

# 1. KOVÁNÍ



**Cíl:** Po prostudování této kapitoly budete umět:

- Vysvětlit rozdíly mezi volným a zápustkovým kovááním pomocí charakteristických znaků obou procesů
- Popsat strukturu a makrostrukturu kovářských ingotů
- Vysvětlit vliv kování na strukturu a vlastnosti výkovků
- Vypočítat stupeň prokování
- Schematicky nakreslit a popsat základní operace volného kování
- Rozlišovat mezi přípravnými a dokončovacími dutinami zápustek a vysvětlit funkci výronku při zápustkovém kováání
- Popsat stroje a nástroje pro kováání
- Získat přehled kovárnách v ČR



## Obsah kapitoly

|                          |                                                     |    |
|--------------------------|-----------------------------------------------------|----|
| 1.1.                     | Úvod.....                                           | 1  |
| 1.2.                     | Výchozí materiály pro kováání.....                  | 3  |
| 1.3.                     | Vliv kováání na strukturu a vlastnosti výkovků..... | 6  |
| <input type="checkbox"/> | Změna makrostruktury.....                           | 7  |
| <input type="checkbox"/> | Změna mikrostruktury.....                           | 8  |
| <input type="checkbox"/> | Změna mechanických vlastností.....                  | 8  |
| <input type="checkbox"/> | Stupeň prokování.....                               | 9  |
| 1.4.                     | Volné kováání.....                                  | 11 |
| <input type="checkbox"/> | Charakteristické znaky volného kováání.....         | 11 |
| <input type="checkbox"/> | Základní kovářské operace volného kováání.....      | 12 |
| 1.5.                     | Zápustkové kováání.....                             | 25 |
| <input type="checkbox"/> | Charakteristika zápustkového kováání.....           | 26 |
| <input type="checkbox"/> | Vstupní polotovary:.....                            | 27 |
| <input type="checkbox"/> | Přípravné dutiny.....                               | 27 |
| <input type="checkbox"/> | Dokončovací dutiny.....                             | 27 |
| <input type="checkbox"/> | Výronek (flash).....                                | 28 |
| 1.6.                     | Stroje pro kováání.....                             | 29 |
| <input type="checkbox"/> | Buchary.....                                        | 30 |
| <input type="checkbox"/> | Hydraulické lisy.....                               | 31 |
| <input type="checkbox"/> | Pomocná zařízení pro kováání.....                   | 32 |
| 1.7.                     | Kovárny v ČR.....                                   | 34 |
| <input type="checkbox"/> | Vítkovice Heavy Machinery, a.s.....                 | 34 |
| <input type="checkbox"/> | Ostroj, a.s. Opava.....                             | 37 |
| <input type="checkbox"/> | Pilsen Steel, s.r.o. Plzeň.....                     | 40 |
| <input type="checkbox"/> | Přehled dalších kováren.....                        | 42 |

## 1.1. Úvod



**Čas ke studiu:** 0,5 hodiny



## Pojmy k zapamatování

Volné kováání, zápustkové kováání, stupeň volnosti tvářeného kovu



## Výklad

Kováním se zpracovává pouze cca 5 % celkové výroby oceli, bez výkovků si však nelze představit současnou výrobu veškerého strojírenství.

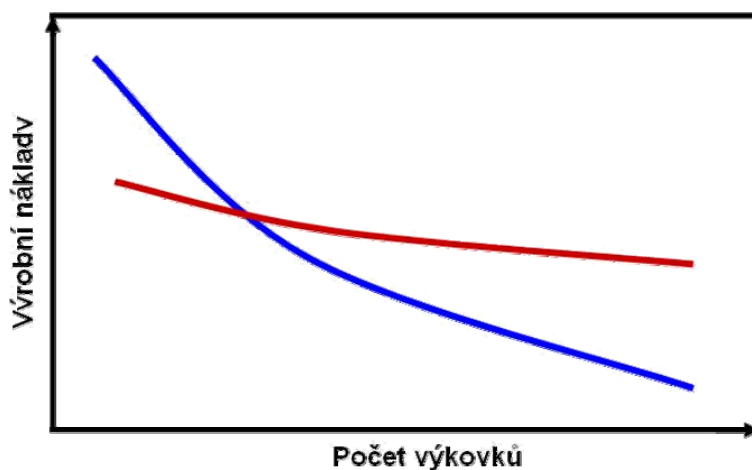
Hmotnost výkovků se pohybuje od desítek gramů (zápustkově kované součásti strojů) až po 600 t (volně kované rotory turbín).

Podle způsobu tváření (**stupňů volnosti** tvářeného kovu) rozlišujeme:

**Volné kování** kdy pomocí jednoduchých univerzálních nástrojů na lisech a bucharech zhotovujeme tvarově jednoduché součástky. Povrch výkovků bývá nerovný, s velkými přídávky na opracování. Kusová a malosériová výroba.

**Zápustkové kování** poskytuje výkovky s vysokou rozměrovou přesností a s bezvadným povrchem i při značné složitosti průřezu i u osově nesymetrických součástí. Jedná se vždy o hromadnou až sériovou výrobu. Existuje limitní počet výkovků, od kterého se již nevyplácí vyrobit zápustky.

Není vždy jednoduché rozhodnout, zda danou součást vyrobit jako volný nebo zápustkový výkovek. Graf na **obr. 1.1.** poskytuje vhodné vodítko pro takovou rozvahu. Je tedy zřejmé, že od určitého počtu vyrobených kusů je ekonomičtější používat specializované nástroje – zápustky.



**Obr. 1.1.** Závislost výrobních nákladů na počtu vyrobených výkovků pro *volné* a pro *zápustkové* kování

## Σ Shrnutí

Výkovky jsou velmi důležitým polotovarem pro mnoho odvětví strojírenství. Můžeme je vyrobit buď volným kováním, nebo s omezením stupně volnosti toku kovu zápustkovým kováním. Rozhodujícím faktorem je množství výkovku a výrobní náklady.



## Otázky 1.1.

- 1.1.1) Jaký podíl mezi tvářenými výrobky zaujímají výkovky?
- 1.1.2) V jakém rozmezí hmotnosti se pohybují výkovky?
- 1.1.3) Vyjmenujte hlavní rozdíly mezi zápusťkovým a volným kovááním.
- 1.1.4) Na základě čeho se rozhodnete zda použijete volné či zápusťkové kováání?



## Úlohy k řešení 1.1

- 1.1.1. Máte rozhodnout zda pro daný typ výkovku použijete volné kováání, nebo zda se již vyplatí kováání zápusťkové. Sepište všechny faktory, které musíte vzít do úvahy při takovém rozhodování a odhadněte jejich váhu (význam).

## 1.2. Výchozí materiály pro kováání



**Čas ke studiu: 1 hodina**



## Pojmy k zapamatování

Ingots, licí kůra, dentrity, segregace, vycezeniny, vločky, staženiny (lunkr),



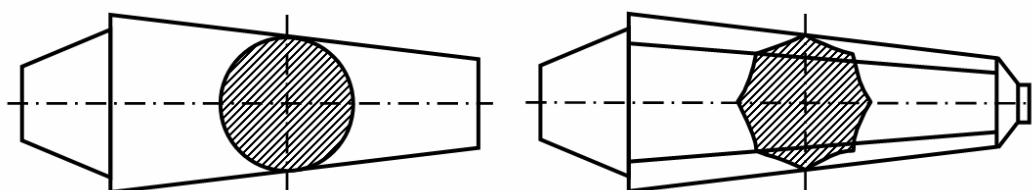
## Výklad

Pro volné kováání to jsou: kovářské ingots, tvářené polotovary (bloky, sochory) a plynule lité předlitky.

Kovářské ingots se liší od ingotsů pro válcování:

- průřezem (většinou mnohoúhelníkový),
- jakostí (uklidněná ocel),
- hmotností (až 600 t).

Kovářský ingots je většinou určen pro konkrétní výkovek (podle hmotnosti viz. **obr. 1.2.**). Ostatní výchozí materiály (bloky, sochory, tyče, ...) se musí dělit na tzv. špalky, přířezy či nápichy.



Ingots 0K 125 až 955 kg

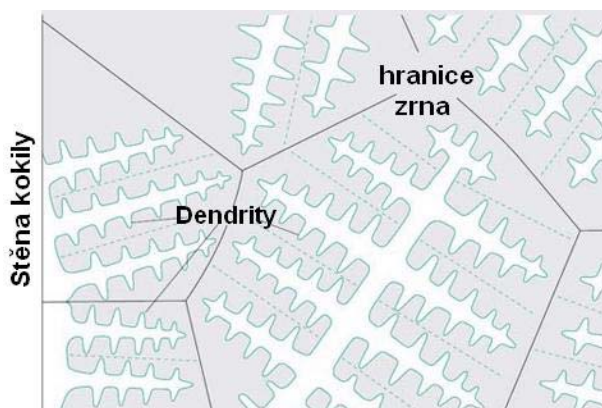
Ingots 8K 1 100 až 259 000 kg

*Obr. 1.2. Kovářské ingots*

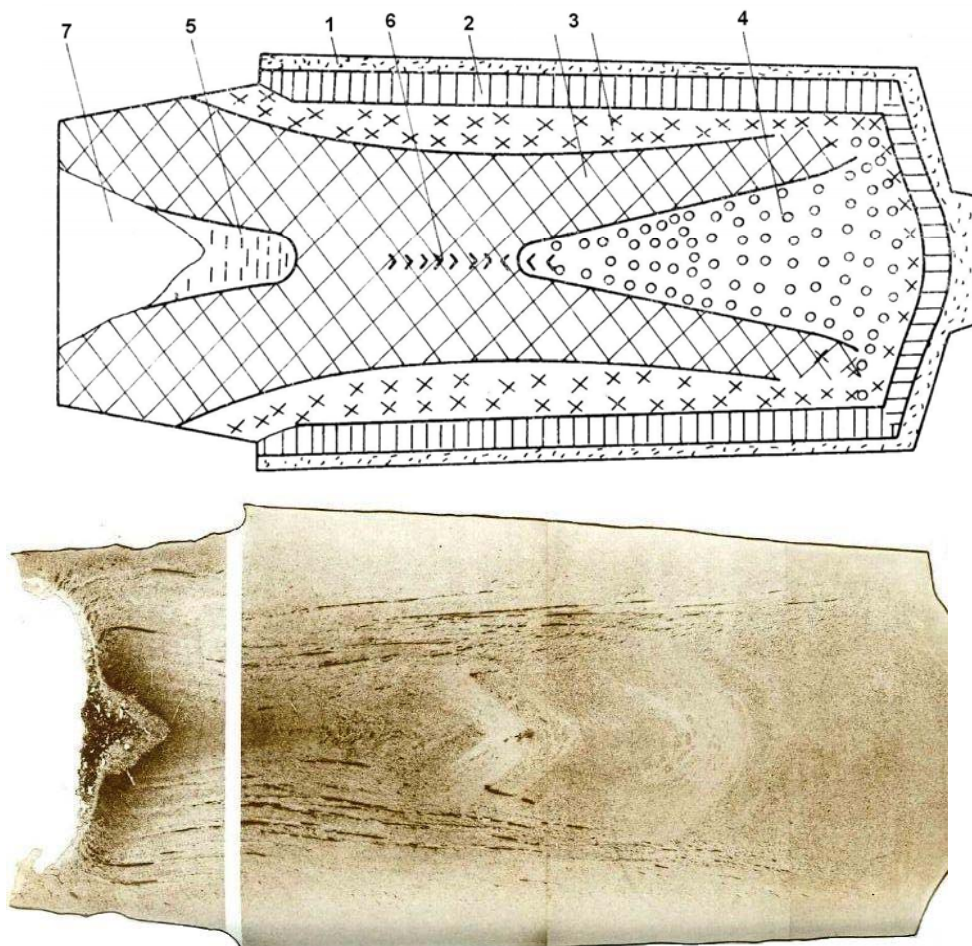
### Struktura kovářských ingotů

Následkem selektivity tuhnutí vzniká v ingotu vždy určitá **fyzikální a chemická nestejnorodost**, když na podélném řezu ingotu lze rozlišit pásma různé tloušťky a rozdílných strukturních znaků (**obr. 1.3.**):

1. **Licí kůra** podobě velmi tenké vrstvy neuspořádaných rovnoosých dendritů (viz. **obr. 1.4.**). Následkem rychlého ochlazení neobsahuje žádné segregace a svým chemickým složením se blíží průměrnému složení ingotu.



**Obr. 1.4.** Schéma růstu dendritů



**Obr. 1.3.** Nahoře: Schéma struktury ingotu, Dole: Makrostruktura podélného řezu 35 tunového ingotu

2. **Pásmo sloupkovitých dendritů** výrazně protažených ve směru největšího tepelného toku, tj. kolmo na stěny ingotu. Obsahuje méně **vměstků** a **segregací**, než odpovídá jejich průměrnému zastoupení v ingotu. Zvlášť výrazně se projevuje u vysokolegovaných ocelí s nízkým součinitelem tepelné vodivosti, kdy může prorůst téměř celým průřezem ingotu. Toto



pásmo, zvané též pásmo transkrystalizace, má značný význam při kování ingotu. Plochy, na nichž se stýkají vrcholky sloupkovitých dendritů vyrůstajících ze sousedních stěn, tvoří plochy snížené soudržnosti, na nichž mohou v počáteční fázi kování vzniknout trhliny.

3. Krystaly nemají žádnou převládající orientaci. Struktura je tvořena hrubými polyedrickými zrny. **Segregace** v tomto pásmu se někdy označuje jako segregace typu „A“ nebo „V“ podle toho, jaký je zásadní tvar rozložení vycezenin a vměstků vzhledem k podélné ose ingotu. Toto pásmo je u velkých ingotů bohaté na **vycezeniny**. Vycezeniny velmi nepříznivě ovlivňují mechanické hodnoty, zvláště ukazatele houževnatosti, tj. tažnost, kontrakci a vrubovou houževnatost. Ve výkovcích je toto pásmo totiž velmi náchylné k vzniku **vloček** (krátké, křivolaké, stříbřitě zbarvené trhliny, které postihují vnitřní části ochlazených výkovků) a prasklin.

4. Střední pásmo globulitických zrn stržených vlastní váhou a tepelnými proudy do tvaru pyramidy ve spodní části ingotu. Toto pásmo je celkem prosto vycezenin, ale na druhé straně také chudší na uhlík. Krystaly v tomto pásmu rostou zcela náhodně a směrem k hlavě se obohacují uhlíkem a vměstků.

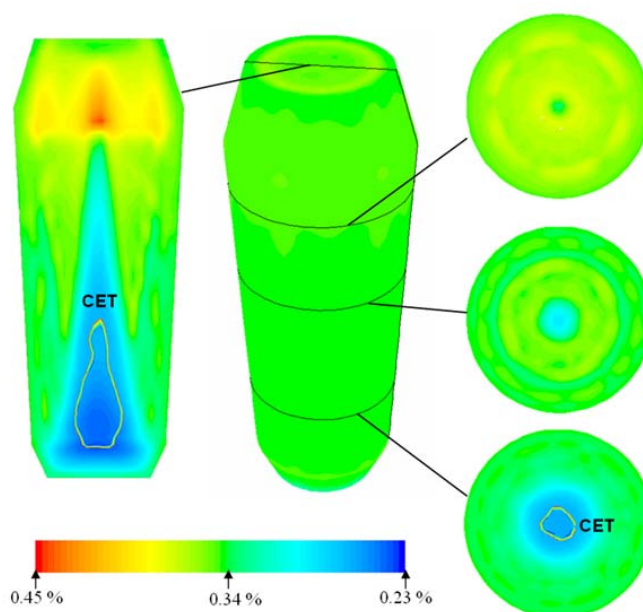
5. Malé, segregací prosté pásmo těsně pod hlavou ingotů, resp. primární **staženinou**.

6. Pásmo nejmenší homogenity v oblasti podélné osy ingotu, bohaté u větších ingotů na menší či větší **dutiny**. Volbou takových stupňů prokování, jež mohou být zárukou svaření ředin a pórů, tedy upravenou kovárenskou technologií lze dosáhnout toho, aby **pórovitost** střední části ingotu nebyla v hotovém výkovku.

7. **Hlava ingotu** se staženinou (**lunkrem**). Velikost segregace závisí na tavicím procesu, na rozsahu a způsobu dezoxidace, na obsahu plynů v oceli, velikosti ingotu, obsahu fosforu a síry a na celkovém chemickém složení oceli.

