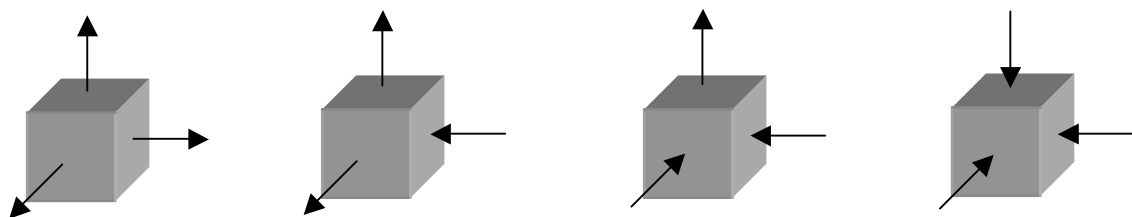


# Technológia tvárnenia

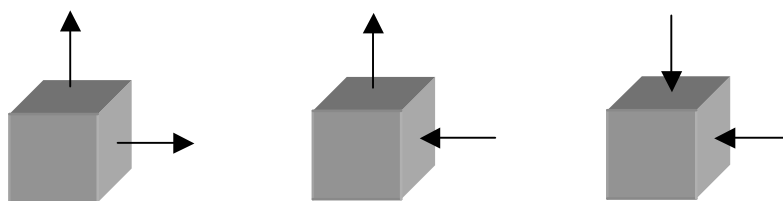
## 1. Stavy napätosti a pretvorenia v procese tvárnenia

### Stavy napätosti

- 1) **Priestorová napätosť:** (obr. 1a)
- 2) **Plošná napätosť:** (obr. 1b)
- 3) **Priamková napätosť:** (obr. 1c)



Obr. 1a

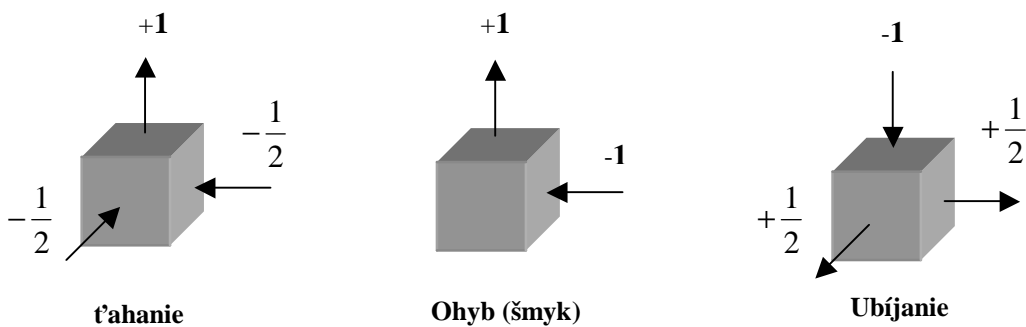


Obr. 1b



Obr. 1c

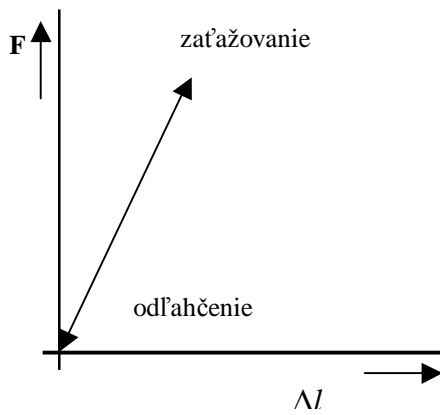
### Schémy pretvorenia



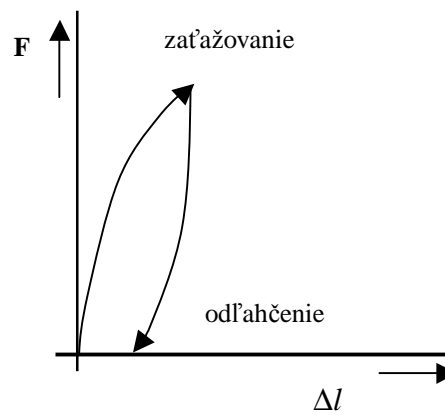
### Základné typy pretvorenia:

**Pružná deformácia:** závislosť medzi silami a deformáciou je rovnaká pri zaťažovaní aj pri odľahčovaní. To znamená, že po odstránení síl pôsobiacich na teleso, toto nadobúda pôvodný tvar. (obr. 2a)

**Plastická deformácia:** odľahčovanie prebieha podľa inej závislosti ako zaťažovanie. Po odstránení síl pôsobiacich na teleso zostáva jeho tvar **trvale** zmenený. Táto deformácia závisí od veľkosti pôsobiacich síl ako aj na čase ich pôsobenia. (obr. 2b)



Obr. 2a



Obr. 2b

**Druhy pretvorenia:**

- Absolútne
- Pomerné
- Logaritmické
- Hlavné
- Porovnávacie
- Uhlové

Napätia aj pretvorenia sú vektorové veličiny, ktorých smer závisí od zvolenej orientácie polohy vzhľadom na smer vonkajších síl

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ , normálové napätia

$\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ , pretvorenia

Táh kladné hodnoty  $\rightarrow (+)$

Tlak záporné hodnoty  $\rightarrow (-)$

Nulové hodnoty  $\rightarrow (0)$

## 2. Teoretický rozbor tvárnenia, mechanizmy pretvorenia, zistenie veľkosti pretvorenia

**Deformačná schopnosť:** je schopnosť tuhých látok (telies) meniť tvar (rozmery) pod účinkom vonkajších síl.

**Tvárnienie:** je schopnosť alebo presnejšie povedané, zámerná riadená deformácia kovov pomocou vonkajších síl tak, aby sme dosiahli požadovaný tvar súčiastky bez porušenia jej súdržnosti.

