší ako je povrch, ktorý je v styku s nástrojom (napr. **voľné kovanie**),
- b) voľný povrch tvárneného materiálu je približne rovnako veľký ako povrch, ktorý je v styku s nástrojom (napr. **kovanie v tvarových kovadlách, v otvorených zápustkách**),
- c) voľný povrch tvárneného materiálu je menší ako povrch, ktorý je v styku s nástrojom (napr. **kovanie v uzatvorených zápustkách, pretláčanie**)

Pre všeobecnú klasifikáciu technologických tvárniacich procesov **rozhodujúcim kritériom je aký veľký môže byť stupeň deformácie pri určitej teplote a rýchlosti deformácie bez vzniku trhlin** na povrchu tvárneného tělesa.

Rozdelenie tvárnenia

6. Podľa **tvárneného materiálu**, tvárniace procesy rozdeľujeme na:

- Tvárnenie **kovových materiálov**,
- Tvarovania **plastov**,
- Tvarovania **kompozitných materiálov**,
- Tvarovania **gumy, papiera, kože** (hlavne pre proces strihania).

Rozdelenie tvárnenia – podľa charakteru pretvorenia (plošné tvárnenie)

Rozdelenie tvárnenia

3. Podľa **charakteru pretvorenia**, tvárniace procesy rozdeľujeme na:

a) **Plošné tvárnenie**

- ohýbanie
- ťahanie
- kovotlačenie

- strihanie

b) **Objemové tvárnenie**

- voľné kovanie
- zápusťkové kovanie
- valcovanie

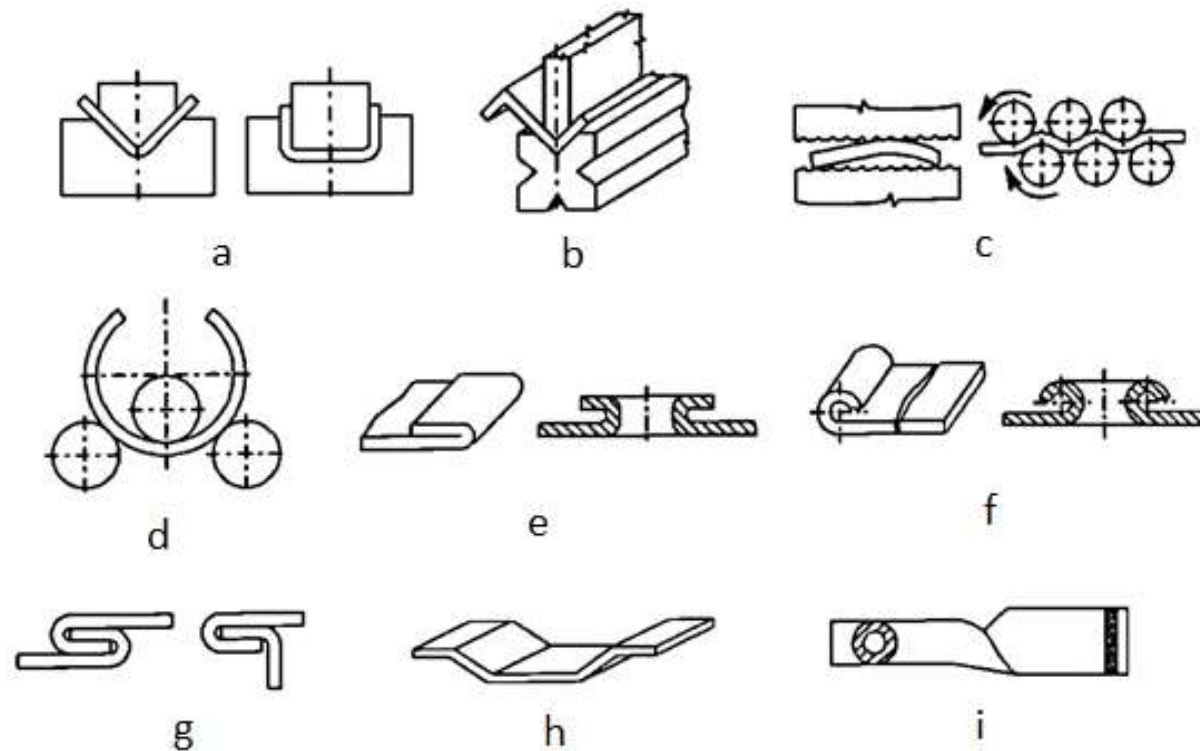
↑ OTZT

-
-
- ubíjanie (nabíjanie)
 - pretláčanie
 - razenie
 - kalibrovanie
 - ťahanie (objemové)
 - rotačné kovanie
 - radiálne lisovanie