**Segregace** mohou být rázu mikroskopického (dendritická segregace (viz. **obr. 1.5.**), jestliže chemické složení se různí v rámci dendritu, nebo rázu makroskopického (pásmová segregace, viz. **obr. 1.3.**), jestliže se chemické složení liší v jednotlivých pásmech ingotu. Chemické prvky, které se slučují se železem, mají tím větší náchylnost k tvorbě segregací, čím nižší je teplota tání takto vzniklých sloučenin.

Nemalý vliv má i velikost ingotu a rychlost jeho tuhnutí. Čím větší je ingot a pomalejší jeho tuhnutí, tím výraznější je segregace. Mechanické vlastnosti těch částí ingotu zasažených pásmovou segregací jsou horší než ve



**Obr. 1.5.** Matematický odhad koncentrace uhlíku (hm. %) v ingotu. Modrá je oblast záporné segregace, červená je oblast kladné segregace. CET je hranice oblasti výskytu rovnoosých dendritů.

zbývajících částech ingotu. Nejvýraznější pásmová segregace se projevuje v podhlavové části ingotu (viz. **obr. 1.3.**), přičemž od osy směrem k povrchu slábne. Podstatná část takto postiženého ingotu se během kování odsekává spolu s hlavou ingotu.

## Σ Shrnutí

Výchozími materiály pro kování jsou vedle válcovaných či litých bloků, sochorů a tyčí také ingoty. Ingoty vykazují charakteristické oblasti z různou makro a mikrostrukturou. Vyskytuje se v nich řada jevů, které zhoršují (převážně plastické) vlastnosti. Sloupcovité dendrity, segregace, dutiny a póry, staženiny a vycezeniny. Při tváření (v případě velkých ingotů pak výhradně při kování) musíme volit takový stupeň protváření, aby došlo k přeměně lici struktury na strukturu protvářenou, dynamicky zrekrystalizovanou, a aby došlo ke svaření vnitřních necelistvostí.



## Otázky 1.2.

- 1.2.1) Jaké polotovary se používají v kovárnách?
- 1.2.2) Jakých hmotností dosahují nejtěžší ingoty?
- 1.2.3) Proč mají mnohoúhelníkové ingoty vyduté stěny?
- 1.2.4) Popište technologii výroby ingotu. Co je to hlava a pata ingotu?
- 1.2.5) Charakterizujte mikrostrukturu ingotu.
- 1.2.6) Proč sloupcovité dendrity rostou kolmo na stěnu kokily?
- 1.2.7) Kde najdeme lunkr?
- 1.2.8) Co je to makroskopická segregace?
- 1.2.9) Co je to mikroskopická segregace?
- 1.2.10) Jaký vliv má velikost ingotu na segregaci?



## Úlohy k řešení 1.1.

- 1.2.1. Vypočítejte objem těla ingotu o hmotnosti 750 kg (hlava tvoří 20% objemu)

## 1.3. Vliv kování na strukturu a vlastnosti výkovků



**Čas ke studiu:** 1 hodina



## Pojmy k zapamatování

Stupeň prodlužování, stupeň pěchování, stupeň prokování, vláknitost



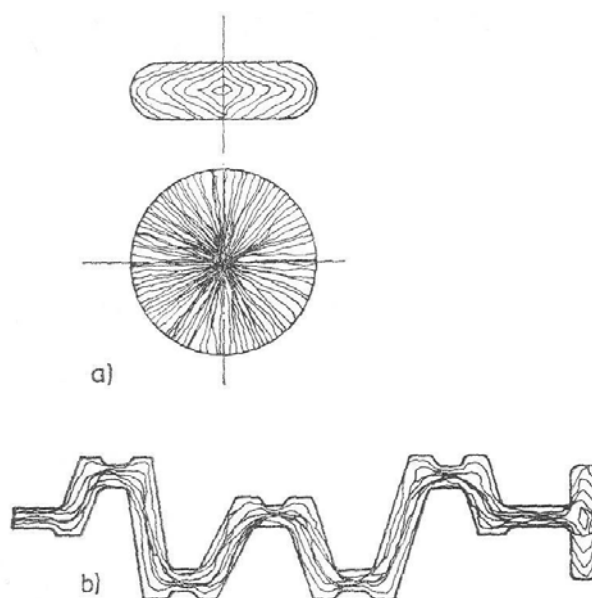
## Výklad

### □ Změna makrostruktury

Dendritická struktura kovářského ingotu se vyznačuje výraznou chemickou i fyzikální nestejnorodostí a velkým výskytem vnitřních necelistvostí rozličného původu. Ingot se nejčastěji kove takovým způsobem, že se postupně zmenšuje příčný průřez a délka se zvětšuje. Míra zmenšení příčného průřezu se vyjadřuje poměrem ploch příčného průřezu, a to výchozí  $S_0$  ke konečné  $S_k$ . Tento poměr se označuje jako **stupeň prodlužování  $K$** , a operace, jíž se zvětšuje délka ingotu, se nazývá prodlužování.

Kováním se licí struktura postupně rozrušuje, hrubé dendrity se drobí a protahují spolu s nekovovými vměstky a produkty likvace ve směru hlavní deformace, čímž vzniká charakteristická **vláknitost**, a to přednostně v jádrové části ingotu, odkud se postupně šíří k povrchu. Vláknitost se objevuje v jádře ingotu po dvojnásobném až trojnásobném stupni prodlužování, kdežto v celém průřezu ingotu až po desetinásobném stupni prodlužování. Takto vzniklá vláknitost je neodstranitelná, dalším kováním lze pouze vhodně měnit směr vláken, a to s přihlédnutím k namáhání kované součásti (viz. **obr. 1.6.** a **1.7.**)

Současně se tlakovým svarem scelují vnitřní necelistvosti, což se projevuje zvýšením hustoty oceli a zlepšením jejích plastických vlastností. Vysoká kovací teplota podporuje difúzní děje, a tím i částečnou homogenizaci oceli, jíž se zmírňuje především dendritická segregace.



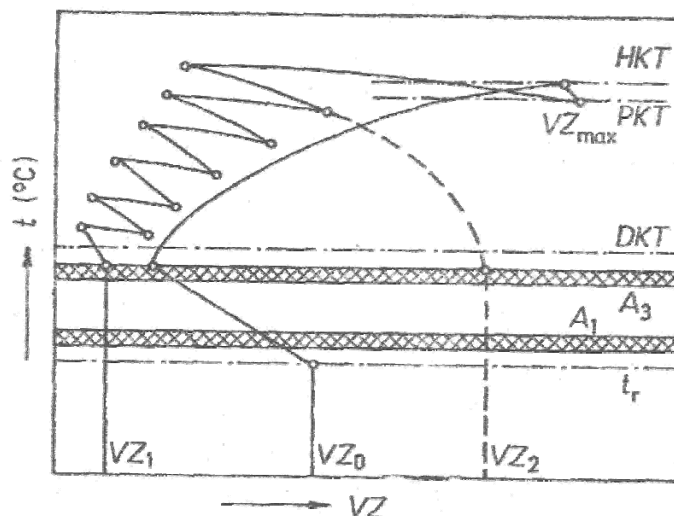
**Obr. 1.6.** Charakteristický průběh vláken výkovků **a)** pěchovaný kotouč, **b)** zalomený hřídel kovaný v zápustce



**Obr. 1.7.** Makrostrukturní snímek řezu výkovku háku s dobře rozpoznatelnou vláknitostí

### □ Změna mikrostruktury

Kováním se ovlivňuje i **velikost zrna** (VZ), a tím i výsledné mechanické vlastnosti oceli. Současný vliv teploty a způsobu kování znázorňuje graf na **obr. 1.8**. Výchozí polotovar o velikosti zrna  $VZ_0$  se zahřívá na horní kovací teplotu, která leží vysoko nad rekrystalizační teplotou, což vede k zhrubnutí zrna na  $VZ_{max}$ . Následným kovááním se zrno zjemňuje, ale v krátkých přestávkách mezi jednotlivými úderů opětovně roste, vzhledem k poklesu teploty kovaného polotovaru je však tento růst stále menší. Při optimální dokovací teplotě dosahuje zrno výsledné velikosti  $VZ_1 < VZ_0$ .



**Obr. 1.8.** Nástin změny velikosti zrna při kováání (HKT je horní kovací teplota, PKT je počáteční kovací teplota DKV je dolní kovací teplota,  $t_r$  je teplota rekrystalizace).

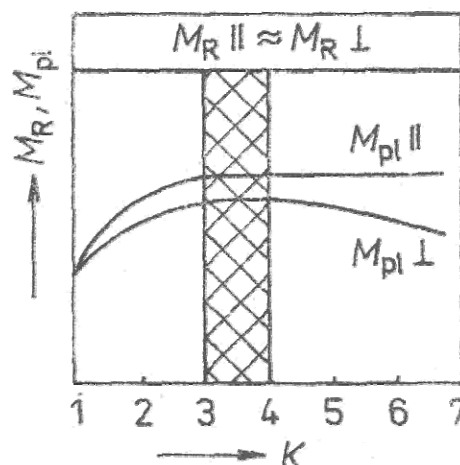
Při přerušení nebo ukončení kovacího pochodu po prvním úderu (např. následkem poruchy tvářecího stroje), tedy v oblasti vysokých teplot, se dalším nerušeným ochlazováním dospěje k zrnu o velikosti  $VZ_2 > VZ_0$ , což je krajně nevýhodné, zejména pak tehdy, jde-li o jednofázovou ocel, jejíž zhrublé zrno nelze zjemnit ani následným tepelným zpracováním.

Jestliže makrostrukturu oceli lze ovlivňovat výlučně kovááním, tak na mikrostrukturu s výjimkou jednofázových ocelí lze působit jak kovááním, tak následným tepelným zpracováním.

### □ Změna mechanických vlastností

Vliv kování na změnu mechanických vlastností výchozí lící struktury zjednodušeně znázorňuje graf na **obr. 1.9**, a to při nejrozšířenější kovářské operaci, prodlužování. Mechanické vlastnosti se posuzují ve dvou charakteristikách:  $M_R$  — pevnostní vlastnosti (pevnost v tahu  $R_m$  a mez kluzu  $R_e$ ) a  $M_{pl}$  — plastické vlastnosti (tažnost  $A$ , zúžení  $Z$  a vrubová křehkostat  $KC$ ).

Pevnostní vlastnosti se tedy kovááním v podstatě nemění, a to bez zřetele ke směru odběru zkušebních vzorků, kdežto plastické vlastnosti se zlepšují a dosahují maxima při stupni prodlužování  $K = 3$  až  $4$ , přičemž ve směru podélném jsou vyšší než ve směru příčném.



**Obr. 1.9.** Vliv stupně prodlužování na mechanické vlastnosti

Při  $K > 4$  se plastické vlastnosti v podélném směru nemění, ale v příčném směru se zhoršují. Což se projeví růstem anizotropie. Pokud je anizotropie nežádoucí, je potřeba zařadit mezioperační přechování.

#### □ Stupeň prokování

Přeměna nedokonalé lící struktury kovářského ingotu na tvářenou strukturu požadovaných vlastností se posuzuje smluvní veličinou, **stupněm prokování  $PK$** .

Pro **podélné výkovky a kované tyče**:



#### Vzorec k zapamatování

$$PK_a = A^n P^n K \quad (1.1)$$

Kde  $A$  je přechovací ekvivalent,

$$A = 0,7 \text{ až } 0,9,$$

$$P \text{ je stupeň prokování ingotu } P = \frac{S_{ip}}{S_i}, \quad (1.2)$$

$$K \text{ je stupeň prodlužování ingotu } K = \frac{S_i}{S_v}, \quad (1.3)$$

$n$  je počet přechovacích operací,

$S_{ip}$  je plošný obsah středního příčného průřezu napřechovaného ingotu,

$S_i$  je plošný obsah středního příčného průřezu ingotu,

$S_v$  je plošný obsah největšího příčného průřezu výkovku.

U **výkovků kotoučů a kruhových desek**:



#### Vzorec k zapamatování

$$PK_b = PK_a \sqrt{P'} \quad (1.4)$$

Kde  $PK_a$  je stupeň prokování špaluku,

$$P' \text{ je stupeň přechování v poslední operaci } P' = \frac{S_{vp}}{S_s}, \quad (1.5)$$

$S_{vp}$  je plošný obsah středního příčného průřezu napřechovaného výkovku,

$S_s$  je plošný obsah příčného průřezu špaluku.

Velikost stupně prokování se volí podle druhu oceli, hmotnosti a struktury kovářského ingotu. **Doporučení  $PK = 3$** .



**Řešený příklad**

Stanovte stupeň prokování, při kování výkovku o průměru 500 mm, který byl vyroben z 4tunového ingotu o průměru 640 mm a do výrobního postupu bylo zařazeno dvojí přechování na průměr 1 000 mm.

$$PK_a = A^n P^n K = A^n \left( \frac{S_{ip}}{S_i} \right)^n \frac{S_i}{S_v} = 0,8^2 \cdot \left( \frac{1000^2}{640^2} \right)^2 \cdot \frac{640^2}{500^2} = 6,24$$



Jak plyne ze zákona o nerovnoměrné deformaci, není velikost deformace ve všech místech výkovku stejná. Stupeň prokování je pak pouze hodnotou průměrnou, vhodnou pro posouzení míry prokování výkovku, ale sama o sobě ještě nezajistí, že dojde k požadované změně lící struktury. Např. je-li kovádko příliš úzké, zůstane jádro výkovku při prodlužování neprokováno i při stupni  $PK \geq 3$ .

**Shrnutí**

Kováním se mění makrostruktura a mikrostruktura výkovku a díky tomu i jeho mechanické vlastnosti. Kováním se rozrušuje lící struktura za vzniku charakteristické vláknitosti. Také dochází ke zcelování vnitřních necelistvostí. Kováním také ovlivňujeme velikost zrna. Pokud je kování vedeno vhodným způsobem (nízká dokovací teplota) vyvoláme zjemnění zrna díky rekrystalizaci. Bez nežádoucího zhrubnutí rekrystalizovaného zrna. Mikrostrukturu lze měnit i např. normalizačním žiháním. Důsledkem zjemnění zrna a zavaření dutina pórů je zvýšení plastických vlastností výkovku. Pevnost se prakticky nemění.

**Otázky 1.3.**

- 1.3.1) Jak vzniká ve výkovcích vláknitost?
- 1.3.2) Jak lze vláknitost odstranit?
- 1.3.3) Jak se nazývá operace, kterou se zvětšuje délka ingotu?
- 1.3.4) Jak se mění hustota oceli při kování ingotů?
- 1.3.5) Jakým měřitelným parametrem lze charakterizovat mikrostrukturu výkovků?
- 1.3.6) Definujte teplotu rekrystalizace?
- 1.3.7) Jakým mechanismem dojde ke zjemnění zrna při kování?
- 1.3.8) Jaký vliv má stupeň prokování na mechanické vlastnosti oceli?
- 1.3.9) Co způsobuje anizotropii mechanických vlastností při vysokých hodnotách stupně prokování?

**Úlohy k řešení 1.3.**

- 1.3.1) Vypočítejte stupeň prokování, při kování desky o průměru 2 080 mm z ingotu o průměru 560 mm. Bylo-li do výrobního postupu zařazeno trojí přechování na průměr 1 000 mm.

## 1.4. Volné kování



**Čas ke studiu: 2 hodiny**



### Pojmy k zapamatování

Pěchování, prodlužování, děrování, osazování, prosazování, přesazování, ohýbání, zkrucování, záběr, délka záběru, průchod, hranění



### Výklad

Volné kování je složitý tvářecí pochod skládající se z mnoha samostatných, naprosto rozdílných operací, které se uskutečňují na tvářecích strojích a nástrojích víceúčelové povahy. I když je nejstarším tvářecím pochodem (první kovové předměty ze zlata jsou staré 8 000 let!), stále se vyvíjí, takže mu patří nejen současnost, ale své místo si nesporně udrží i v nejbližší budoucnosti.

#### □ Charakteristické znaky volného kování

K přednostem volného kování patří:

1. získání jakostních výkovků s nesrovnatelně lepšími plastickými vlastnostmi než u odlitků (kováním se totiž mnohé defekty lící struktury odstraňují, čímž slábne jejich vrubový účinek);
2. turbulentní charakter deformace, jímž se zabezpečuje rozrušení dendritické struktury při menších úběrech než při ostatních způsobech tváření (válcování, protlačování), které se vyznačují laminárním charakterem deformace;
3. výroba výkovků požadovaných vlastností o velké hmotnosti (až 600 t) a velkých rozměrech, což je jinými výrobními technologiemi nemožné nebo neúčelné;
4. nižší energetická náročnost tvářecích strojů proti zápustkovému kování, neboť kovací nástroje nepůsobí vesměs na celý objem kovaného polotovaru najednou;
5. použití víceúčelových tvářecích strojů a nástrojů snižuje výrobní náklady výkovků, a tím přispívá k ekonomickému opodstatnění volného kování v podmínkách kusové a malosériové výroby;
6. značná úspora kovu a vysoká výrobnost ve srovnání s obráběním.