**Tvárniteľnosť:** je to veľkosť trvalej zmeny tvaru polotovaru do jeho porušenia, pri daných podmienkach.

### Rozdelenie tvárniacich procesov

#### 1. Podľa teploty

- Tvárnienie za studena  $T_t < 0,4T_{tav} [K]$  (s úplným spenením)
- Tvárnienie za poloohrevu a neúplného ohrevu  $T_t = (0,3 \div 0,7)T_{tav}$
- tvárnienie za tepla  $T_t > 0,7T_{tav}$  (1200 až 800 C pre oceľ)

#### 2. Podľa pôsobenia vonkajšej sily

- statické alebo dynamické (hydraulický lis alebo buchar)
- spojité alebo nespojité

#### 3. Podľa zmeny tvaru materiálu

- objemové: dochádza k požadovanej zmene tvaru a podstatnej zmene prierezu tvárneného materiálu. (napr. valcovanie, kovanie, pretláčanie, ťahanie profilov)
- plošné: dochádza k požadovanej zmene tvaru bez podstatnej zmeny prierezu tvárneného materiálu (plochy). Napr. hlboké ťahanie, ohýbanie, zakružovanie, lemovanie.

### Zisťovanie veľkosti pretvorenia

**Oblasť pretvorenia:** je ohraničený priestor, v ktorom v danom okamžiku prebieha tvárnienie.

### Pretvorenie

#### 1) absolútne

- rozmeru (dĺžky)  $\Delta l = l_1 - l_0 [mm]$
- prierezu (plochy)  $\Delta S = S_1 - S_0 [mm^2]$

#### 2) pomerné

- rozmeru (pomerné predĺženie)  $\varepsilon_l = \int_{l_0}^{l_1} \frac{dl}{l_0} = \frac{l_1 - l_0}{l_0} [\%]$
- prierezu (redukcia)  $\varepsilon_S = \int_{S_0}^{S_1} \frac{dS}{S_0} = \frac{S_1 - S_0}{S_0} [\%]$

#### 3) logaritmické (skutočné)

- rozmeru (dĺžky)  $\varphi_l = \int_{l_0}^{l_1} \frac{dl}{l} = \ln \frac{l_1}{l_0} = \ln K_l$
- prierezu (plochy)  $\varphi_S = \int_{S_0}^{S_1} \frac{dS}{S} = \ln \frac{S_1}{S_0} = \ln K_S$

#### 4) stupeň pretvorenia

a) rozmeru (dĺžky)  $K_l = \frac{l_1}{l_0}$

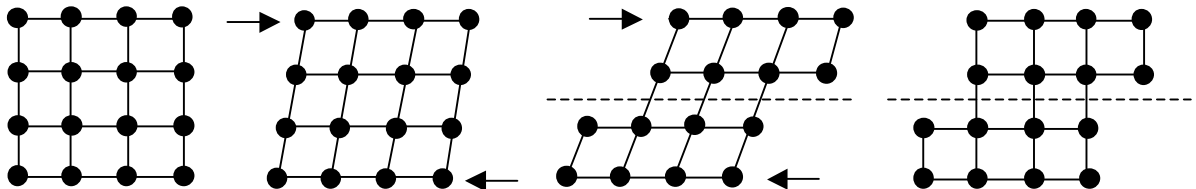
b) prierezu (plochy)  $K_s = \frac{S_0}{S_1}$

#### Mechanizmy pretvorenia

##### V kovových kryštáloch sú dva základné mechanizmy pretvorenia:

**Pretvoreniu sklzom:** dôjde alebo presnejšie povedané môže dôjsť v určitej kryštalografickej rovine a smere v tom prípade, ak sklzové napätie dosiahne určitú takzvanú kritickú hodnotu. Je dokázané, že ku sklzom dochádza vždy v rovinách a smeroch najhustejšie obsadených atómami. Sklz v kryštály prebieha postupne ako pohyb porúch kryštalickej mriežky (dislokácií). Plastická deformácia je podmienená prítomnosťou dislokácií.

**Pretvorenie dvojčatením:** dochádza k preklopeniu časti kryštálu okolo roviny dvojčatenia tak, že táto vytvára zrkadlový odraz pôvodnej mriežky. Dvojčatením sa pretvárajú najmä kovy s hexagonálnou a kubicky priestorovo centrovanou mriežkou.



Obr. 3

Mierou veľkosti pretvorenia je logaritmický stupeň pretvorenia  $\varphi$ .

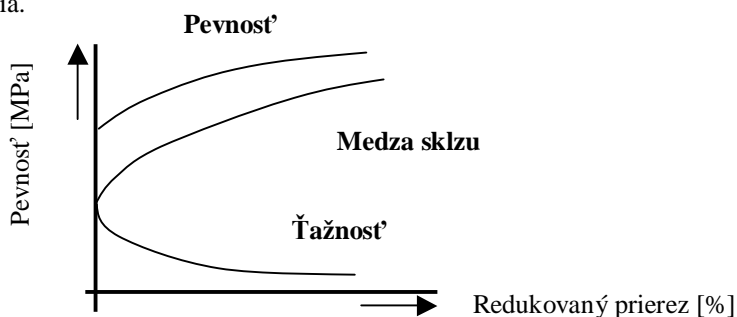
$$\varphi = \ln \frac{h_0}{h}$$

$h_0$  – pôvodná výška materiálu

$h$  – výška po ubíjaní

### 3. Spevnenie kovov pri tvárnení za studena, krivka pretvárnej pevnosti

Pri tvárnení kovov za studena (do  $0,3 T_{lav}$ ) sa podstatne menia ich mechanické a fyzikálne vlastnosti, čo pravdaže súvisí so zmenami mikroštruktúry. Medze sklzu a pevnosti sa zvyšujú, tvrdosť stúpa, ťažnosť klesá, tepelná, elektrická vodivosť a magnetické vlastnosti sa menia. Intenzita spevnenia je najväčšia pri malých stupňoch pretvorenia. Zvyšujúcim sa stupňom pretvorenia sa intenzita pretvorenia znižuje. Spevnenie je teda prejavom miestneho zvyšovania hustoty dislokácií a zvyšovaním ich nerovnomerného rozdelenia v kryštály. Šmykové napätie s rozvojom plastickej deformácie rastie. Rôzna orientácia kryštalografických rovín jednotlivých zŕn spôsobuje, že sa každé zŕno zdeformuje ináč, preto zná po deformácii vykazujú rôzny stupeň spevnenia.