↓ OTZS

Rozdelenie tvárnenia – podľa charakteru pretvorenia (plošné tvárnenie)

Ohýbanie

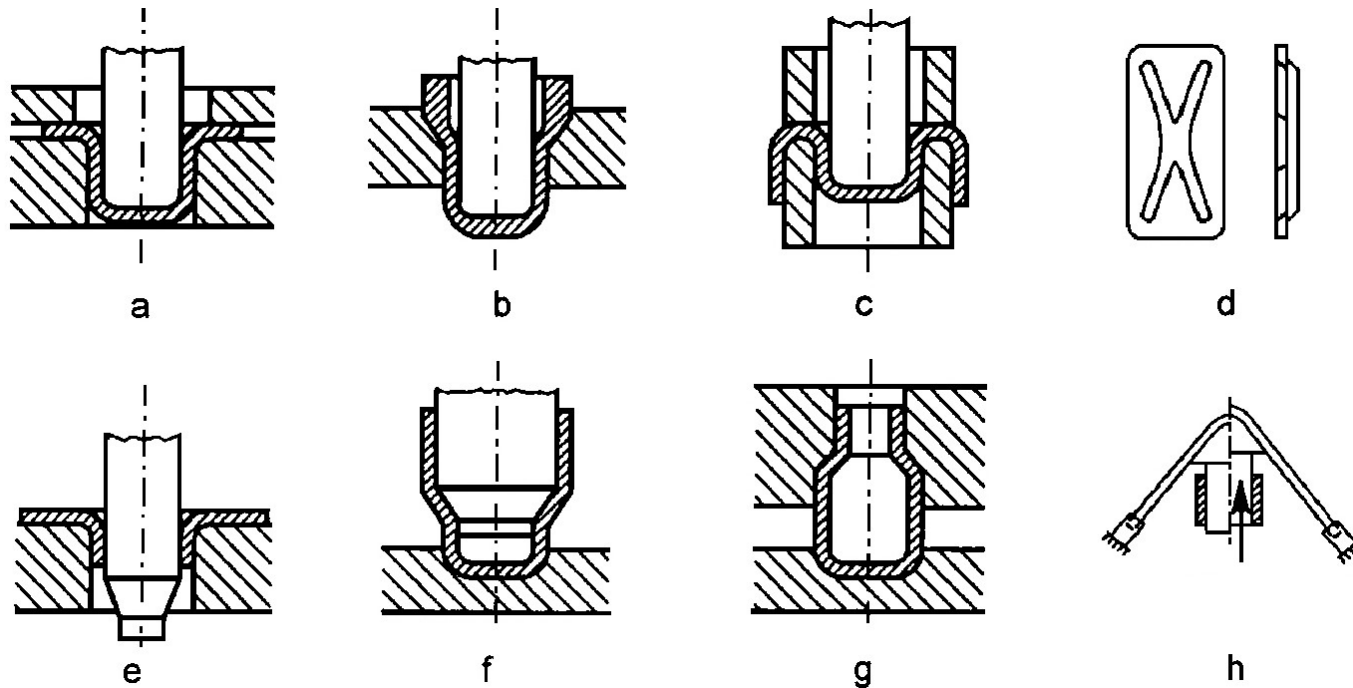


Operácie ohýbania

a – jednoduché ohýbanie do tvaru „U“ a „V“, b – ohraňovanie, c – rovnanie, d – zakružovanie, e – lemovanie, f – obrubovanie, g – driapkovanie, h – osadzovanie, i – skrucovanie

Rozdelenie tvárnenia – podľa charakteru pretvorenia (plošné tvárnenie)