Přehlédnout nelze i některé nevýhody volného kování, především pak:

1. nízkou výrobnost ve srovnání se zápustkovým kovááním;
2. značné materiálové přídavky na povrchu volných výkovků (u největších výkovků až několik desítek milimetrů!), které se při dalším obrábění mění v kovový odpad;
3. omezenou tvarovou složitost volných výkovků;
4. značné ztráty kovu;

5. potřebu vysoce kvalifikovaných pracovníků.

### Rozdělení výkovků a technologie výroby

Drobné výkovky se vesměs kovou na pneumatických bucharech o hmotnosti beranu  $m_b = 50$  až 1 000 kg. Průměrná hmotnost složitěji tvarovaných výkovků je od 0,5 do 20 kg, u jednoduchých výkovků (tyče, hřídele apod.) dosahuje až 250 kg. Kování tenkých, rychle chladnoucích výkovků (nožových břitů, klínů apod.) vyžaduje nasadit rychloběžné pružinové buchary o hmotnosti beranu  $m_b = 40$  až 150 kg.

Výkovky střední hmotnostní kategorie se kovou na parovzdušných bucharech ( $m_b = 500$  až 3 000 kg, výjimečně až 6 000 kg). Průměrná hmotnost složitějších výkovků bývá 20 až 350 kg, u jednoduchých výkovků až 2 500 kg.

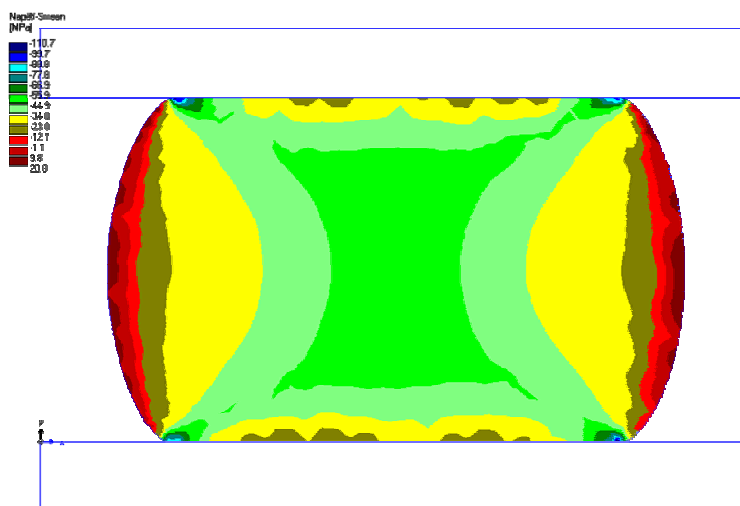
Nejtěžší výkovky o hmotnosti až 600 t se zhotovují na hydraulických lisech o síle  $F = 3$  až 180 MN. Na základě současného vývoje se předpokládá postupné převedení tvarových výkovků těžších než 100 kg a jednoduchých výkovků nad 750 kg z bucharů na rychloběžné hydraulické lisy.

### ❑ Základní kovářské operace volného kování

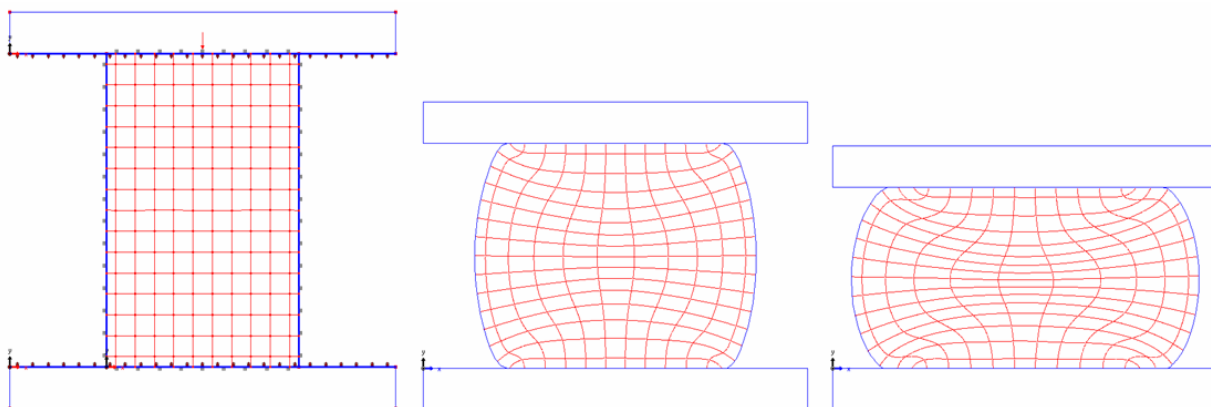
#### Pěchování (upsetting)

Vede ke zmenšení výšky a ke zvětšení rozměrů kovaného polotovaru v rovině kolmé na směr pohybu tvářecího stroje. Jeho účelem je zhotovit výkovky o velkém příčném průřezu, zvýšit stupeň prokování, snížit anizotropii mechanických vlastností, dosáhnout radiálního průběhu vláken. Uplatňuje se též jako přípravná operace před prodlužováním a děrováním.

Pro pěchování je příznačný nerovnoměrný průběh deformace (viz. **obr. 1.10.**), jehož vnějším příznakem je soudkovitost napěchovaného polotovaru. V obvodových oblastech pěchovaného polotovaru se tak vyvolávají přídavná tahová napětí (viz. **obr. 1.11.**), která mohou u nízkotvařitelných ocelí vyústit ve vznik podélných povrchových trhlin. Tahové namáhání je pro tváření kov nejmeně příznivé, a proto se pěchování často uplatňuje jako náročná zkouška jakosti kovu.



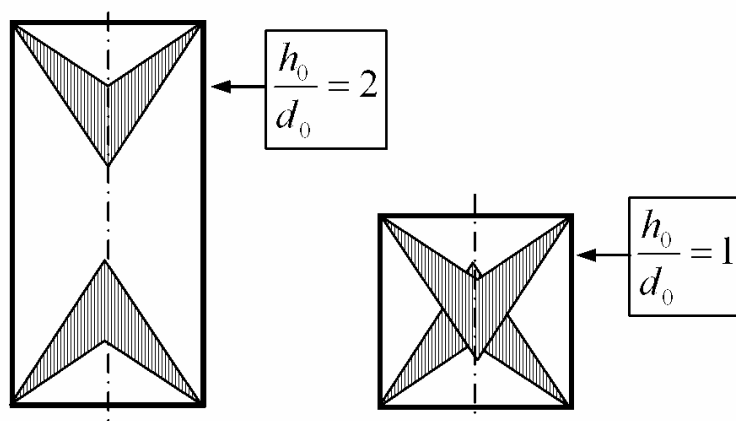
**Obr. 1.11.** Matematické modelování: Rozložení oktaedrického (středního) napětí po průřezu napěchovaného soudku. Kladné hodnoty indikují přítomnost nežádoucího tahového stavu napjatosti.



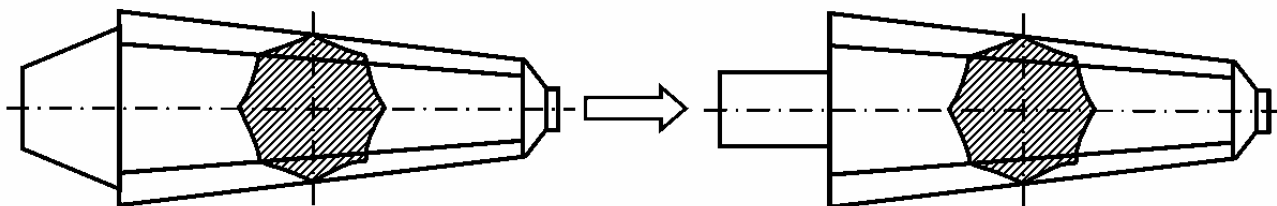
**Obr. 1.10.** Matematické modelování: Deformace čtvercové (Lagrangeovy) sítě v jednotlivých časových krocích pěchování odhaluje místa největší intenzity deformace. Zleva doprava: počáteční stav, deformace 25%, deformace 50 %

### **Základní pravidla pěchování**

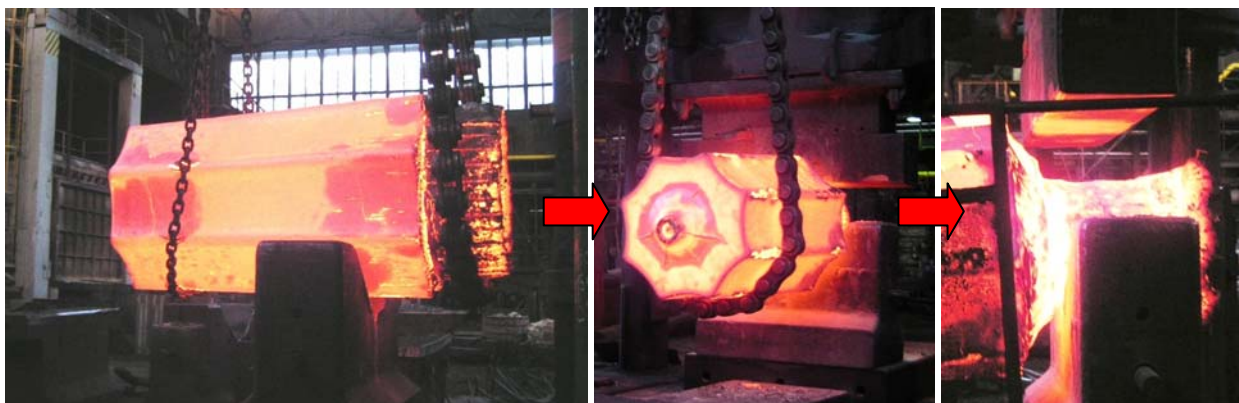
1. Rovnoměrně prohřát polotovár.
2. Upravit čelní plochy (zajisti vzájemnou rovnoběžnost).
3. Štíhlost  $h_0/d_0$  max. 2,5 (zabránění ohybu pěchovaného tělesa) (viz. **obr. 1.12.**).
4. Před pěchováním z ingotu, vykovat z jeho hlavy manipulační čep (viz. **obr. 1.13.** a **obr. 1.14.**).
5. Pro ingoty volit stupeň pěchování  $P_{min} = 2,8$ .



**Obr. 1.12.** Zjednodušené znázornění oblastí intenzivní deformace v pěchovaném tělese pro různé stupně štíhlosti výchozího polotovaru.



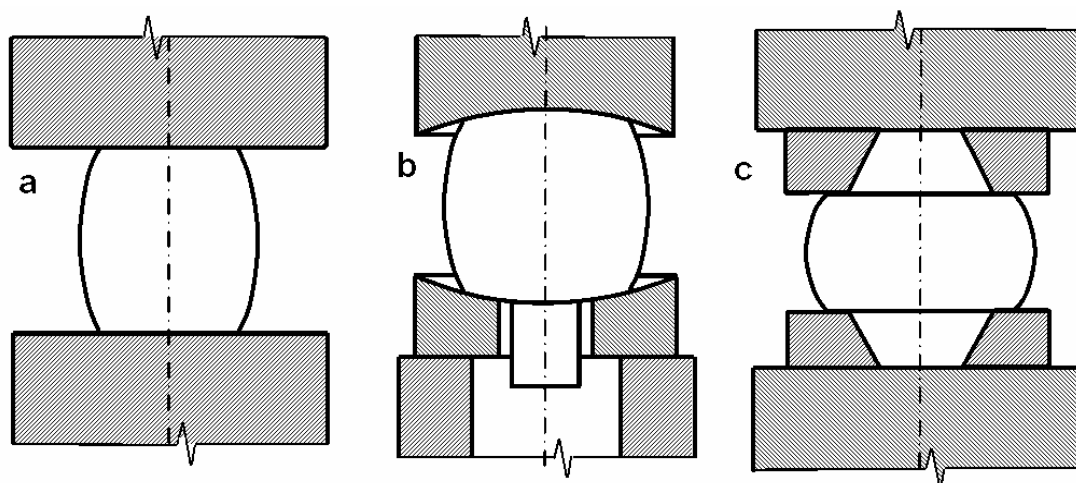
**Obr. 1.13.** Způsob vykování manipulačního čepu z hlavy ingotu



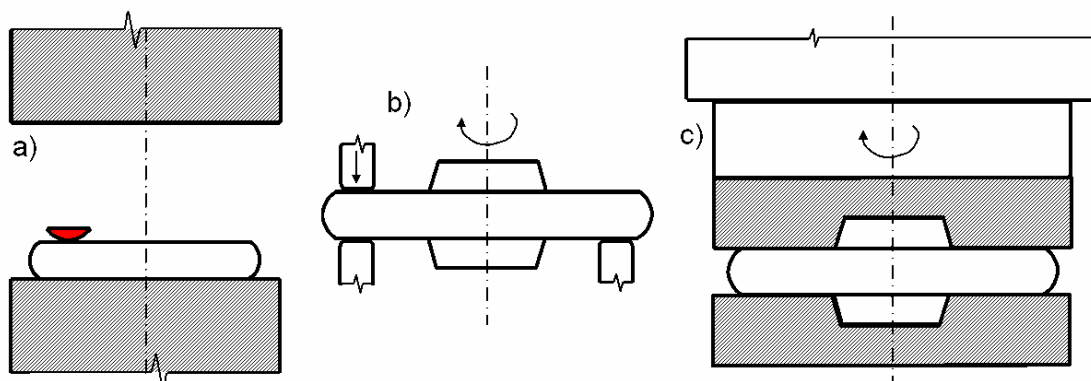
**Obr. 1.14.** Postup při kování manipulačního čepu z hlavy ingotu

### **Základní způsoby pěchování**

Na **obr. 1.15.** jsou uvedeny různé způsoby pěchování. U výkovků kotoučů a desek o velkém průměru a malé tloušťce se po pěchování zařazuje některý z následujících způsobů rozkování (viz. **obr. 1.16.**).



**Obr. 1.15.** Pěchování **a)** rovnými deskami, **b)** tvarovými deskami, **c)** v přípravcích



**Obr. 1.16.** Pěchování desek **a)** příložkou, **b)** rovnými kovadly, **c)** úzkým tvarovým kovadlem

Zajímavým praktickým příkladem pěchování je závěrečná operace kování rotoru větrné elektrárny na velkém lise v Pilsen Steel, a.s. Jedná se o výkovek, který je díky svému tvaru slangově nazýván „hřebík“ (viz. **obr. 1.17.**).