## 4. Zákony tvárnenia

- Zákon stálosti objemu
- Zákon stálosti potenciálnej energie
- Zákon najmenšieho odporu
- Zákon o doplnkoch napätí a pnutí
- Zákon spevnenia
- Zákon trenia
- Zákon podobnosti
- Zákon neodlučiteľnosti, elastická deformácia

## 5. Princíp strižného procesu, strižná sila, práca, graf priebehu strižnej sily

**Strihanie:** je oddeľovanie materiálu pomocou protilahlých nožov, ktoré vyvolajú v telesovej rovine šmykové napätie  $\tau_{\text{strihu}}$ .

**Operácie, technológia strihania:** jednoduché strihanie, dierovanie, vystrihovovanie, odstrihovovanie, pristrihovovanie, nastrihovovanie, prestrihovovanie, prethrávanie a vysekávanie, presné strihanie, strihanie profilov.

### Proces strihania

- fáza:** pružný aj plastický ohyb (deformácia) bez oddeľovania častí materiálu.
  - fáza:** plastický strih (čistý strih), pri ktorom sa materiál oddeľuje šmykovými napätiami.
  - fáza:** oddelenie častí odtrhnutím (prevažuje tu ťahové napätie).
  - fáza:** strihanie sa ukončí vytlačením odstrižku od polotovaru.
- Element nachádzajúci sa na okraji materiálu tesne pod reznou hranou strižníka. Na kocku pôsobí ťahové napätie  $\sigma_1$  a tlakové  $\sigma_3$ . Ak by pôsobili len tieto dve napätia, nastal by čistý šmyk, preto tu ešte pôsobí ťahové napätie  $\sigma_2$
  - Pôsobí tlakové napätie  $\sigma_3$ , ťahové napätie  $\sigma_1$ , tlakové napätie  $\sigma_2$ .
  - Napätia  $\sigma_1$ ,  $\sigma_3$  najviac sa blížia k čistému šmyku  $\tau_{\text{max}} = 1/2 (\sigma_1 - \sigma_3)$ .

Napätie sa najviac približuje k čistému šmyku tam, kde má intenzita pretvorenia  $\phi$  najmenšiu hodnotu.

**Strižná medzera Z:** vzdialenosť medzi protíahlými strižnými hranami.

**Strižná vôľa:** súčet strižných medzier po oboch stranách strižníka.

**Malá strižná medzera:** zvyšuje strižnú silu a prácu, zhoršuje kvalitu strižnej plochy, spôsobuje takzvané dvojnásobné strihanie.

**Veľká strižná medzera:** veľká deformácia okraja ohybom, vťahovanie materiálu do medzery, zvyšuje strižnú silu a prácu, nekvalitná strižná plocha.

**Strižná sila:**  $F_s = S k_s n$

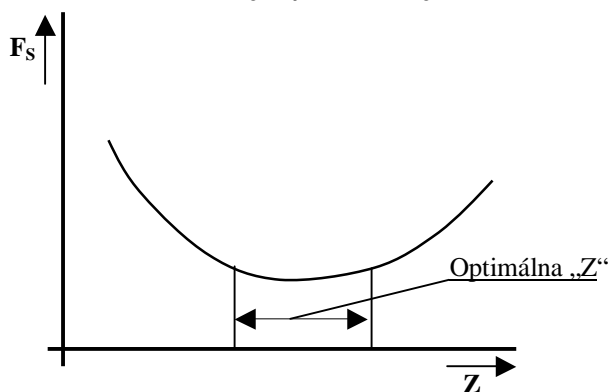
S – strižná plocha

$k_s$  – strižný odpor

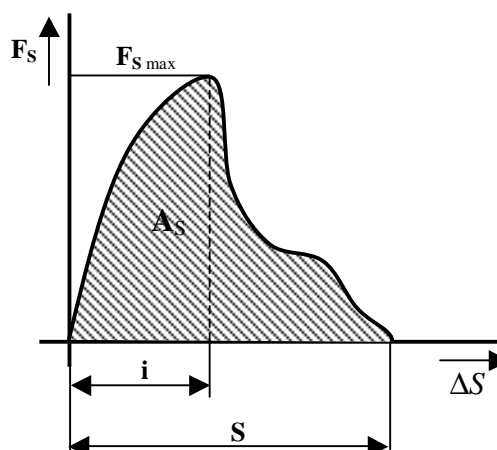
n – súčiniteľ (1,1 až 1,3)

### Grafický priebeh strižnej sily

Závislosť strižnej sily na strižnej medzere



Priebeh strižnej sily v závislosti na dráhe



## Strižná práca

$$A_s = F_s \cdot s \cdot \Psi$$

$\Psi = (0,4 \text{ až } 0,7)$ , je súčiniteľ plnosti pracovného diagramu. Nižšie hodnoty sú pre tvrdšie a hrubšie plechy, vyššie pre tenké a mäkkšie plechy.