Ťahanie

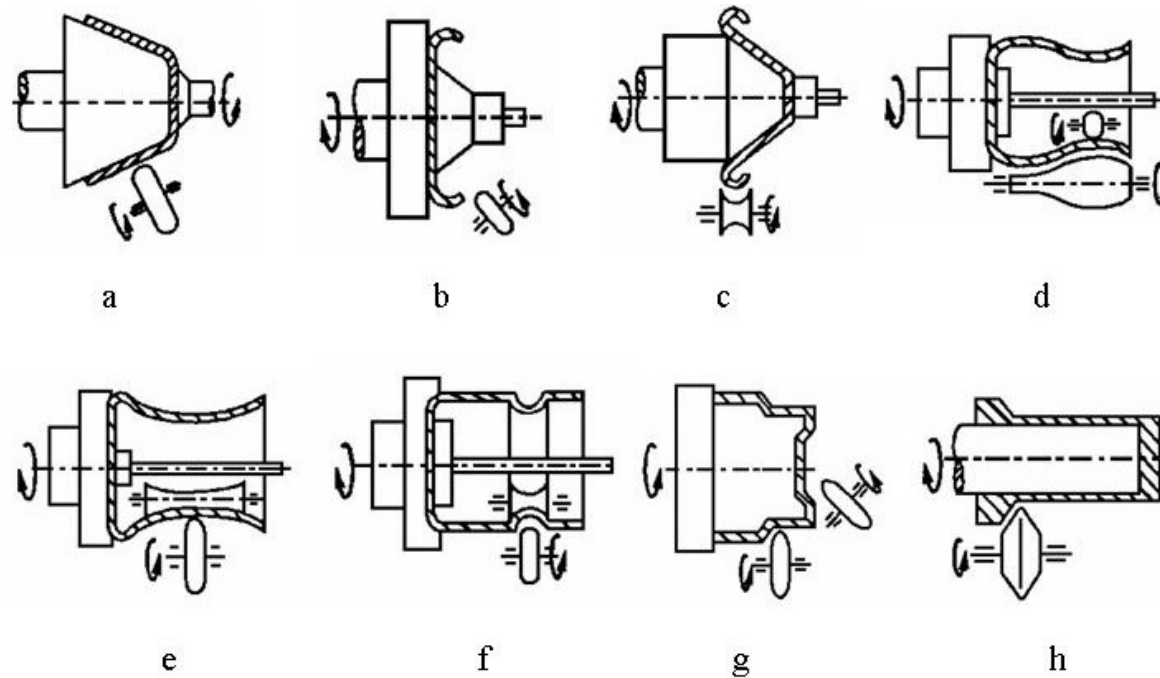


Operácie ťahania

*a – jednoduché ťahanie, b – ťahanie s redukciou hrúbky steny, c – spätné ťahanie, d – žliabkovanie,
e – pretiahovanie, f – rozširovanie, g – zužovanie, h – natiahovanie*

Rozdelenie tvárnenia – podľa charakteru pretvorenia (plošné tvárnenie)

Tlačenie (kovotlačenie)