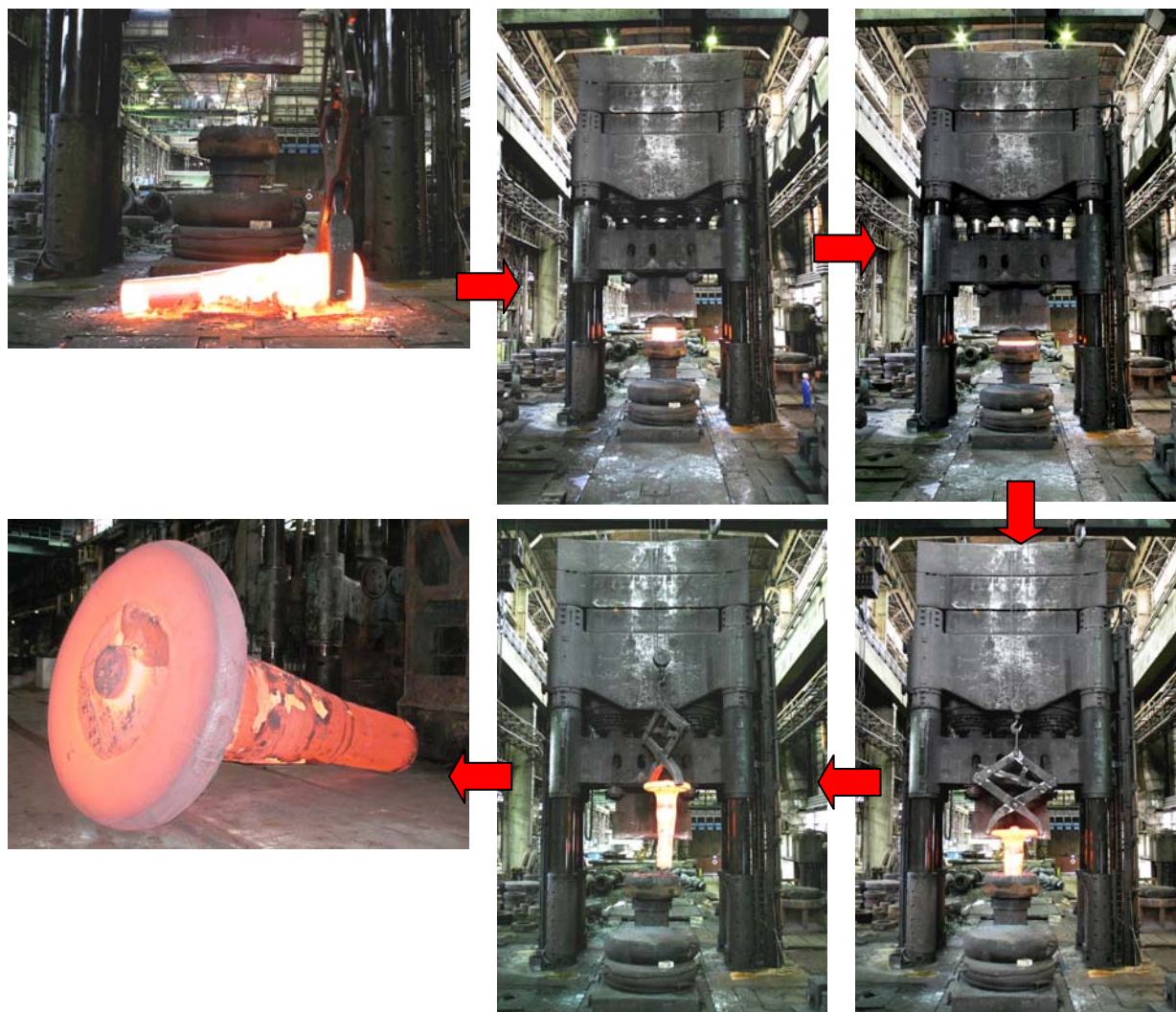


## CD-ROM 53 Laboratorní pēchování

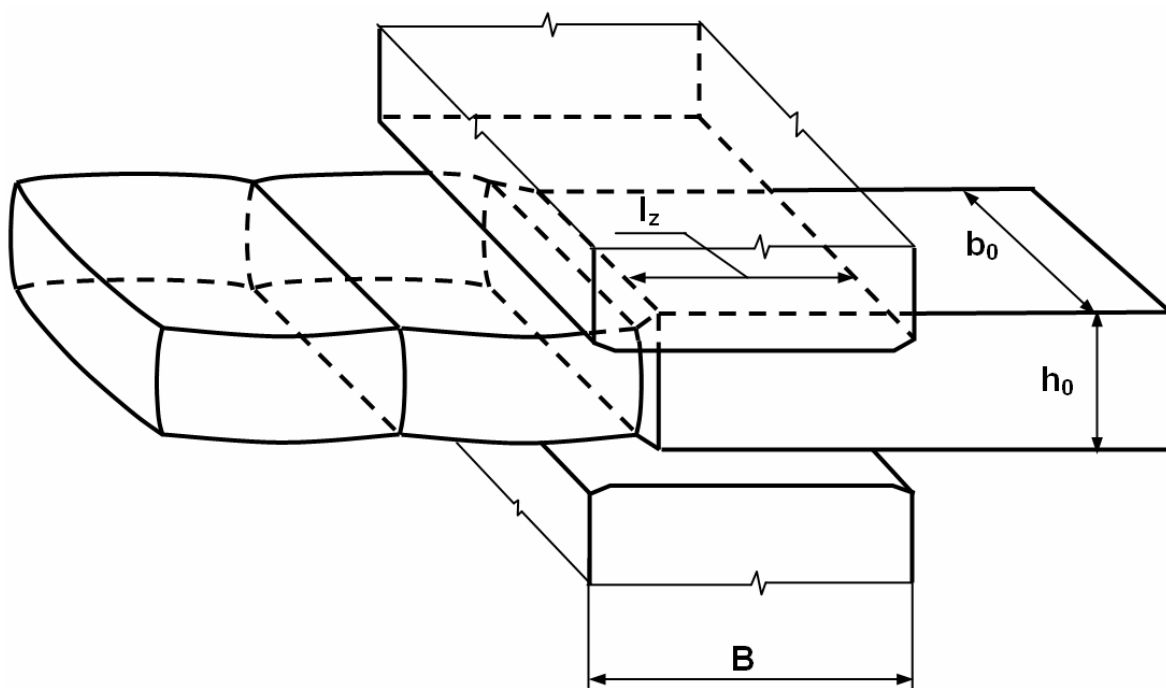
### Prodluřování (drawing out, fullering)

Je to nejrozřířenější kovářská operace, při níř se zmenřuje příčný průřez polotovaru a jeho délka výrazně vzrůstá. Prodluřuje se na rovných a tvarových kovadlech. Zjednoduřeně lze na prodluřování pohlířet jako na sled po sobě následujících pēchování, při nichř je říření omezeno tzv. **tuhými konci**, tj. oblastmi, které přímo navazují z obou stran na pásmo deformace.

Na začátku záběru působí kovadla na polotovar po určité délce záběru  $l_z$ , která je vždy kratří než řířka kovadla  $B$  (viz. **obr. 1.18.**). O délku **záběru** se polotovar posouvá ve směru své podélné osy po každém záběru. Několik po sobě následujících záběrů pokrývajířící celou délku prodluřovaného polotovaru je **průchod** a řada po sobě následujících průchodů prokládaných hraněním, tj. otáčením polotovaru kolem jeho podélné osy, tvoří pak v nejjednodušří podobě náplň prodluřování.



**Obr. 1.17.** Postup při závěrečném pēchování rotoru větrné elektrárny v Pilsen Steel, a.s.



Obr. 1.18. Schéma prodlužování

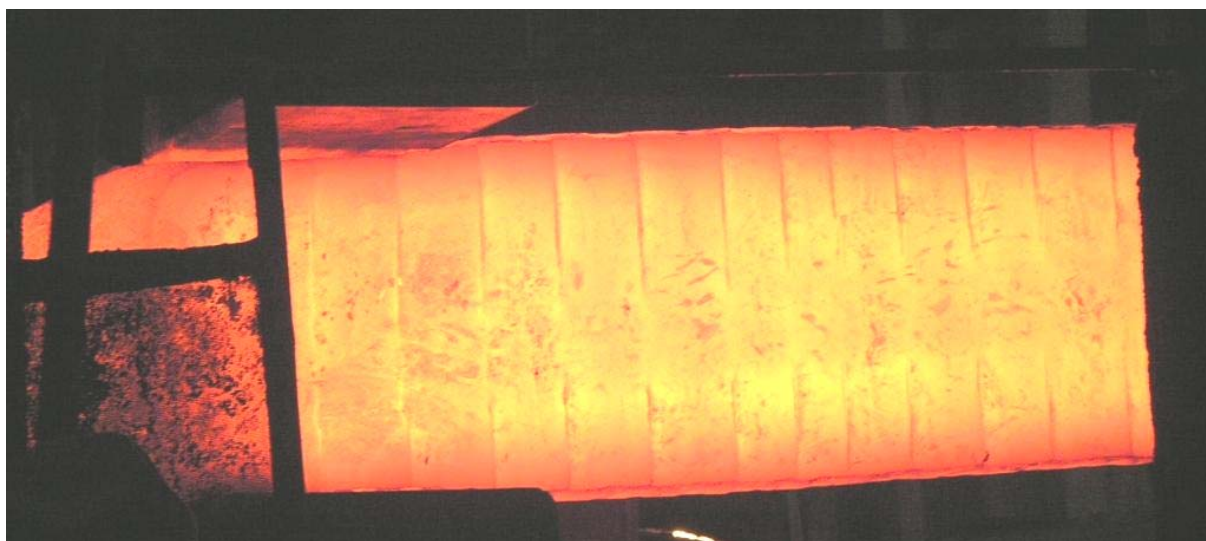


**CD-ROM** 54 Prodlužování ingotu MKP



Kvalitativní stránku prodlužování (hloubku proniku deformačního účinku) ovlivňuje *poměrná délka záběru*  $l_z/h_0$ . Nejvýhodnějších podmínek se dosáhne když:  $0,7 \geq l_z/h_0 \geq 0,5$ .

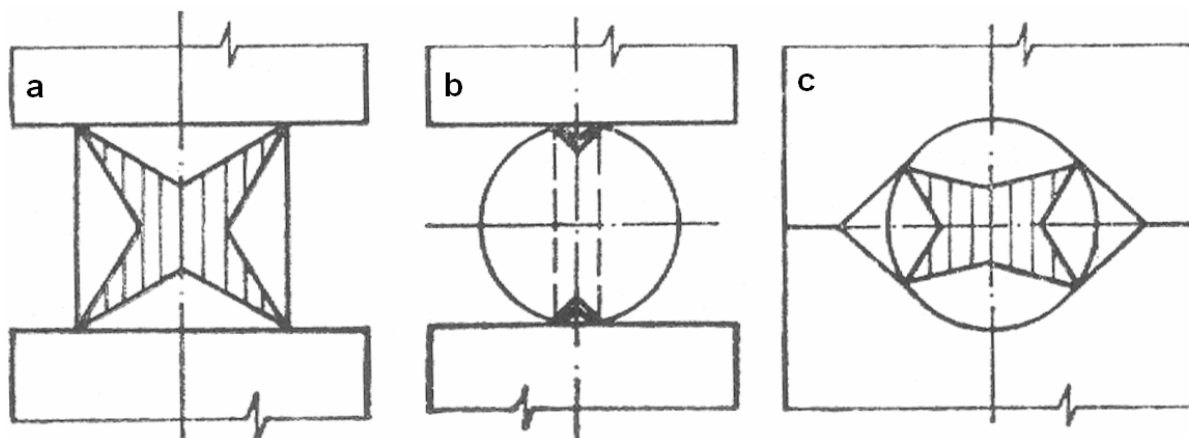
Použitá délka záběru  $l_z$  je na výkovku obvykle dobře čitelná (viz. **obr. 1.19**).



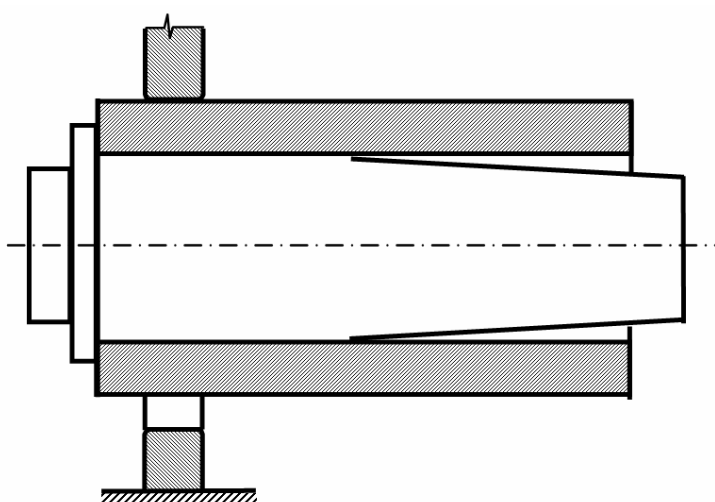
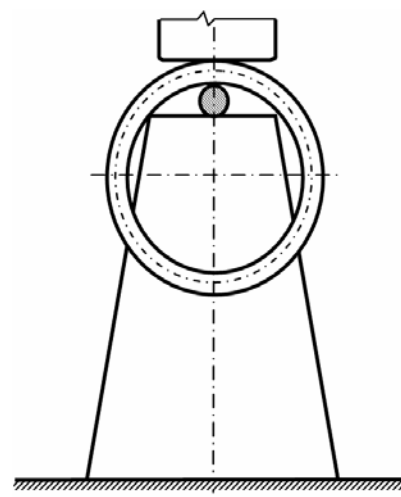
Obr. 1.19. Stopy kovačny na výkovku dávají představu o délce záběru

**Základní způsoby prodlužování**

- Prodlužování výkovků pravoúhlého průřezu na rovných kovádlech (viz. **obr. 1.20. a**).
- Prodlužování výkovků kruhového průřezu na rovných kovádlech (viz. **obr. 1.20. b**).
- Prodlužování výkovků kruhového průřezu na tvarových nebo kombinovaných kovádlech (viz. **obr. 1.20.c**).

**Obr. 1.20.** Základní způsoby prodlužování**Zvláštní způsoby prodlužování dutých výkovků:**

- Prodlužování na trnu: kotlová tělesa, bubny, pouzdra, apod. (viz. **obr. 1.21**).
- Rozkování na trnu: kování kroužků (viz. **obr. 1.22**).

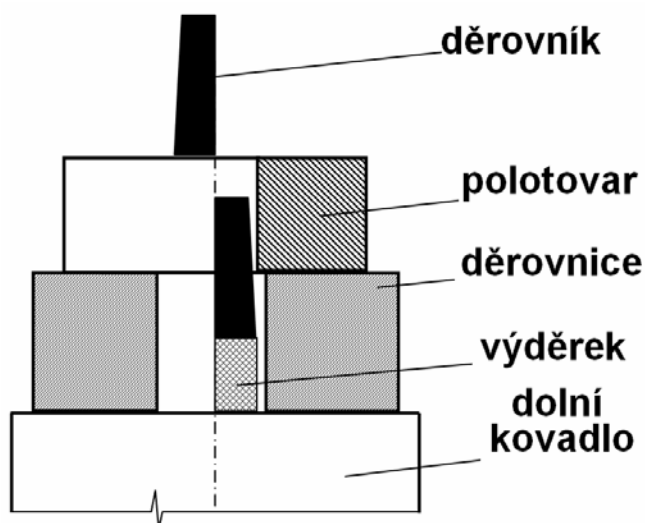
**Obr. 1.21.** Prodlužování kotlového tělesa na trnu:**Obr. 1.22.** Kování kroužků na trnu**Děrování (piercing, holing, punching)**

Prostřednictvím této operace se dosahuje ve výkovku průchozí díry (viz. **obr. 1.23**). Pokud se označí vnější průměr výkovku  $D$  a jeho výška  $H$ , pak průměr díry  $d$ :

$$1/3 D \geq d \geq 0,4 H \quad (1.6)$$



I při děrování je nutné rovnoměrné prohřátí výchozího polotovaru, aby děrovací trn ne vybočil z jeho svislé osy. Předkovek určený k děrování se má napěchovat na nejmenší přípustnou výšku ( $H \leq 0,8 D$ ) (viz. **obr. 1.24.**), čímž se sníží odpad a zjednoduší děrování. Při děrování polotovarů vykovaných z ingotů se postupuje tak, aby se méně jakostní podhlavová část ingotu vytlačila do odpadu. Pracovní plochy děrovacího trnu se pokrývají mazivem, čímž se snižuje děrovací síla a usnadňuje se pozdější vytažení trnu.