## 6. Stroje a nástroje na strižné operácie

### Strihanie rozdeľujeme na:

Strihanie na nožniciach (strojom a nástrojom sú nožnice)  
Strihanie na lisoch

### Strihanie na nožniciach

Rovnobežných  
So skosenými nožmi  
Profilové

### Strihanie na lisoch

### Nástroje

**Jednoduchý:** zahŕňajú v sebe jednu základnú prácu, v nej jednu operáciu a súčiastka je vyrobená na jeden zdvih.

**Postupový:** zahŕňa v sebe jednu základnú prácu, v nej 2 až n operácií a súčiastka je vyrobená na 2 až n zdvihov.

**Zlúčený:** zahŕňa v sebe jednu základnú prácu, v nej 2 až n operácií a súčiastka je vyrobená na jeden zdvih.

**Združený:** zahŕňa v sebe 2 až n základných prác, n nich operácie a súčiastka je vyrobená na jeden zdvih.

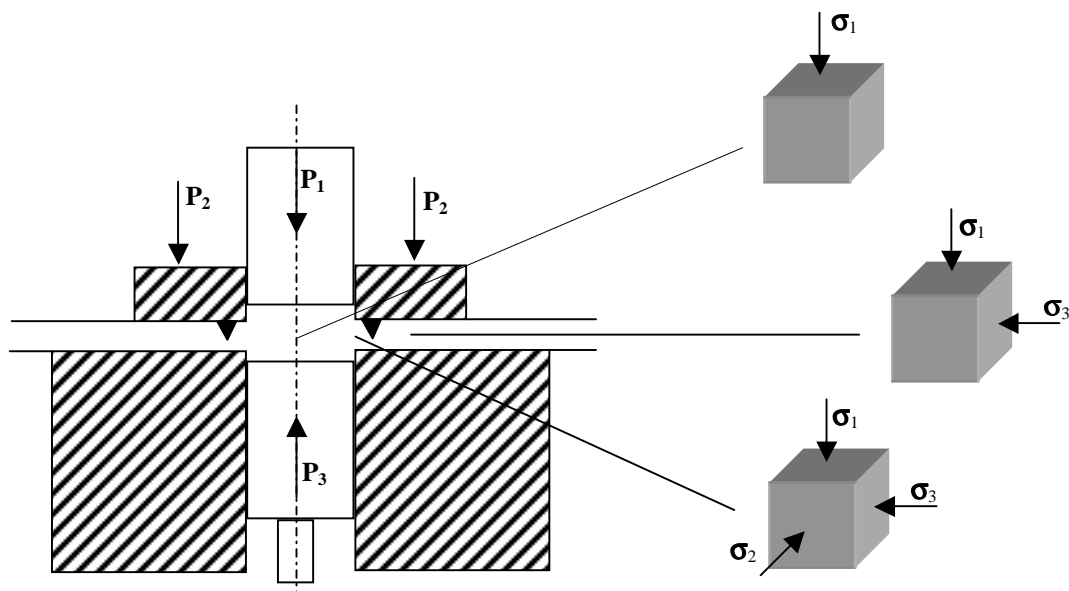
**Združený postupový:** zahŕňa v sebe 2 až n základných prác, v nich operácie a súčiastka je vyrobená na 2 až n zdvihov.

## 7. Presné strihanie, strihanie gumou

### Presné strihanie

Je to metóda zlúčeného strihania, na zhotovovanie výstrižkov s obvodovou plochou o nepatrnej drsnosti. Spoločným pôsobením nástroja a lisu na presné strihanie sa zamedzí tvoreniu trhlín v pásme strihania.

Vtlačením nátláčnej hrany do materiálu okolo obvodu strižných hrán sa zabráni tečeniu materiálu z miesta strihu ( $F_{pv}$ ). Pri strihaní je materiál zovretý medzi strižník a vyhadzovač silami  $F_s$  a  $F_v$  pôsobiacimi proti sebe. Preto že je materiál zovretý, nemôže sa prehýbať, nátláčná hrana zabraňuje rozdielnemu pruženiu strihaného plechu, ktoré nastáva v dôsledku plastickej deformácie v oblasti strihu. V takomto zovretom materiále prevládajú tlakové napätia, ktoré bránia vzniku lomovej časti plochy. Rozmery nátláčnej hrany sú závislé od hrúbky a vlastností strihaného materiálu.



### Strihanie gumou

Menšie série súčiastok s tenkých plechov je možné vystrihovať nástrojmi, u ktorých činné časti tvorí gumová doska (plechy z hliníka do 2 mm, plechy z duralu do 1,5 mm, mäkká oceľ do 1 mm). Gumový vankúš je zložený z niekoľkých dosák o tvrdosti 65° až 80° Shore, pracovné tlaky závisia od druhu, hrúbky a tvaru strihaného materiálu (5 až 20 MPa). Je to veľmi jednoduchý a lacný nástroj, rýchla príprava výroby, dá sa strihať niekoľko súčiastok naraz. Nevýhodou je veľký odpad materiálu, menší výkon, ohraničená hrúbka strihaného plechu.

## 8. Základné technologické podmienky objemového tvárnenia za tepla pri voľnom kovaní, ohrev materiálu, stroje a nástroje pre voľné kovanie

### Voľné kovanie

Je to objemové tvárnenie za tepla, pri ktorom sa tvar výkovku dosahuje postupným tvarovaním (veľkým počtom zdvihov) pomocou kovadiel. Tvárniteľnosť materiálu je ovplyvňovaná teplotou tavenia, stavom napätosti, pretváracou rýchlosťou. Stupeň pretvorenia je tiež dôležitý činiteľ pre dosiahnutie dobrých mechanických vlastností.

$$k = \frac{S_0}{S_1} = \frac{l_1}{l_0}$$

technologický postup pri voľnom kovaní je závislý od tvaru a rozmerov výkovku, od vlastností materiálu, strojného zariadenia a požadovaných vlastností daného výkovku.

Ručné kovanie sa používa pri zhotovovaní drobných súčiastí, v údržbárskej praxi, v stavebnom zámočníctve a najmä pri umeleckom kovaní.