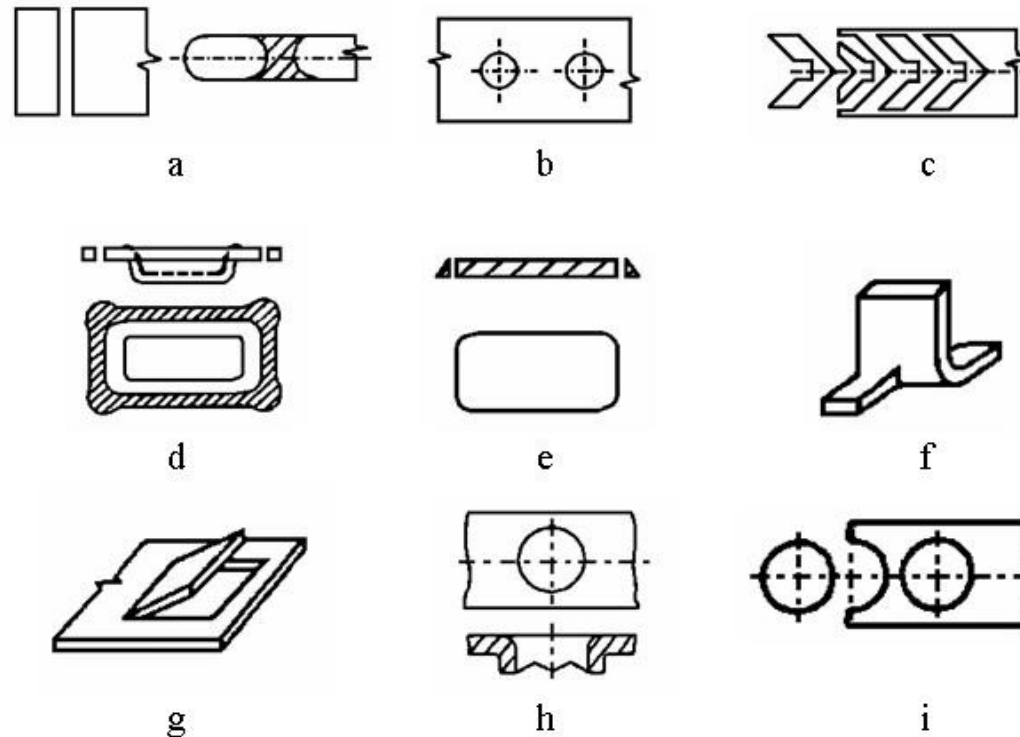


Operácie kovotlačenia

a – tlačenie tvaru bez redukcie hrúbky steny, b – obrubovanie, c – lemovanie, d – rozširovanie, e – zužovanie, f – žliabkovanie, g – osadzovanie a presadzovanie, h – tlačenie s redukciou hrúbky steny

Rozdelenie tvárnenia – podľa charakteru pretvorenia (plošné tvárnenie)

Strihanie



Operácie strihania

*a – jednoduché strihanie, b – dierovanie, c – vystrihovanie, d – ostrihovanie, e – pristrihovanie,
f – nastrihovanie, g – prestrihovanie, h – pretrhávanie, i – vysekávanie*

Rozdelenie tvárnenia – podľa charakteru pretvorenia (objemové tvárnenie)

Rozdelenie tvárnenia

3. Podľa **charakteru pretvorenia**, tvárniace procesy rozdeľujeme na:

a) **Plošné tvárnenie**

- ohýbanie
- ťahanie
- kovotlačenie

- strihanie

b) **Objemové tvárnenie**

- voľné kovanie
- zápustkové kovanie
- valcovanie



OTZT

-
-
- ubíjanie (nabíjanie)
 - pretláčanie
 - razenie
 - kalibrovanie
 - ťahanie (objemové)
 - rotačné kovanie
 - radiálne lisovanie



OTZS

Rozdelenie tvárnenia – podľa charakteru pretvorenia (objemové tvárnenie za tepla)

Voľné kovanie



Rozdelenie tvárnenia – podľa charakteru pretvorenia (objemové tvárnenie za tepla)

Zápustkové kovanie



Rozdelenie tvárnenia – podľa charakteru pretvorenia (objemové tvárnenie za tepla)

Zápustové kovanie – zápustka

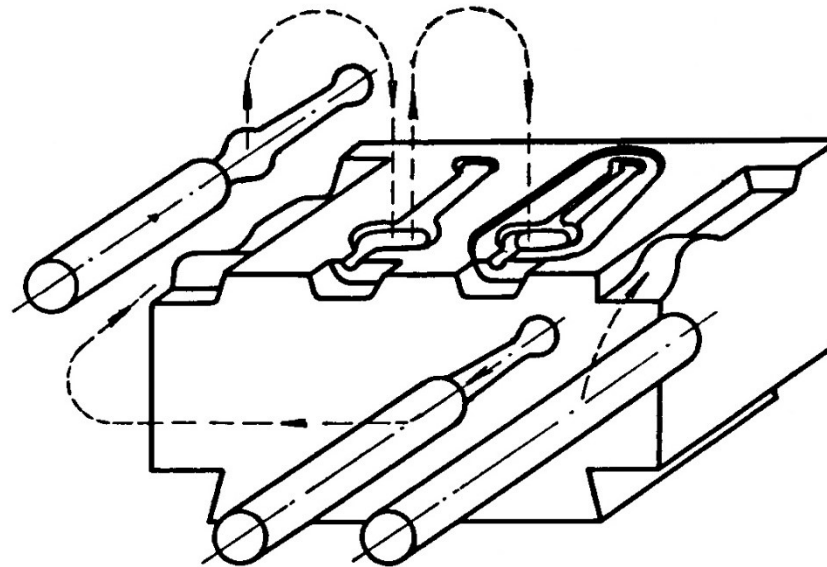


Schéma viacdutinovej spodnej časti zápustky

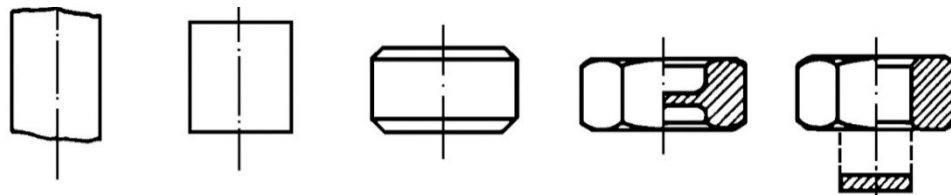
Rozdelenie tvárnenia – podľa charakteru pretvorenia (objemové tvárnenie za tepla)