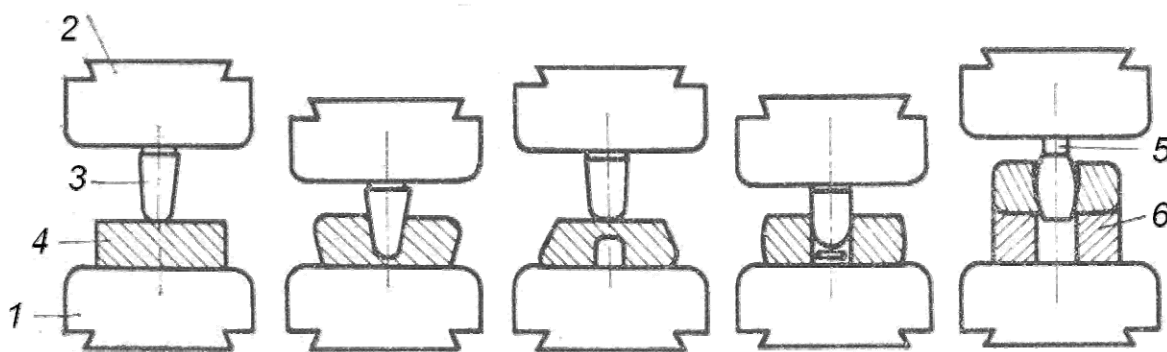


**Obr. 1.23.** Schéma děrování, vlevo před, vpravo po



**Obr. 1.24.** Děrování (Škoda)

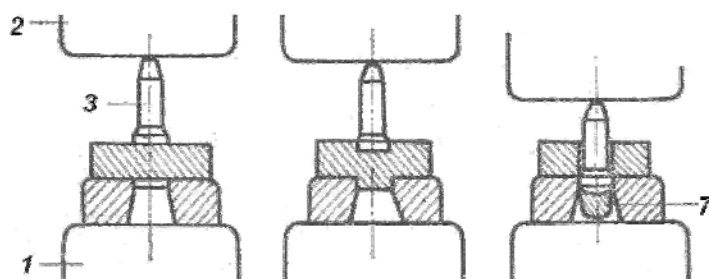
Nejrozšířenější je **děrování plným trnem** (viz. **obr. 1.25.**). Na napěchovaný polotovar 4 se postaví kuželovitý trn 3, který se horním kovádlem 2 zatlačí asi do 2/3 výšky polotovaru. Po otočení polotovaru se prostřihne tenká blána - jediný odpad při děrování. Aby se dosáhlo požadovaného tvaru, protlačuje se pak dírou soudkovitý kalibrační trn 5.



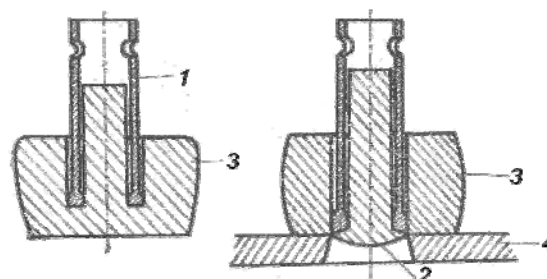
**Obr. 1.25.** Postup děrování plným trnem

**Tenčí výkovky** se děrují následujícím způsobem; vzniká při něm poměrně velký odpad 7, ale díra je natolik přesná, že nevyžaduje další kalibraci (viz. **obr. 1.26.**).

Děrování **dutým trnem** se uplatňuje především u vysokých výkovků z ingotů, kde je třeba úplně odstranit jejich méně jakostní osovou část. Přesnost díry je zde vyvážena značným odpadem (viz. **obr. 1.27.**).



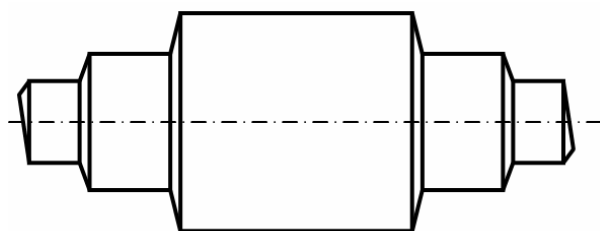
Obr. 1.26. Děrování tenkých výkovků



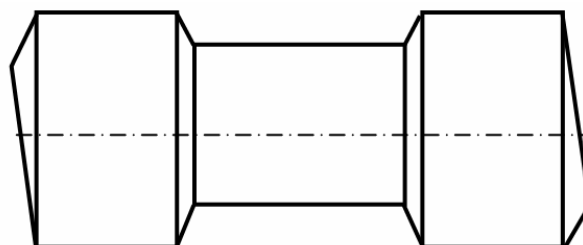
Obr. 1.27. Děrování dutým trnem

### Osazování (stepping), prosazování (necking, reduction swaging)

Zvláštní případy prodlužování vymezených částí výkovku. Osazuje se na koncových částech, vzniká osazení (viz. obr. 1.28. a obr. 1.30.), prosazuje ve středových částech, vzniká prosazení (viz. obr. 1.29. a obr. 1.30.), ve zvláštním případě mohou vzniknout příruby.



Obr. 1.28. Osazený výkovek

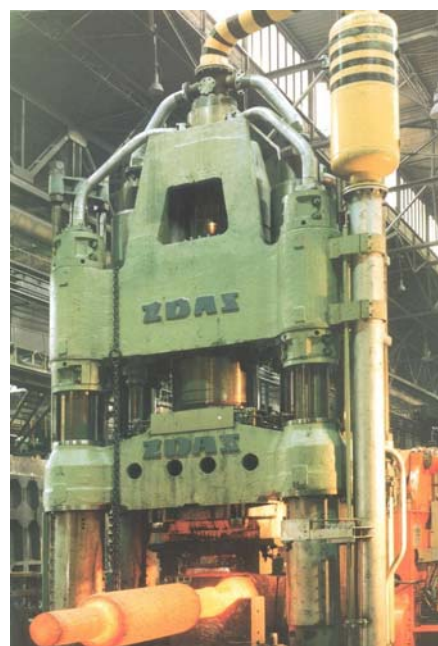


Obr. 1.29. Prosazený výkovek

Podstatou obou operací je vymezení úseků, jejichž průřez se má zmenšovat. Děje se tak nejčastěji zatlačením příložky, čímž vznikne drážka, která jednoznačně oddělí část k prosazování nebo k osazování od zbývajících částí výkovku (notching).



Obr. 1.30. Osazování

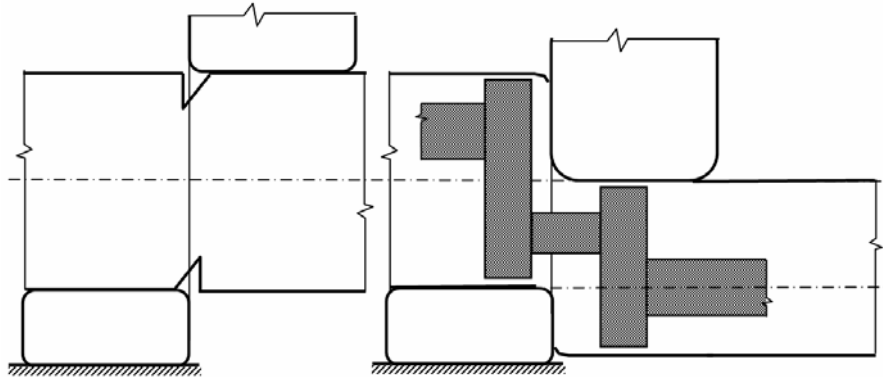


Obr. 1.31. Prosazování



**Přesazování (offseting)**

Příčné přemístění vymezeného objemu výkovku, přičemž podélná osa vzniklého přesazení je rovnoběžná s podélnou osou zbývajících částí (viz. **obr. 1.32.**). Je nepostradatelnou operací při kování zalomených hřídelů.



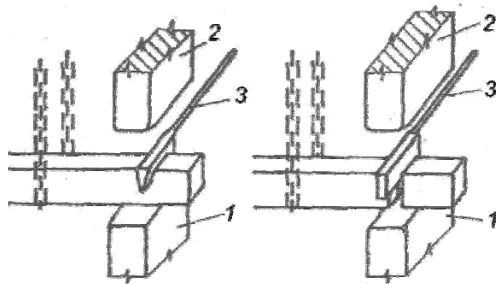
**Obr. 1.32.** Schéma přesazování, tmavě je vyznačena budoucí kliková hřídel

**Sekání (cutting off)**

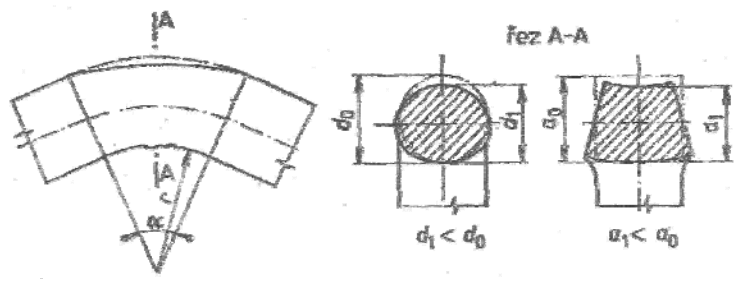
Sekání se užívá k dělení výchozího materiálu na jednotlivé polotovary, ale častěji k oddělování přebytečného a odpadového materiálu od výkovků. Záměrně úzký nástroj, sekáč 3, vytváří tak štíhlé pásmo deformace, že v něm převládají přídatná tahová napětí, která vedou k žádoucímu porušení soudržnosti (2 horní a 3 dolní kovádko) (viz. **obr. 1.33.**).

**Ohýbání (bending)**

Ohýbání je důležitou doplňkovou operací při výrobě háků, kotev, třmenů, táhel, pák apod. Ohýbáním se zeslabuje příčný průřez polotovaru a mění jeho tvar v pásmu deformace podle nástinu na **obr. 1.34.**, přičemž tyto změny jsou tím výraznější, čím tlustší je ohýbaný polotovar, menší je poloměr ohybu  $r$  a větší úhel ohybu  $\alpha$ .



**Obr. 1.33.** Sekání



**Obr. 1.34.** Ohýbání

**Odměna a odpočinek**

Pokud jde o ohýbání, není povolanejší osoby než Bendera Bending Rodrigueze z Tijuany. Odpověď na otázku, co je, mimo ohýbání traverz do jakéhokoliv úhlu, jeho životním posláním najdete schováno v obrázku. Znalost ruštiny podmínkou.



**Zkrucování (twisting)**

Zkrucováním se rozumí pootočení části výkovku vzhledem k sousední části kolem společné osy o určitý úhel. Je nezbytnou doplňkovou operací při dokončování klikových hřídelů, vidlic a dalších výkovků, jejichž jednotlivé úseky se kovou jednodušším postupem v jedné rovině, a poté se zkroutí do požadované polohy.

**Zajímavost**

Všechny, v této kapitole představené, operace volného kování musely být použity při výrobě **nejvýkonnějšího diesellového motoru světa**.

Dvojdobý diesellový motor Wartsila-Sulzer RTA96-C s turbodmychadlem je nejvýkonnější a nejúčinnější hnací zařízení současného světa. Vyrobita ho firma The Aioi Works of Japan's Diesel United, Ltd v roce 2006 pro pohon lodi **Emma Maersk**.

*Emma Maersk je největší nákladní kontejnerová loď, která kdy byla na světě postavena. Za vše hovoří její rozměry, délka 397 m, výška nad čárou ponoru 56 m pod čáru ponoru 30 metrů, vejde se na ni 11 000 TEU (tedy přepravních kontejnerů o délce 20 stop, tj. 6,1 m).*



Podívejte se na obrázky z montáže tohoto motoru. Přidejme k tomu i pár čísel:

Vnitřní průměr válce: 965,2 mm

Zdvih válce: 2 489,2 mm

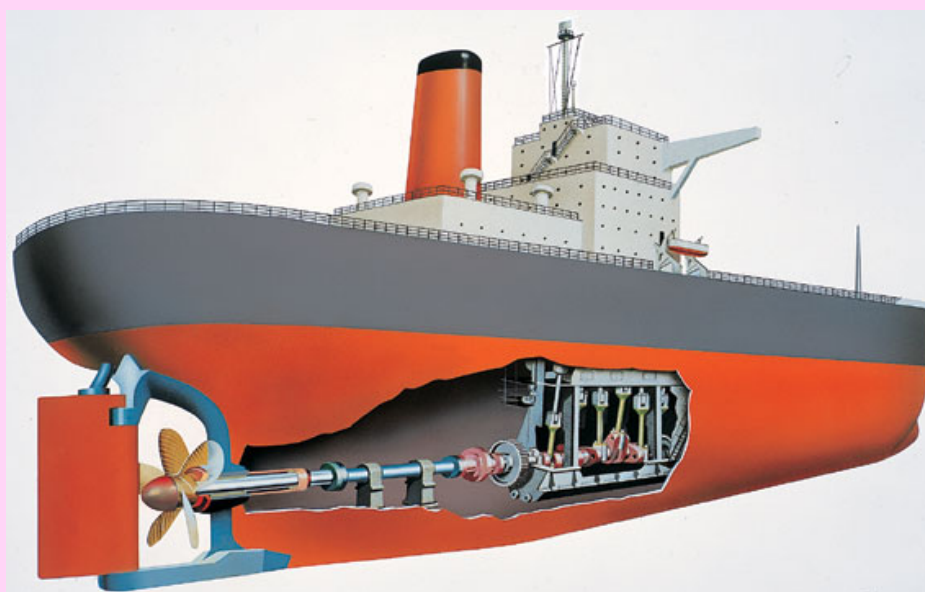
Celkový objem (14 válců): 25 480 litrů

Celková hmotnost: 2 300 tun

(jenom kliková hřídel váží 300 tun)

Délka: 27,1 m

Výška: 13,4 m



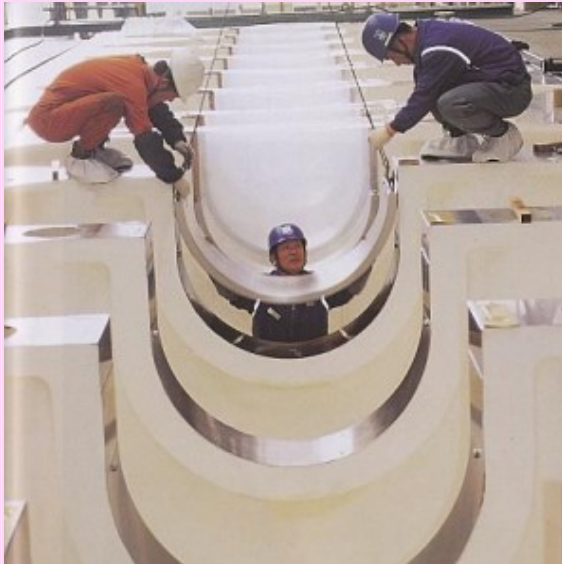
Maximální výkon: 81 221 kW při 102 otáčkách za minutu

Maximální moment: 7 603,8 KNm při 102 otáčkách za minutu

Spotřeba paliva při maximálním výkonu je 0,278 lbs/hp/hod

Spotřeba paliva při nejúspornějším režimu je 0,260 lbs/hp/hod, v tomto režimu dosahuje motor účinnosti 50%. Tedy 50% energie uložené v palivu se přemění na rotační pohyb. (automobilové motory mají spotřebu 0,4 – 0,6 lbs/hp/hod s účinností 25-30%.)

Přes tuto úspornost spotřebuje motor 6 283,8 litrů paliva za hodinu.