### Základné operácie voľného kovania

- ubíjanie
- predlžovanie
- skrucovanie
- prebýjanie
- osadzovanie a presadzovanie
- nasekávanie a odsekávanie
- ohýbanie a kováčske zváranie

Voľné kovanie je objemové tvárnenie kde kov zohrejeme na kovaciu teplotu, buď ručné alebo strojové kovanie pomocou bucharov o hmotnosti až 5 ton, alebo hydrodynamických lisov. (bucharý – pružinové, pneumatiké, parné). Kovacia teplota je veľmi dôležitý faktor pri tvárnení za tepla. Čím vyššia teplota, tým nižší odpor tvárneného kovu. S toho vyplývajú taktiež kovacie časy, menšia spotreba energie a nástrojov.

Rozoznávame hornú kovaciu teplotu, ktorá je vymedzená teplotou tavenia a leží asi 200 až 300 °C pod solidom.

Spodná hranica kovacej teploty závisí zase od premeny fázy  $\gamma$  na  $\alpha$

**Sila pre voľné kovanie:**  $F = S \cdot \tau_{OS}$  [N]

**Pretvárná práca:**  $dA = F \cdot dS = S \cdot \tau_{OS} \cdot dh$  [J]

### Voľné kovanie

- jednoduché výkovky pri malom počte operácií je možné vykovať na jeden ohrev
- zložité a s horšou tvárnosťou materiálu na viac ohrevov (2 až 10)
- stupeň prekovania má byť dostatočne veľký, aby sme získali dobré mechanické vlastnosti
- kováčske nástroje – kovadlá (ploché, zaoblené), kovátka (kruhové, štvorcové), sekáče, priebojníky, kovacie tŕne, príložky, nástavce
- voľba kovacieho stroja:
  - ✓ pri bucharoch sa určuje váha barana
  - ✓ pri lisoch sa určujú maximálne kovacie sily
- časová norma:
  - ✓ výrobné (strojové)
  - ✓ pomocné časy

### Ohrev materiálu

Všeobecnou požiadavkou pri ohreve materiálu je, aby materiál bol čo najrovnomernejšie zohriaty na takú teplotu, pri ktorej je tvárnenie optimálne, to znamená že, nesmie dôjsť k nežiadúcemu zhrubnutiu zrna a k vnútorným pnutiam výrobku.

### Optimálny a ekonomický ohrev určuje:

- **Výška teploty ohrevu:** po prekročení optimálnych teplôt ohrevu sa tvárnosť zhoršuje
  - a) **prehriatie:** dochádza k zhrubnutiu štruktúry, k zníženiu pevnosti, k skrehnutiu a pri kovaní vznikajú roztrepi a trhliny
  - b) **spálenie:** pri dlhšej výdrži na hornej kovacej teplote oxidácia postupuje po hraniciach zŕn do vnútra materiálu a dochádza k oslabeniu súdržnosti zŕn, kov stráca pevnosť a pri kovaní sa rozpadá, takže sa nedá kovať.
- **Rýchlosť ohrevu:** ohrev materiálu sa má realizovať tak, aby bolo zaručené rovnomerné prehriatie kovu v celom priereze, aby bol ohrev čo najrýchlejší, aby sa materiál ohrial na požadovanú teplotu a aby straty kovu opalom boli čo najmenšie.
  - Rýchlosť ohrevu závisí od:**
    - a) tepelnej vodivosti
    - b) spôsobu odovzdávania tepla
    - c) prípustného opalu a oduhličenia
  - Prvá fáza ohrevu:** rýchlosť ohrevu je nižšia, to zamedzuje vzniku vnútorných pnutí.
  - Druhá fáza ohrevu:** je možný rýchlejší ohrev, pretože už nehrozí vznik vnútorných pnutí v materiály.
- **Doba ohrevu:** časová výdrž nepriaznivo ovplyvňuje tvárnosť ocelí náchylných na rast zrna.
- **Zloženie pecnej atmosféry**
- **Režim ochladzovania**

### Zariadenia pre ohrev pri voľnom kovaní

- kováčske vyhne
- komorové pece
- komorové vozové pece
- strkacie pece

### Nástroje pre voľné kovanie

#### 1) aktívne

- a) úderné (kovadlá)
- b) podkladacie
  - strojové sekáče: na sekanie a vysekávanie výkovku
  - zasekávacie príložky: na vytvorenie prehĺbení (zásekov) na výkovku
  - podložky, splošťovače: na miestne vyt'ahovanie alebo prehľbovanie výkovkov
  - osadzovacie kovadlá: na osadzovanie
  - prebíjadlá: pre vytvorenie priechodzích a nepriechodzích otvorov
  - rozháňacie tŕne: pre kovanie dutých výkovkov

#### 2) pasívne: používané na uchopenie, premiestňovanie, otáčanie, pridŕžanie



## 9. Technológia zápustkového kovania, základné technologické podmienky, kovanie na lisoch, kovanie na bucharoch

### Zápustkové kovanie

Je tvárnenie materiálu za tepla v dutine kovacieho nástroja – zápustka. Ohriaty polotovár sa ukladá do jednej z dutín zápustky a pôsobením úderov alebo tlakom druhej časti zápustky na polotovár sa dutina vyplní.

### Dutina zápustky môže byť

#### Otvorená

- s určitou medzerou medzi dvoma dielcami zápustky, respektíve s výronkovou drážkou po obvode dutiny
- po zaplnení dutiny sa prebytočný materiál vytlačí do výronkovej drážky a na výkovku sa tvorí takzvaný výronok, ktorý sa odstraňuje odstrihovaním

#### Uzavretá

- bez medzery alebo výronkovej drážky
- musí byť objem polotovaru rovný objemu dutiny zápustky a len nepatrne malý prebytok môže byť vytlačený do takzvaných kompenzátorov

Výronková drážka je osobitná medzera medzi dvomi dielmi zápustky, do ktorej zámerne vyteká určitý prebytok objemu polotovaru.