Valcovanie

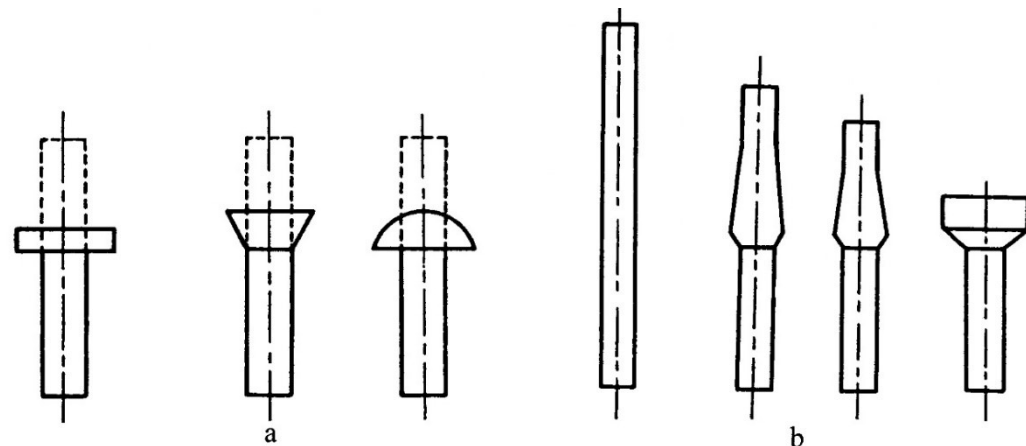


Rozdelenie tvárnenia – podľa charakteru pretvorenia (objemové tvárnenie za studena) – príklad

Ubíjanie / nabíjanie



Výroba matice ubíjaním



Výroba súčiastok nabíjaním

a – nitu na jeden úder, b – skrutky na viac úderov

Rozdelenie tvárnenia – podľa charakteru pretvorenia (objemové tvárnenie za studena) – príklad

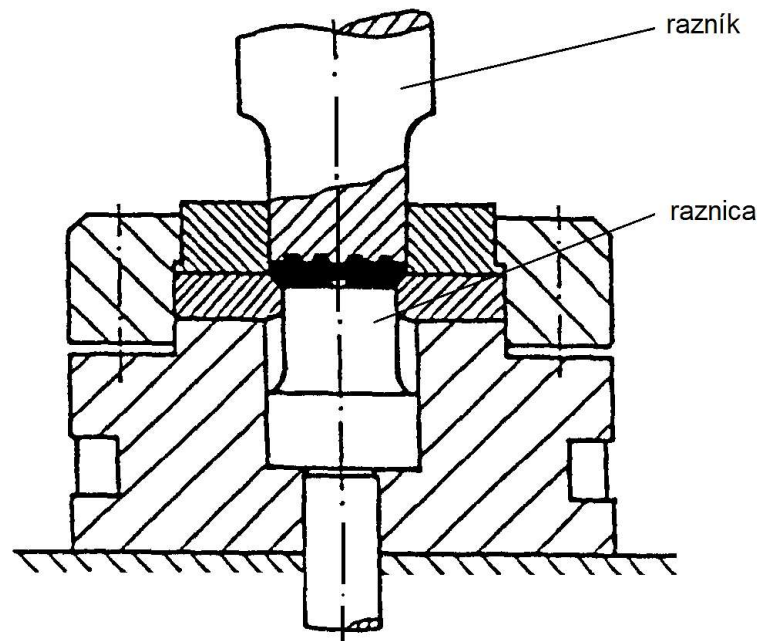
Pretláčanie

Medzi základné spôsoby pretláčania patrí:

- **dopredné** pretláčanie
- **spätné** pretláčanie
- **združené** (kombinované) pretláčanie
- **stranové** pretláčanie
- **vtláčanie**

Rozdelenie tvárnenia – podľa charakteru pretvorenia (objemové tvárnenie za studena) – príklad

Razenie



ZÁKLADY VÝROBNÝCH TECHNOLOGIÍ I.

Klasifikácia a pretvorenie materiálu

e-mail: jana.sugarova@stuba.sk