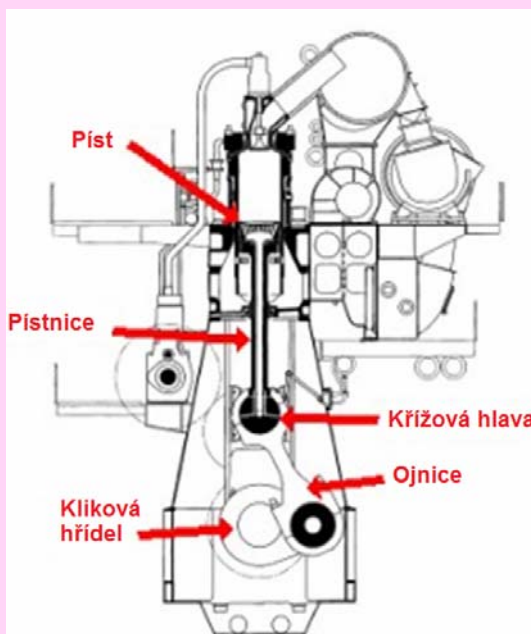
*Instalace ložisek na ojnici, průměr čepu je 965,2 mm a šířka je 406,4 mm.*



*Montáž klikové hřídele do skříně.*

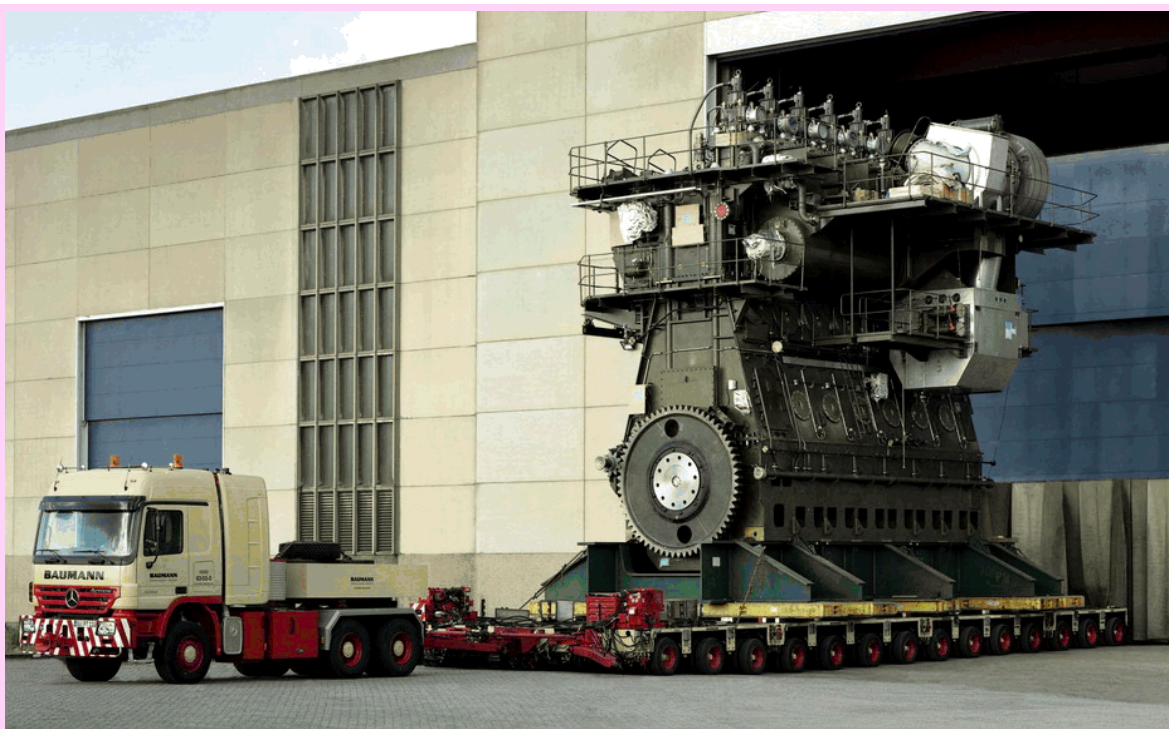


*Spojení pístu (nahore) a pístnice. Čtvercová deska dole slouží k připojení ke křížové hlavě.*



*Schéma motoru*



*Expedice motoru*

## Σ Shrnutí

Výhodami volného kování je, že získáme výrobek s lepší mikrostrukturou než např. při odlévání, je to dáno turbulentním charakterem deformace, která účinněji rozrušuje litou strukturu. Energetická náročnost volného kování je relativně nízká a ve srovnání s obráběním uspoříme mnoho materiálu. Výkovky mohou dosahovat hmotnosti až 600 t, ale musí být vyrobeny se značnými materiálovými přídatky s omezenou tvarovou složitostí. Při výrobě dochází ke značným ztrátám kovu (např. okujením) a potřebujeme vysoce kvalifikované pracovníky. Volné kování se skládá z mnoha operací: přechování, prodlužování, děrování, osazování, prosazování, přesazování, sekání, ohýbání a zkrucování. Měli by jste umět načrtnout každou operaci a navrhnout sled operací pro potřeby kování např. ojnice nebo klikové hřídele.



## Otázky 1.4.

- 1.4.1) Vyjmenujte rozdíly mezi volným a zápusťkovým kovááním.
- 1.4.2) Proč je volné kování účinnější při rozrušování lité struktury než válcování.
- 1.4.3) V čem je volné kování lepší než obrábění?
- 1.4.4) Vyjmenujte nevýhody volného kování oproti zápusťkovému kováání
- 1.4.5) Rozdělte stroje pro kování podle hmotnosti výkovků
- 1.4.6) Definujte přechování
- 1.4.7) Jak vzniká soudkovitost?
- 1.4.8) Jaké jsou důsledky nerovnoměrnosti deformace při přechování?





## Otázky 1.4.

- 1.4.9) Proč je zapotřebí upravit před pēchováním čelní plochy polotovaru?
- 1.4.10) Co je to štíhlost výkovku?
- 1.4.11) Načrtněte základní způsoby pēchování.
- 1.4.12) Vyjmenujte rozdíly mezi volným a zápustkovým kováním.
- 1.4.13) Proč je volné kování účinnější při rozrušování lité struktury než válcování.
- 1.4.14) V čem je volné kování lepší než obrábění?
- 1.4.15) Vyjmenujte nevýhody volného kování oproti zápustkovému kování
- 1.4.16) Rozdělte stroje pro kování podle hmotnosti výkovků
- 1.4.17) Definujte pēchování
- 1.4.18) Jak vzniká soudkovitost?
- 1.4.19) Jaké jsou důsledky nerovnoměrnosti deformace při pēchování?
- 1.4.20) Proč je zapotřebí upravit před pēchováním čelní plochy polotovaru?
- 1.4.21) Co je to štíhlost výkovku?
- 1.4.22) Načrtněte základní způsoby pēchování.
- 1.4.23) Jaký je rozdíl mezi **obr. 1.15. c** a **obr. 1.16. c**?
- 1.4.24) Která operace je silově náročnější, pēchování nebo prodlužování téhož ingotu? Proč?
- 1.4.25) Která operace je časově náročnější, pēchování nebo prodlužování téhož ingotu? Proč?
- 1.4.26) Co je to délka záběru při prodlužování? Jaké pravidla platí při jejím stanovení?
- 1.4.27) Čím při prodlužování ovlivňujeme hloubku proniku plastické deformace?
- 1.4.28) Kdy bude větší hloubka proniku při prodlužování rovnými kovádky tyče čtvercového nebo kruhového průřezu? Vysvětlete pomocí náčrtku.
- 1.4.29) Jaký musí platit vztah mezi průměrem díry a průměrem výkovku při děrování?
- 1.4.30) Jaký musí platit vztah mezi průměrem díry a výškou výkovku při děrování?
- 1.4.31) Jaké znáte druhy děrování? Uveďte výhody a nevýhody.
- 1.4.32) Co je to osazování?
- 1.4.33) Co je to prosazování?
- 1.4.34) Co je to přesazování?
- 1.4.35) Jaké výkovky se vyrábí ohýbáním?
- 1.4.36) Popište způsob kování klikové hřídele velkého lodního motoru.

## 1.5. Zápustkové kování



Čas ke studiu: 1 hodina



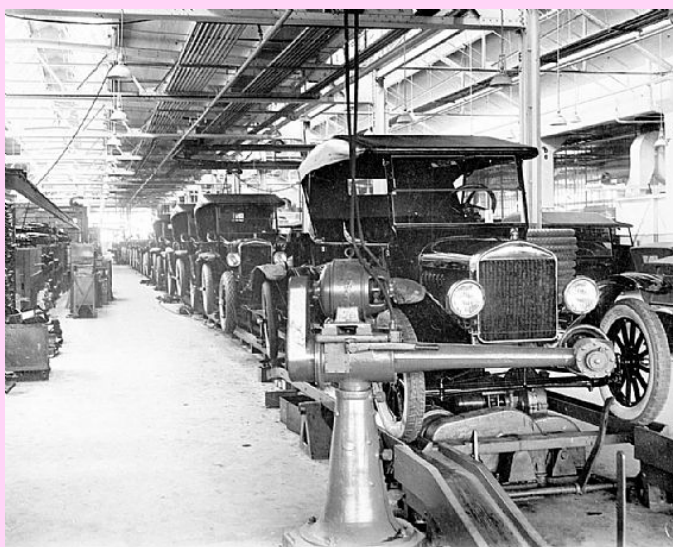
### Pojmy k zapamatování

Zápustka, dutina otevřená a uzavřená, přípravná a dokončovací, výronek, přeložka, výrobnost



### Zajímavost

Prudký rozvoj zápustkového kování (die forging) ve 2. desetiletí 20. století byl spojen s rozvojem automobilismu. **Ford T** byl prvním sériově vyráběným automobilem, cílem bylo vyrobit auto tak levně, aby si ho mohl koupit i dělník v automobilce, za několik měsíčních platů. Tento cíl byl splnitelný jen díky **hromadné produkci**, která vedla ke snížení cen. Tehdy se zrodila pásová výroba. Důsledky zavedení masové výroby v Highland Parku byly přímo neuvěřitelné. V roce 1913 továrna vyrobila celkem 168 200 kusů Fordu T a v roce následujícím, kdy už výroba stoprocentně probíhala na výrobních linkách, opustilo brány továrny dokonce neuvěřitelných 248 307 automobilů. V roce 1916 pak počet kusů překročil půlmilion: vyrobilo se přesně 585 388 vozů.



Ford T – montážní linka.

*„Postavím auto pro masy. Bude dost velké pro rodinu, ale také dost malé na to, aby s ním jeden člověk mohl jezdit a starat se o ně. Bude vyrobeno z nejlepších materiálů, nejlepšími zaměstnanci, s nejjednodušší konstrukcí, kterou je moderní inženýrství schopno vymyslet. Ale bude tak levné, že každý člověk pracující za dobrý plat bude vlastnit jedno - a užívat si se svou rodinou mnoho hodin radosti pod božím širým nebem“.*

Henry Ford



## Výklad

Zápustkové kování nachází využití všude tam, kde je potřeba **velkého množství** tvarově shodných součástí (kolejová vozidla, letadla, zemědělské stroje, zámečnické a zemědělské nářadí, lékařské nástroje atd.).

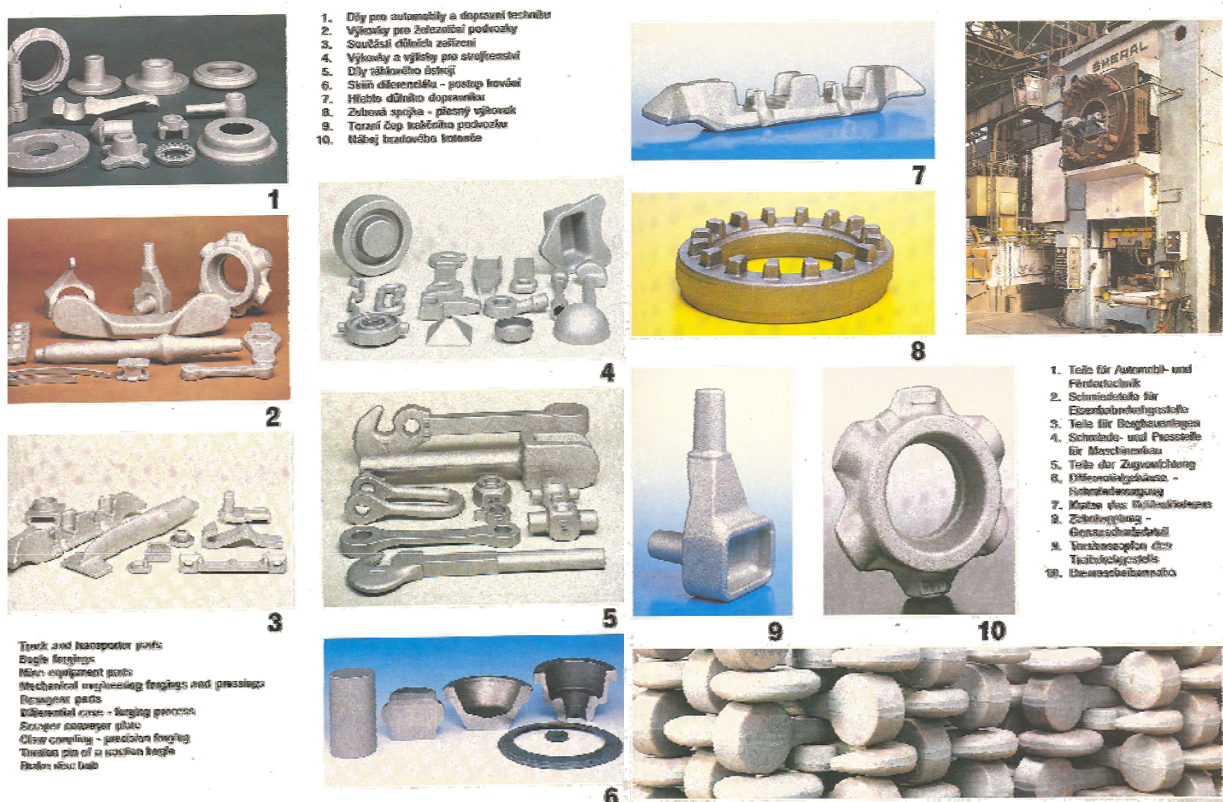
### □ Charakteristika zápustkového kování

Při zápustkovém kování nemá tok kovu zdaleka tolik stupňů volnosti jako při kování volném. Je omezen stěnami dutiny jednoúčelového, nejméně dvoudílného nástroje - zápustky

K **přednostem** zápustkového kování patří:

1. vysoká **výrobnost**, která je desítky až stovky výkovků za hodinu, na automatických linkách i přes 1 000 výkovků za hodinu;

2. zhotovení **tvarově členitých výkovků** (viz. **obr. 1.35.**) s minimálními materiálovými přídávky (v některých případech zcela bez přídávky anebo s přídávky jen na některých, funkčně nejnáročnějších plochách), vysokou rozměrovou přesností (u výkovků kalibrovaných za studena dosahují mezní úchytky rozměrů  $\pm 0,1$  a někdy až  $\pm 0,05$  mm!) a dokonalou povrchovou jakostí (zejména při uplatnění bezokujového ohřevu);



Obr. 1.35. Portfolio zápustkových výkovků

3. **hospodárnější** využití kovu (ve srovnání s volným kovááním, litím nebo obráběním);



4. **nižší nároky na kvalifikaci** kováře, kterého je možno poměrně rychle zaučit.

Současně však nelze přehlédnout i některé méně **příznivé znaky** zápustkového kování:

1. **hmotnostní a rozměrové omezení** výkovků (většina zápustkových výkovků spadá do hmotnostní kategorie 0,5 až 30 kg, výjimečně se kovou výkovky o hmotnosti až 3,5 t);

2. značná **energetická náročnost** zápustkového kování (v zápustkové dutině se kove celý objem výkovku najednou);

3. potřeba jednoúčelového, a tím i velice **drahého nástroje**, který má výrazný vliv na výslednou cenu zápustkového výkovku, a tím i na ekonomické opodstatnění této technologie.

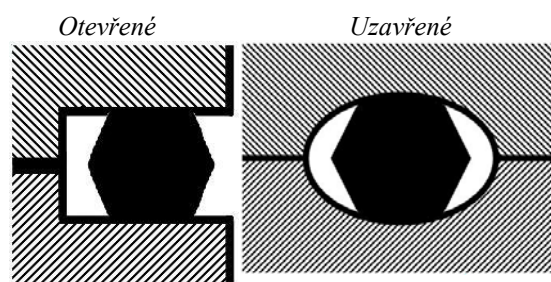
#### □ Vstupní polotovary:

**Jednoduché výkovky:** nejčastěji válcované tyče, pro rozměrově přesné výkovky pak tažené tyče.

**Složitější výkovky:** *předkovky* vyrobené volným kovááním, kovááním na kovacíh válcích či periodickým válcováním.

#### □ Přípravné dutiny

Kování v přípravných dutinách (viz. **obr. 1.36.**) je doprovázeno vždy určitým **nedostatkem** materiálu. Porušení této podmínky má za následek vytvoření nežádoucího výronku, s následným nebezpečím vzniku přeložky v dokovací dutině.



**Obr. 1.36.** Přípravné dutiny



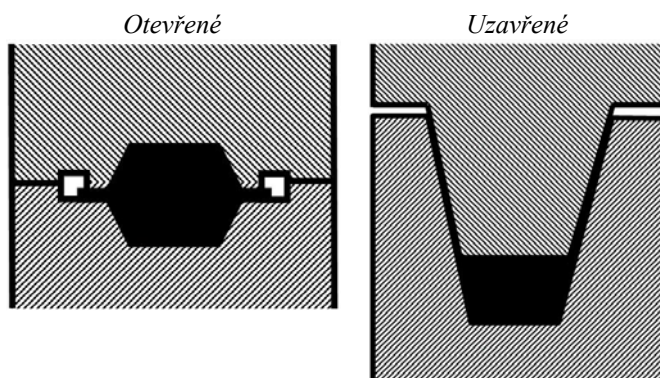
**CD-ROM**

55 Laboratorní kování v otevřených zápustkách

#### □ Dokončovací dutiny

Charakteristickým znakem otevřených dokončovacích zápustek (viz. **obr. 1.37. vlevo**) je výronková drážka, do které odtéká přebytečný kov v podobě **výronku**.

Do uzavřených dutin se vkládá polotovar o stejném objemu, jako má hotový výsledek. Tato technologie se však dá použít pouze pro jednoduché rotačně symetrické výkovky, za předpokladu zvýšení rozměrové přesnosti vstupních polotovarů (viz. **obr. 1.37. vpravo**).