### Buchary používané pre zápustkové kovanie

- padacie (doskové, remeňové, parné)
- dvojčinné (parné, vzdušné a hydraulicko –pneumatické)
- protibežné (s mechanickým alebo hydraulickým spojením)
- pneumatické (kompresorové)
- vysoko rýchlostné (rýchlosť kovania cca  $25 \text{ ms}^{-1}$ )

### Dva spôsoby kovania s bucharmi

#### a) Kovanie v jednodutinovej zápustke

#### b) Kovanie vo viacdutinových zápustkách

##### pripravené dutiny

- slúžia pre vytvorenie predkovku

##### dohotovovacie

- predkovacia
- dokončovacia

##### pomocná dutina

- odsekávač

### Kovanie bez výronku (presné kovanie)

### **Kovanie bez výronku**

- Výkovok je vytvorený bez vytvorenia výronku
- Spotrebuje sa celý objem materiálu vložený do zápustky na vyplnenie zápustkovej dutiny. Treba dodržiavať hlavne:
  - ✓ dobré založenie materiálu do zápustky
  - ✓ čisté plochy po delení materiálu
  - ✓ presný objem vloženého materiálu

Prednosti tejto technológie sú zníženie odpadu materiálu vo výronku (20 až 50%), úspora v práci, zníženie kovacej sily a energie, možnosť dosiahnutia presnejších výkovkov. Je tu povolený malý prebytok objemu polovýrobku.

Malý prebytok objemu materiálu je nebezpečný pre poškodenie zariadenia. Je to vyriešené rôznymi spôsobmi napríklad pri kovaní na kľukových kovacích lisoch sa používajú kompenzačné spôsoby prebytku materiálu (kompenzačným otvorom alebo štrbinou, odpružením časti zápustky, vnútorným výronkom, využitím odpruženia sústavy stroj nástroj). Pri kovaní na vodorovných kovacích strojoch sa prebytok materiálu vytlačí s dutiny späť do tyče. Pri kovaní na trecích vretenových lisoch (alebo bucharoch) sa prebytok objemu kompenzuje výškou výkovku.

### **Kovanie na lisoch**

Pre zápustkové kovanie s používajú lisy:

- kľukové
- výstredníkové
- trecie
- hydraulické a vodorovné kľukové

### **Postupy kovania na lisoch**

- a) kovanie s predkovaním na samotnom lise (pechovanie, rozširovanie, pretlačovanie a ohýbanie)
- b) kovanie s predkovaním mimo lisu (najmä predlžovanie a rozdeľovanie)

#### **Predkovanie sa robí:**

- na buchare voľným kovaním
- na kovacích valcoch
- priečnym klinovým valcovaním

## **10. Kovanie na vodorovných kovacích strojoch, kovanie na kovacích valcoch, rotačné kovanie – redukovanie**

### **Kovanie na vodorovných kovacích strojoch**

Vodorovný kovací stroj je mechanický kľukový lis, ktorí sa pohybuje vodorovne. Používajú sa na ubíjanie koncov dlhých tyčových výkovkov. Kovaný materiál je upnutý v tvarových čelustiach (vodorovne alebo zvisle delených). Tiež sa na týchto strojoch kovajú ložiskové krúžky, priechodzí otvor vznikne tak, že výkovky sa v stroji z kovanej tyče odstrihnú.

### **Výhody**

- výkovky môžu mať niekoľko hláv
- je možné kovať v uzavretej aj v otvorenej zápustke
- otvory môžu byť kované z jednej alebo z dvoch strán
- úkosy v uzavretej zápustke môžu byť mulové alebo veľmi malé

### **Kovanie na kovacích valcoch**

Kovacie valce sa používajú na predkovanie výkovkov, kde je potrebné zužovanie alebo predlžovanie materiálu. Kovacie nástroje tvoria segmenty upevnené na otáčajúcich sa valcoch.

### Výhody

- možno kovať výkovky bez veľkých výčnelkov
- plochy kolmé k osi výkovku vyžadujú značné úkosy
- pri kovaní na hotovo sú veľké výronky - odpad
- dĺžkové tolerancie nemusia byť značne veľké

### Kovanie na redukovacích strojoch, rotačné kovanie

Rotačné kovanie sa používa pre hladké kovanie osadených (redukovaných) valcových častí. Kovadlá sú posuvne uložené v rotore, odstredivou silou pri otáčaní sa rotora narážajú na kladky v statore a sú smerovaná do stredu oproti sebe, kde kovajú – redukujú vloženú tyč.

### Výhody

- vhodné pre osadzované priemery – hriadele
- kovanie s veľmi malými toleranciami priemerov
- nevhodné pre kovanie výkovkov s veľkými prírubami

## 11. Objemové tvárnenie za studena, ubíjanie, stupeň pretvorenia, sila, práca, rozdelenie tlakov

### Ubíjanie

Je to jednoduchý proces objemového tvárnenia za studena, pri ktorom sa materiál stláčaním premiestňuje tak, že sa zväčšuje prierez polotovaru na úkor jeho výšky alebo dĺžky. Pri tomto procese sa v tvárnenom objeme, v dôsledku vonkajšieho trenia, vyvolá vonkajším zaťažením pomerne zložitý, priestorový stav napätosti → nerovnomerné pretvorenie v tvárnenom objeme. Trenie je príčinou aj nerovnomerného rozloženia tlaku na plochách.

$$\text{Štíhlostný pomer: } \lambda = \frac{l_0}{d_0} \text{ alebo } \frac{h_0}{d_0} \quad (\lambda \leq 2,5)$$

$$\text{Stupeň pretvorenia: } \varphi = \ln \frac{h_0}{h}$$

$$\text{Sila: } F = S \cdot \tau_{OS} [N]$$

$$\text{Práca: } A = V \cdot \tau_{OS} \cdot \varphi_1 = F_{\max} \cdot h_k \cdot \psi [J]; \psi = \frac{F_{red}}{F_{\max}}$$

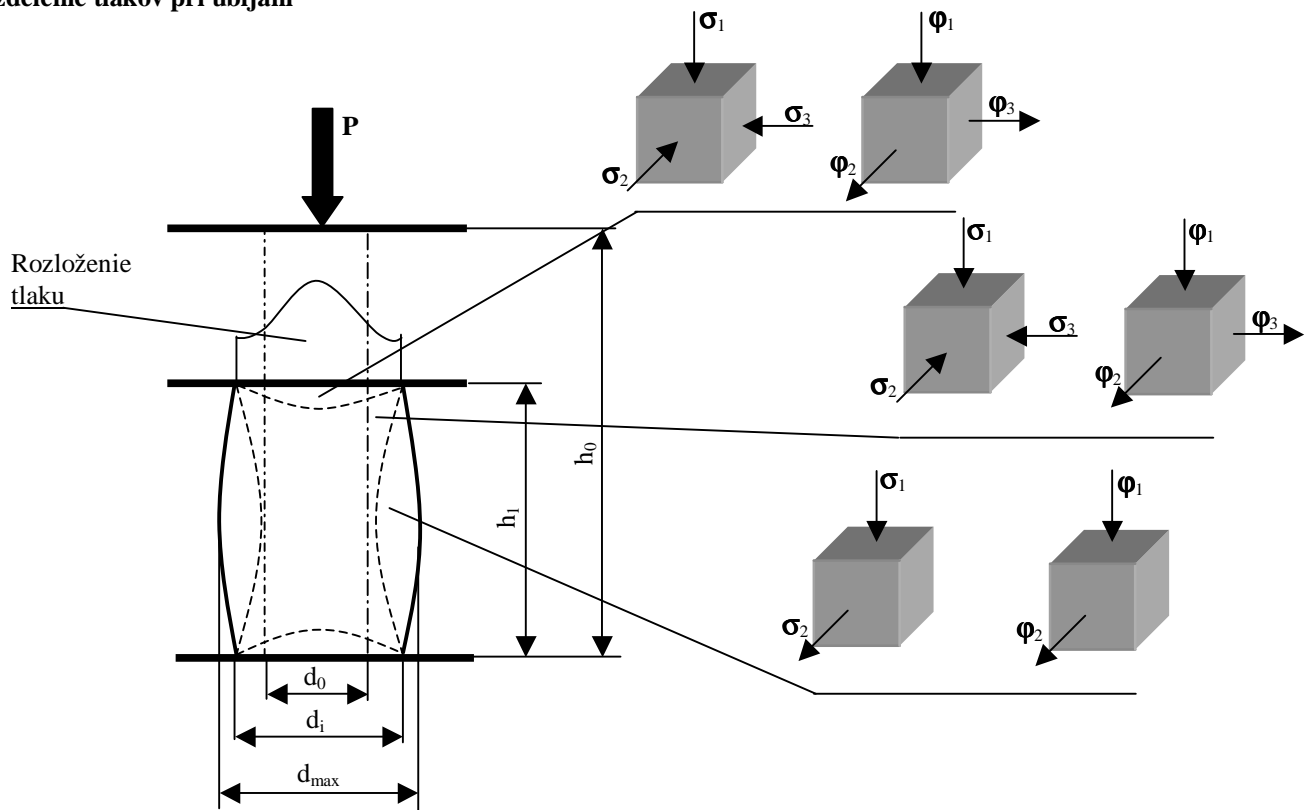
Základnou podmienkou dodržania štíhlostného pomeru sa musia riadiť všetky postupy ubíjania. Postupy rozdeľujeme na dva druhy:

- Jednooperačné, pre:  $\lambda \leq \lambda_{dov}$
- 2 až n operačné, pre:  $\lambda > \lambda_{dov}$

### Ubíjanie – výroba podložiek

Východiskovým materiálom je zvitok drôtu, ktorí sa navíja do skrutkovice s tesným stúpaním. S tejto skrutkovice sa oddeľujú jednotlivé oká, ktoré sa ubíjajú na ploché podložky.

## Rozdelenie tlakov pri ubíjaní



## 12. Pretlačovanie, spôsoby pretlačovania, sila, práca, redukcia

### Pretlačovanie

Je to proces tvárnenia, pri ktorom sa materiál pôsobením tlaku pretláča cez zúžený prierez lisovacieho nástroja. Zúžený prierez môže byť buď v pevnej časti nástroja (prítlačnici) ako kruhový, pravouhlý, alebo inak tvarovaný otvor alebo ako medzera rôzneho tvaru medzi pohyblivou a pevnou časťou nástroja (prítlačníkom a prítlačnicou). Pretlačovaním sa vyhotovujú väčšinou menšie výrobky a to z mäkkých kovov, hliníka, mäkkých ocelí.

### Druhy podľa charakteru tečenia vzhľadom na pohyblivú časť

- spätné (protismerné)
- dopredné (súmerné)
- stranové (radiálne)
- kombinované (združené)

**Sila:**  $F = p_s \cdot S_\varepsilon; [N]$  → súčin stredného tvárniaceho tlaku s čelnou plochou prítlačníka

**Práca:**  $A_{SK} = F \cdot s \cdot \psi = V \cdot k_{OS} \cdot \varphi_1; [J]$

### Spätné pretlačovanie

Materiál polotovaru tečie medzerou medzi prítlačníkom a prítlačnicou proti smeru pracovného pohybu prítlačníka. Týmto spôsobom sa vytvárajú tenkostenné nádoby.

### Stranové pretláčanie

Materiál tečie kolmo na os pohybu prietlačníka do strán v delenej časti prietlačnice. Zhotovujú sa takto výstupky po obvodě súčiastky.

### Združené pretláčanie

Je kombináciou dopredného a spätného pretláčania.

### Dopredné pretláčanie

Materiál tečie v smere pracovného pohybu prietlačníka. Vyrábajú sa súčiastky valcového tvaru.

## 13. Rovnanie, razenie, kalibrovanie, sila, práca, stroje na objemové tvárnenie za studena, kinematické schémy

### Rovnanie

Používa sa na uvedenie výrobku, ktorí z akýchkoľvek príčin nevyhovuje daným požiadavkám, do žiadaného tvaru (stavu). Na rovanie sa používajú hydraulické lisy.