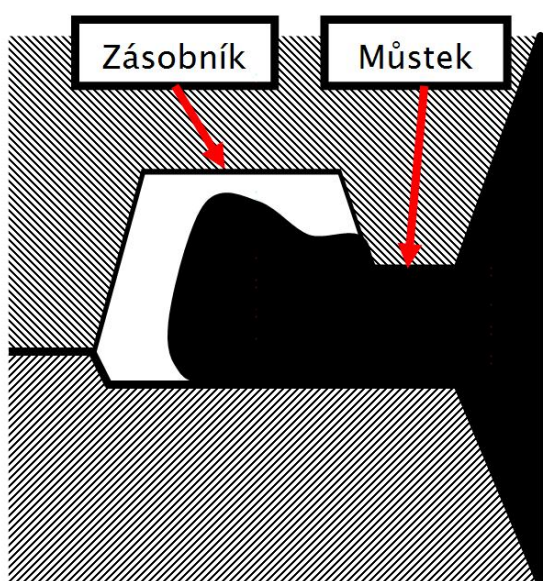
**Obr. 1.37.** Dokončovací dutiny



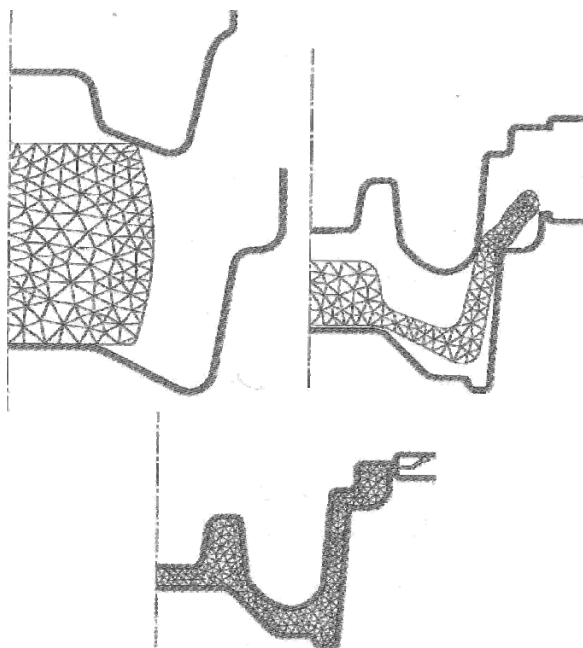
## □ Výronek (flash)

Výronek (viz. **obr. 1.38.**) sice představuje materiálovou ztrátu (10 až 30 %), avšak současně plní některé významné úkoly:

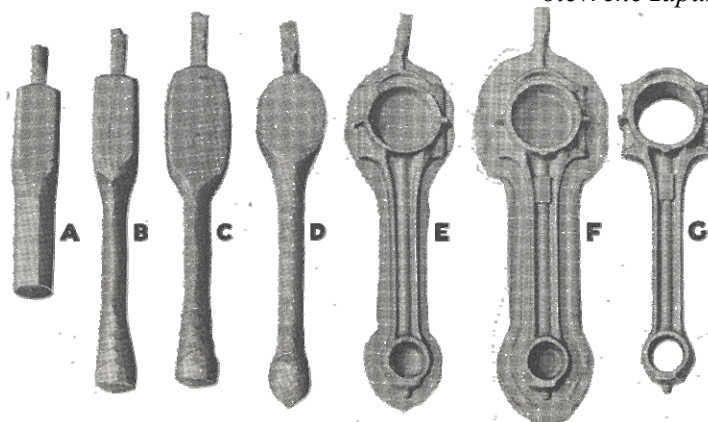
- Těsně před semknutím zápustky musí výronek svým tvarem, především velmi velkou plochou (což vede ke zvýšení deformačního odporu), zvýšit odpor proti vytékání kovu ze zápustkové dutiny. Kov potom teče do uzavřených přírub (viz. **obr. 1.39.** třetí operace).
- Ve výronku se vyrovnávají objemové rozdíly výchozího polotovaru (i rozdíly způsobené opotřebením zápustky).
- Výronek též působí jako tlumič rázů mezi dosedajícími díly zápustky.



**Obr. 1.38.** Výronek v řezu



**Obr. 1.39.** Matematické modelování: Postup zápustkového kování, začátek druhé operace v uzavřené zápustce, začátek a konec třetí operace v otevřené zápustce.



**Obr. 1.40.** Postupná změna tvaru polotovaru při kování ojnice a) předkování b) rozválcování c) d) otevřené přípravné dutiny, e) předhotovně uzavřená dutina (vznik výronku) f) dokování g) odštěpení výronku

**CD-ROM** 56 Matematické modelování**Σ Shrnutí**

Předností zápusťkového kování je výrobnost, možnost kovat velmi tvarově složité výkovky, hospodárnější využití kovu oproti volnému kování či obrábění, nižší nároky na kvalifikaci kováře. Díky tváření celého objemu polotovaru najednou je zápusťkové kování velmi energeticky náročné, což je jedním z důvodů hmotnostního a rozměrového omezení výkovků. Vlastní zápusťka slouží jen jednomu účelu a je relativně drahá. Vstupními polotovary jsou vývalky jednoduché či složité výkovky. V zápusťkách rozeznáváme přípravné a dokončovací dutiny, které mohou být otevřené či uzavřené. Uzavřené dokončovací dutiny jsou charakterizovány výronkem, který díky své velké ploše brání kovu vytékat ze zápusťky (podívej se na kapitulu deformační odpor a zákon toku cestou nejmenšího objemu) a díky tomu je možno vyplnit každou skulinu zápusťky. Také chrání zápusťky před rázy a vyrovnává objemové rozdíly polotovaru.

**Otázky 1.5.**

- 1.5.1) Co způsobilo rozvoj zápusťkového kování?
- 1.5.2) K čemu se používá zápusťkové kování?
- 1.5.3) Vymezte zápusťkové kování vůči kování volnému.
- 1.5.4) Jaké jsou přednosti zápusťkového kování?
- 1.5.5) Jaké jsou nedostatky zápusťkového kování?
- 1.5.6) Jaké výrobky se vyrábějí zápusťkovým kováním?
- 1.5.7) Jaké jsou požadavky na zápusťky?
- 1.5.8) Jaké se používají vstupní polotovary pro zápusťkové kování?
- 1.5.9) Jaké znáte dokončovací dutiny?
- 1.5.10) Co je to výronek?
- 1.5.11) Jaké jsou funkce výronku?
- 1.5.12) Vysvětlete důvod zvýšení deformačního odporu ve výronku.

**1.6. Stroje pro kování****Čas ke studiu:** 1 hodina**Pojmy k zapamatování**

Buchar, lis, kovací soubor, manipulátor, Gallův řetěz,



## Výklad

Podle charakteru práce se dělí na **buchary**, u nichž se využívá pohybové energie padajícího beranu působícího na tvářený kov rázem, a na **hydraulické lis**, které zpracovávají kov klidným tlakem vyvíjeným kapalným médiem v hydraulickém systému lisu.

### □ Buchary

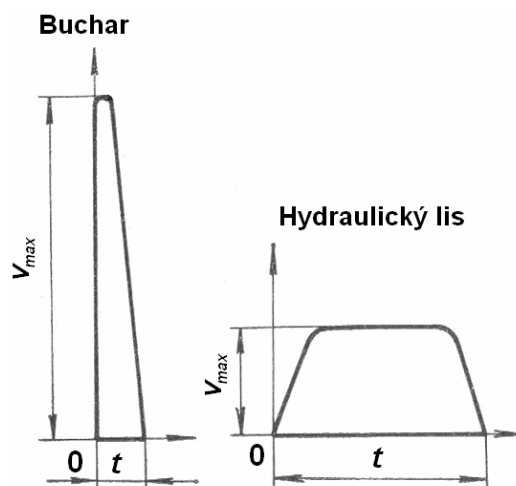
U bucharu se pracovní rychlost  $v$  mění z maxima  $v_{max}$  na nulu v neobyčejně krátkém čase  $t$ , který se udává v setinách až tisícinách sekundy. Největší rychlosti,  $v_{max} = 4,5$  až  $9 \text{ m.s}^{-1}$ , dosahuje beran v okamžiku, kdy dopadne na polotovar. Pracovní rychlost hydraulického lisu se mění po křivce, přičemž  $v_{max} = 0,1$  až  $0,5 \text{ m.s}^{-1}$ . Doba deformace  $t$  je nepoměrně delší než u bucharu; udává se řádově v sekundách (viz. **obr. 1.41**).

Padající beran bucharu působí na kov při každém úderu určitou rázovou energií, kdežto lis silou. Na bucharu se kov deformuje každým úderem, kdežto lis přestane vykonávat práci, jestliže jeho síla je menší než deformační síla. Kování na bucharu se vyznačuje vysokou deformační rychlostí, což se projevuje zvýšeným deformačním odporem, pomalejším poklesem kovací teploty, snadnějším opadáváním okují s povrchu kovaného polotovaru.

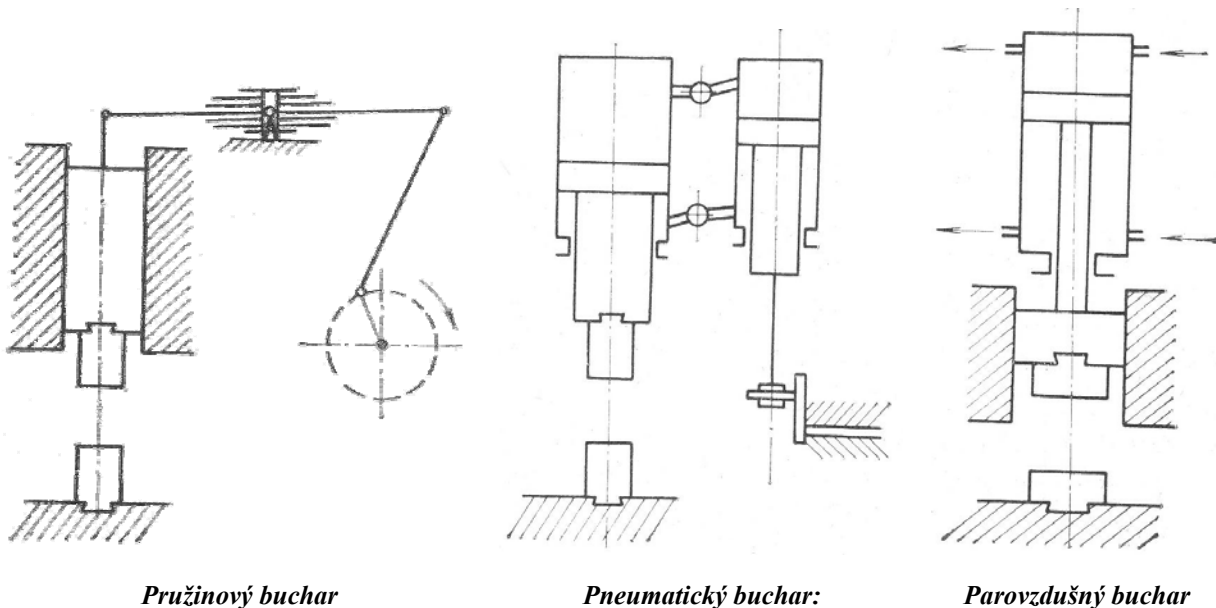
Na výsledné velikosti rázové energie bucharu se podílí hmotnost beranu  $m$  a dopadová rychlost  $v$ . Pro potřeby kování je však mnohem výhodnější, jestliže se potřebné rázové energie dosáhne velkou hmotností beranu a nízkou dopadovou rychlostí, neboť následkem menšího deformačního odporu pronikne deformační účinek do větší hloubky tvářeného polotovaru. To je důvodem, proč se buchary charakterizují hmotností beranu a nikoli rázovou energií.

Výkovky velkého průřezu se nemají kovat na bucharu, protože jím nelze dosáhnout rovnoměrného a dokonalého prokování v celém objemu výkovku. Na začátku kování je totiž zdvih beranu malý, a tím i nízká rázová energie, na konci kování je tomu opačně.

Buchary pro volné kování se dělí na pružinové, pneumatické a parovzdušné. Nástin činnosti jednotlivých typů bucharů přináší **obr. 1.42**. **Pružinový buchar**: výstředník s ojnicí mění otočný pohyb na pohyb vratný, jež se přenáší na druhý konec dvouramenného svazku listových pružin, tím se urychlí pohyb beranu. **Pneumatický buchar**: pohon obstarává stlačený vzduch, hmotnost beranu až  $1\,000 \text{ kg}$ , využívá tlaku a podtlaku. **Parovzdušný buchar**: médium – pára nebo vzduch se nad a pod píst přivádí pomocí šoupátkového mechanismu.



**Obr. 1.41.** Pracovní rychlost strojů pro kování.



Pružinový buchar

Pneumatický buchar:

Parovzdušný buchar

Obr. 1.42. Nástin činnosti jednotlivých typů bucharů



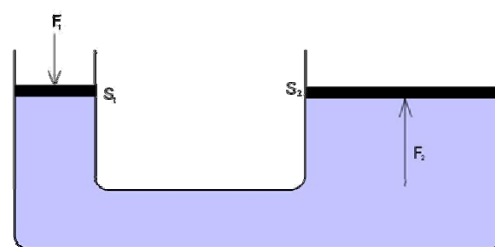
CD-ROM

57 Technologie kování na bucharech

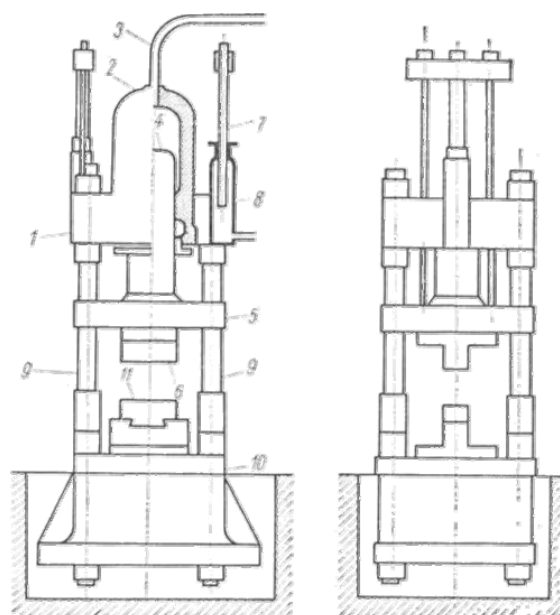
### □ Hydraulické lisy

Činnost hydraulických lisů, které se stavějí o síle až 180 MN, vychází z Pascalova zákona (tlak kapaliny v uzavřené nádobě je ve všech směrech stejný) a ze známé skutečnosti, že kapaliny jsou sice nestlačitelné, ale tlak přenášejí. Ve dvou válcových nádobách je uzavřena kapalina (viz. **obr. 1.43.**). Písty jsou pohyblivé a mají plochy o obsahu  $S_1$  a  $S_2$ . Na píst o ploše  $S_1$  působíme silou  $F_1$ , která je kolmá k pístu. Tato síla vyvolá v kapalině tlak  $p = F_1/S_1$ . Na píst s obsahem  $S_2$  tak působí tlaková síla  $F_2$ . Síly, které na písty působí, jsou ve stejném poměru jako obsahy průřezů obou pístů, tedy:  $F_2/F_1 = S_2/S_1$ .

Schéma hydraulického lisu je na **obr. 1.44.** Na horním příčniku umístěný pracovní válec 2 je spojen potrubím 3 se zdrojem vysokotlaké kapaliny (upravená voda, olej). Při pracovním chodu působí tlak kapaliny na plunžr 4, který uvede do pohybu pohyblivý příčník 5, na němž je upnuto horní kovadlo 6.



Obr. 1.43. Princip hydraulického lisu.



Obr. 1.44. Schéma hydraulického lisu.



Pohyblivý příčník se zvedá prostřednictvím plunžrů 7, které se vysouvají z pomocných válců 8 umístěných po stranách horního příčníku. Sloupy 9 jsou pevně vetknuty do horního příčníku 1 a dolního příčníku 10, na němž spočívá dolní kovádko 11.