### Razenie

Vzniká vypuklý alebo vydutý reliéf na povrchu výrobku. Vytvorenie výrobku môže byť jednostranné alebo obojstranné. Raziaci tlak závisí od hĺbky, ostrosti reliéfu a hrúbky polotovaru.

### Razenie môže byť:

- **v otvorených zápustkách:** používa sa pri zhotovovaní rozmernejších umeleckých predmetov, odznakov, príborov.
- **v uzavretých zápustkách:** používa sa na výrobu mincí, medailí, ozubené súčiastky prístrojov.

### Kalibrovanie

Je to proces objemového tvárnenia za studena, pri ktorom dochádza k spresňovaniu geometrického tvaru a rozmeru výrobku. Pri kalibrovaní sa dosahuje presnosť až 0,05 mm a dosahuje sa zrkadlovo hladký spevnený povrch.

### Rozdelenie

- **kalibrovanie presné, rovinné:** dosahuje sa spresňovanie rozmerov rovnobežných a protilahlých plôch strojových súčiastok
- **kalibrovanie objemové:** umožňuje kalibrovať všetky plochy a rozmery súčiastky, prebytok materiálu vyteká do výronku
- **kalibrovanie otvorov:** uskutočňuje sa kalibrovacími (presnosť 0,15 až 0,1 mm)

## 14. Syntetické látky, termosety a ich spracovanie tvárnením

### Termoplasty

Sú to makromolekulové látky, ktoré pôsobením tepla mäknú a prechádzajú do plastického stavu (PE, PP, PVC)

### Termosety

Sú syntetické polyméry, ktoré vytvrdzovaním pomocou tepla, ožiarenia, prídavkov iniciátorov, vytvrdzovadiel prechádzajú do zosieťovaného stavu a vytvárajú nerozpustné a netaviteľné látky (umakart D, epoxid, silikón)

## Technológie tvárnenia

- **Vstrekovanie:** polymér vstrekuje pod tlakom do dutiny vstrekovacej formy pri teplote vyššej ako  $T_g$  a ochladí sa pod teplotu  $T_g$ . Termosety sa vstrekujú do vyhriatej formy kde prebieha vytvrdzovanie.
- **Vytlačanie:** zohriaty polymér sa vytlača cez vytlačiacu hlavu z daným profilom.
- **Vyfukovanie:** spôsob výroby dutých telies (fliaš, obalov) vyfúknutím predlisku tlakom vzduchu do uzavretej formy.
- **Spekanie:** používa sa na výrobu dielcov z práškových termoplastov.
- **Lahčenie:** používa sa na výrobu mikropórovitých, hubových alebo penových polymérov pomocou nadúvadiel.
- **Laminovanie:** proces výroby kompozitných materiálov.

## 15. Základné práce ťahania, princíp ťahania

Ťahanie dutých telies je tvárnenie rovinného polotovaru alebo predlisku na duté teleso v lisovacom nástroji (ťahadle), pri ktorom hrúbka steny výlisoku nie je úmyselne stenčovaná.

### Duté tvary vyrábané ťahaním

- rotačné telesá:** valcové, kužeľové, pologuľovité, parabolické a iné rotačné tvary
- pravouhlé krabice:** štvorcové, obdĺžnikové, kombinované
- obecné tvary:** časti karosérií a iné nepravidelné tvary

### Hlboké ťahanie je možné uskutočniť:

- bez pridržiavača
- s pridržiavačom

### Princíp ťahania valcovej nádoby

Valcové nádoby sa vo všeobecnosti ťahajú v dvoch ťahoch. Pri ťahaní v prvom ťahu sa medzikružová časť priestrihu ( $d_0 - d_1$ ) mení na valec  $d_{výr} = d_1$  a výške  $h_{výr} = h_1$ . Preto že sa objem polotovaru nemení, výška valcovej nádoby bude väčšia ako šírka uvedeného medzikružia. Materiál sa premiestňuje pri stláčaní (zmenšovaní) prírubby na vonkajší obvod, čím sa zväčšuje výška výľážku. V skutočnosti sa však mení aj hrúbka polotovaru. Najväčšie pretvorenie je v tangenciálnom smere a na vonkajšom obvode prírubby. To sa smerom k otvoru ťažnice zmenšuje, pričom radiálne pretvorenie týmto smerom narastá. Pri prechode ťahaného elementu cez zaoblenie ťažnice je pretvorenie zložitá, lebo nastáva aj priestorový ohyb. Na dne výľážku je pretvorenie približne rovinné (natiahnutie), ktoré spôsobí nepatrné stenčenie polotovaru.

### Určenie počtu ťahov

Ak vieme že pri jednej operácii nemôžeme prekročiť medzný stupeň pretvorenia (ťahania), a celkový stupeň ťahania je väčší ako táto dovolená hodnota, musíme výlisok vyrobiť na viac ťažných operácií.

$$K_C = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot \dots \cdot K_n = \frac{d_0}{d_1} \cdot \frac{d_1}{d_2} \cdot \frac{d_2}{d_3} \cdot \dots \cdot \frac{d_{k-1}}{d_k} = \frac{d_0}{d_k}$$

potom

$$n = 1 + \frac{\log d_k - \log \frac{d_0}{K_1}}{\log \frac{1}{K_s}}$$

$d_0$  → priemer polotovaru

$d_k$  → konečný priemer výľážku

$K_1$  → stupeň ťahania v prvej operácii

$K_s$  → strdná hodnota stupňov ťahania v ďalších ťahoch

## Úloha 1

Nakreslite nástrihový plán, vypočítajte využitie materiálu, strižnú silu a prácu pre výrobu výstrižku a navrhnete vhodný lis ak použijeme postupový nástroj. Materiál výstrižku je ocel 11 331.