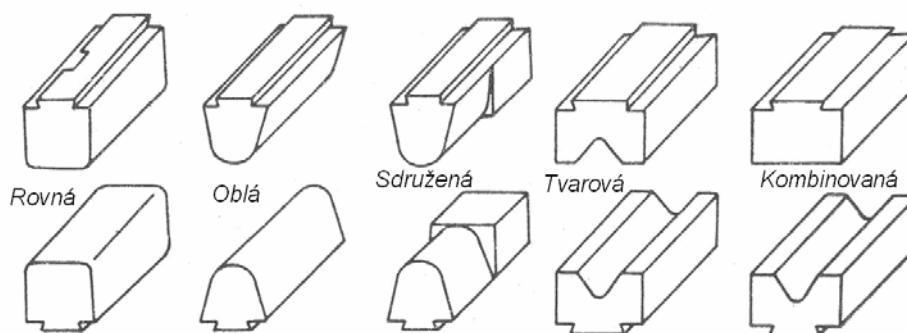


## CD-ROM

58 Technologie kování na lisech

### □ Pomocná zařízení pro kování

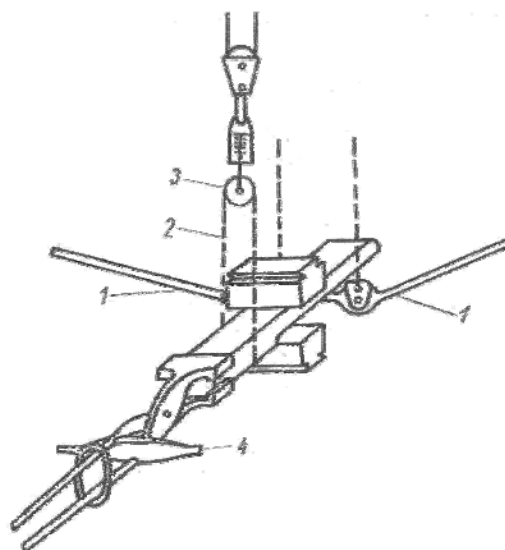
K základním nástrojům patří různě tvarovaná **kovádkla** (viz. **obr. 1.45.**).



**Obr. 1.45.** Typy kovadel

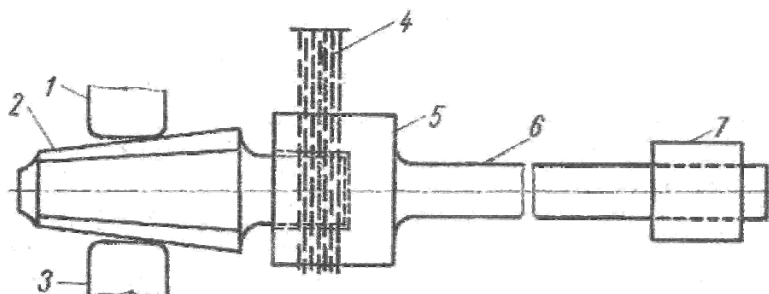
Pomocné nástroje a zařízení usnadňující **manipulaci** s výchozím polotovarem při kování. Patří k nim různé druhy kleští, používané při kování menších výkovků na bucharech, a speciální, na jeřábu zavěšené kleště k dopravě ingotů a kovaných polotovarů.

Během některých kovářských operací, zejména prodlužování, je nutno otáčet kovaným polotovarem kolem jeho podélné osy. U lehkých výkovků lze ještě vystačit s fyzickou silou a zručností kováře, kdežto u těžších výkovků se uplatňuje jednoduchá mechanizace. Kovaný polotovaz je sevřen ručními kleštěmi a zavěšen na článkovém řetězu 2 pružně zavěšeného kladkostroje 3. Polotovaz se otáčí kolem své podélné osy prostřednictvím vratidla 4 a současně se nadzvedává zavěšenými pákami 1 (viz. **obr. 1.46.**).



**Obr. 1.46.** Princip ruční manipulace s výkovkem.

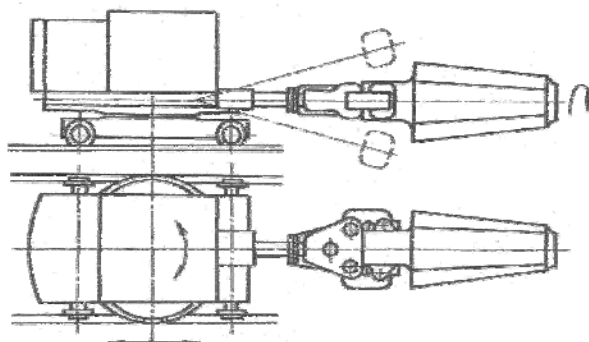
Manipulace s těžšími ingoty a polotovary (viz. **obr. 1.47.**) se děje za pomoci dlouhého vahadla 6, do jehož objímky 5 se zasouvá manipulační čep ingotu 2 (viz. **obr. 1.48.**). Vahadlem, a tím i kovaným polotovarem otáčí prostřednictvím Gallova řetězu 4 elektricky poháněné otáčedlo zavěšené na jeřábu. Správné vyvážení celé zavěšené sestavy zajišťuje protizávaží 7, které se nasouvá na volný konec vahadla. Dokonalejším pomocným zařízením je kovací manipulátor (viz. **obr. 1.49.** a **1.50.**).



**Obr. 1.47.** Manipulace pomocí vahadla a Gallova řetězu



**Obr. 1.48.** Transport výkovku do pece (Vítkovice Heavy machinery)

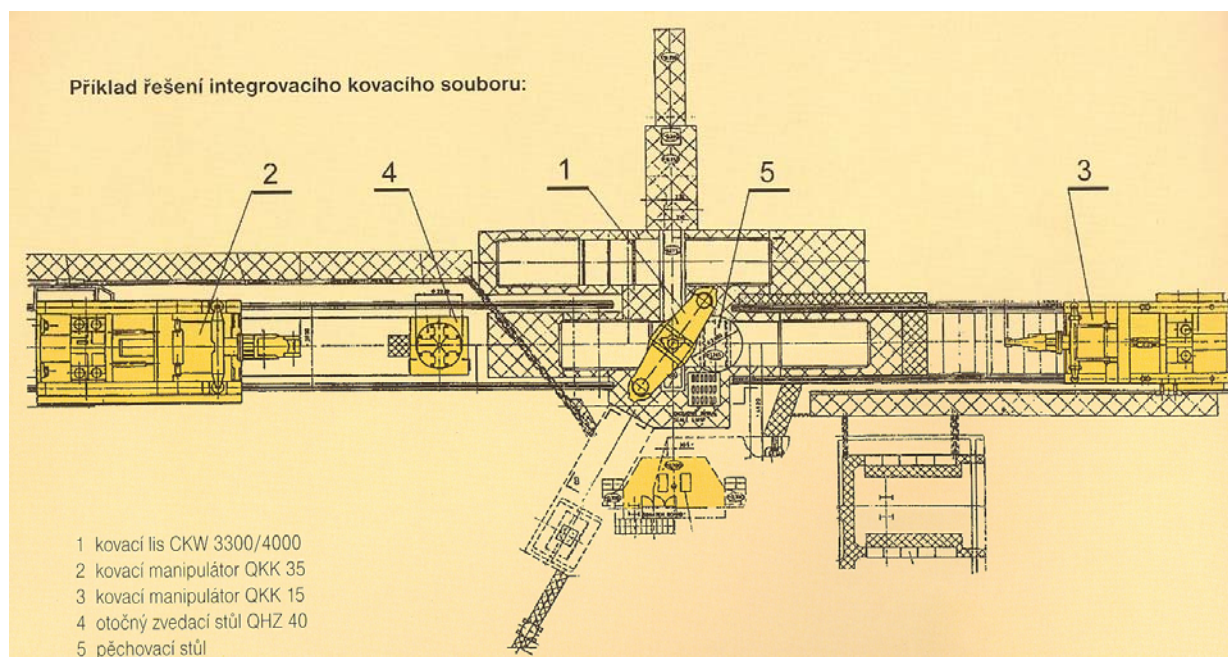


**Obr. 1.49.** Schéma kovacího manipulátoru



**Obr. 1.50.** Kovací manipulátor, Žďas, a.s.

**Kovací soubor** pro volné kování tvoří kovací lis s hydraulickým pohonem a jeden nebo dva manipulátory. Kovací soubor je řízen jedním pracovníkem od centrálního řídicího pultu v odhlučněné kabině (viz. **obr. 1.51.**).



**Obr. 1.51.** Kovací soubor (Žďas, a.s.)

## Σ Shrnutí

Předností zápustkového kování je výrobnost, možnost kovat velmi tvarově složité výkovky, hospodárnější využití kovu oproti volnému kování či obrábění, nižší nároky na kvalifikaci kováře. Díky tváření celého objemu polotovaru najednou je zápustkové kování velmi energeticky náročné, což je jedním z důvodů hmotnostního a rozměrového omezení výkovků. Vlastní zápustka slouží jen jednomu účelu a je relativně drahá. Vstupními polotovary jsou vývalky jednoduché či složité výkovky. V zápustkách rozeznáváme přípravné a dokončovací dutiny, které mohou být otevřené či uzavřené. Uzavřené dokončovací dutiny jsou charakterizovány výronkem, který díky své velké ploše brání kovu vytékat ze zápustky (podívej se na kapitulu deformační odpor a zákon toku cestou nejmenšího objemu) a díky tomu je možno vyplnit každou skulinu zápustky. Také chrání zápustky před rázy a vyrovnává objemové rozdíly polotovaru.



## Otázky 1.6.

- 1.6.1) Jaké znáte typy strojů pro kování?
- 1.6.2) Nakreslete závislost rychlosti kovádky na čase bucharu a hydraulického lisu.
- 1.6.3) Jaké jsou výhody a nevýhody kování na bucharu?
- 1.6.4) Na čem závisí energie bucharu? Jak lze energii zvýšit?
- 1.6.5) Jaké znáte konstrukční řešení bucharů?
- 1.6.6) Vysvětlete princip hydraulického lisu.
- 1.6.7) Co řadíme mezi pomocná zařízení pro kovářny?
- 1.6.8) Jaké znáte typy kovádel?
- 1.6.9) Jak lze při kování manipulovat s polotovarem?
- 1.6.10) Co je to Gallův řetěz?
- 1.6.11) Co je to kovací soubor?

## 1.7. Kovárny v ČR



**Čas ke studiu: 1 hodina**



### Výklad

#### □ Vítkovice Heavy Machinery, a.s.

Vítkovické kovárny patří mezi nejuznávanější kovárny v Evropě. Uplynulo 122 let od založení kovárny v centru Vítkovic, kde byl v roce 1889 uveden do provozu první těžké parní buchar 20 t, 10 t a 5 t a parohydraulický lis 2 000 MPa. Unikátem je v kovárně

dochovaný soubor parních bugarů (1,7 t), parohydraulický lis (800 t), a otočný jeřáb Kolben od firmy AEG.

Dnes kovárny vyrábí volně kované výkovky, kroužky, kruhové desky a kotouče, v neposlední řadě dutá tělesa, které jsou dodávány pro strojírenský, chemický, hutní, lodní i důlní průmysl. Výrobní kapacita je 80 kt/rok

Agregátová výroba – lisy 120 MN, 60 MN, 16 MN (CKW 1 600)

### ***KOVÁNÍ – volné kování výkovků na hydraulických lisech za tepla***

- Podélné výkovky (tyče kruhového, obdélníkového nebo čtvercového průřezu, hřídele, osy, atd.) s průměrem 70 – 2 800 mm, max. délkou 25 000 mm, hmotností max. 123 t
- Kroužky s průměrem 200 – 6 000 mm, hmotností max. 123 t
- Kotouče a kruhové desky o průměru 200 – 4 800 mm, hmotností max. 123 t
- Dutá tělesa - průměr 250 - 2 800 mm, délkou max. 15 000 mm, hmotností max. 123 t

### ***Válcování obručí a strojírenských kruhů***

- Válcované obruče o průměru 400 – 1 800 mm, hmotnosti 75 – 750 kg
- Válcované kruhy o průměru max. 2 300 mm, hmotnosti max. 2,5 t
- Tepelné zpracování (pro kování, žihání, popouštění, kalení, speciální režimy )
- Pálení na pálících strojích za tepla i za studena
- Rovnání za tepla i za studena

### ***Výrobní zařízení – kovárna VÍTKOVICE***

- Hydraulické lisy – 60 MN (viz. **obr. 1.52.**). (GO v r. 2006), 7,5 MN, 16 MN (CKW 1 600)
- Ohřívací pece (11 ks – 10 vozové, 1 pevná)
- Pece na tepelné zpracování (18 vozových pecí)
- Obručárna – 2 pece (1 x karuselová, 1 x pevná)
- Rovnací lis 100 MN
- Pily k dělení materiálu (pásová – 4 ks, kotoučová – 2 ks)
- Kovací jeřáby o nosnosti 150 t (2 x)
- Výrobní možnosti: max. hmotnost 50 t, šířka kovadel 200 až 1 000 mm.

### ***Výrobní zařízení – kovárna KUNČICE***

- Hydraulický lis 120 MN (modernizace v r. 2008) (viz. **obr. 1.53.**)
- Ohřívací pece (1 vozových pecí, 4 pevné pece, 1 kroková pec)
- Pece na tepelné zpracování (11 pecí vozových, 1 šachtová pec)
- Rozbrušovací zařízení WOKA (1 ks)



- Rovnací lis 100 MN
- Kovací jeřáby o nosnosti 330 t (2 x)
- 2 ks frézky (1 x W 160, 1 x WD 250)
- Výrobní možnosti: max. hmotnost 230 t, šířka kovadel 200 až 1 500 mm.



**Obr. 1.52.** Vítkovice – lis 60 MN, příprava operace přechování



**Obr. 1.53.** Vítkovice – lis 120 MN, před rekonstrukcí v roce 2008

3.10. 2011 Strojírenská skupina VÍTKOVICE MACHINERY GROUP dnes rozjela supermoderní rychlokovárnu VÍTKOVICE HAMMERING (viz. **obr. 1.54.**). Provoz za více než 2 miliardy korun je svými parametry a výkonností ojedinělý nejen v ČR, ale také v měřítku Evropy. Linka rychlokovacího stroje je v České republice největší investicí do tohoto typu strojírenské technologie za posledních dvacet let.

#### **Technické parametry rychlokovacího stroje SMX-800:**

Rychlokovací linka dokáže zpracovat produkty do hmotnosti 8 tun a rozměrů do 550 milimetrů vnějšího průměru. Skládá se z hydraulického lisu o jmenovité kovací síle 18 MN a ze 4 kovadel kovajících rychlostí až 240 úderů za minutu s výkonem 100 000 t/rok. Hydrauliku pohání 10 motorů 600kW, které za pomoci čerpadel vytváří tlak systému až 35MPa. Dva synchronizované manipulátory si předávají výkovek přes konstrukci kovacího litého rámu. Kompatibilita nastavení stroje společně se speciální konstrukcí tlumení rázů kovadel umožňují kovat rozměry mezi 80 – 550 mm při délce 18 000 mm a hmotnosti 8 000 t/ks. Kovaná trubka či dutý osazený výkovek při délkách cca. 12 000mm jsou pro SMX-800 samozřejmostí. Kovací tolerance se pohybují na hodnotách +3/-0mm. Po ukončení kovacího programu následuje řezání za tepla brusnými kotouči o průměru 1 800 mm a jehličkové označení výkovku. Uzel tepelného zpracování tvoří patrové pece, kalící nádrže a sázeční manipulátor. Maximální teplota ohřevu probíhající v 6-ti zónách karuselové pece je 1 300 °C. Výkonem cca. 40 t/h se tato pec řadí mezi nejvýkonnější karuselové pece ve střední

Evropě. Rovnoměrnost ohřevu  $\pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$  dovoluje nastavení pro získání velice přesných mechanických hodnot. Pro kalení jsou připraveny dvě polymerové kalící nádrže o objemu  $113\text{ m}^3$  a vodní nádrž o objemu  $176\text{ m}^3$ .



**Obr. 1.54.** Vítkovice - rychlokovací stroj SMX-800:

#### □ **Ostroj, a.s. Opava**

Historie společnosti OSTROJ, a.s. sahá do roku 1878, kdy byla průmyslníkem Eduardem Tatzlem založena Opavská strojírna a slévárna. Jako OSTROJ je firma známa od května roku 1949, kdy byl tento název zaregistrován jako ochranná známka. Nejznámější část výrobního programu tvoří tradiční sortiment důlních zařízení pro všechny podmínky dobývání v hlubinných dolech. Jedná se především o mechanizované výztuže (**obr. 1.55.**), hřeblové a pásové dopravníky (**obr. 1.56.**), pásové vleky, pluhové soupravy (**obr. 1.57.**), hydraulické stojky a válce.



**Obr. 1.55.** Mechanizované výztuže

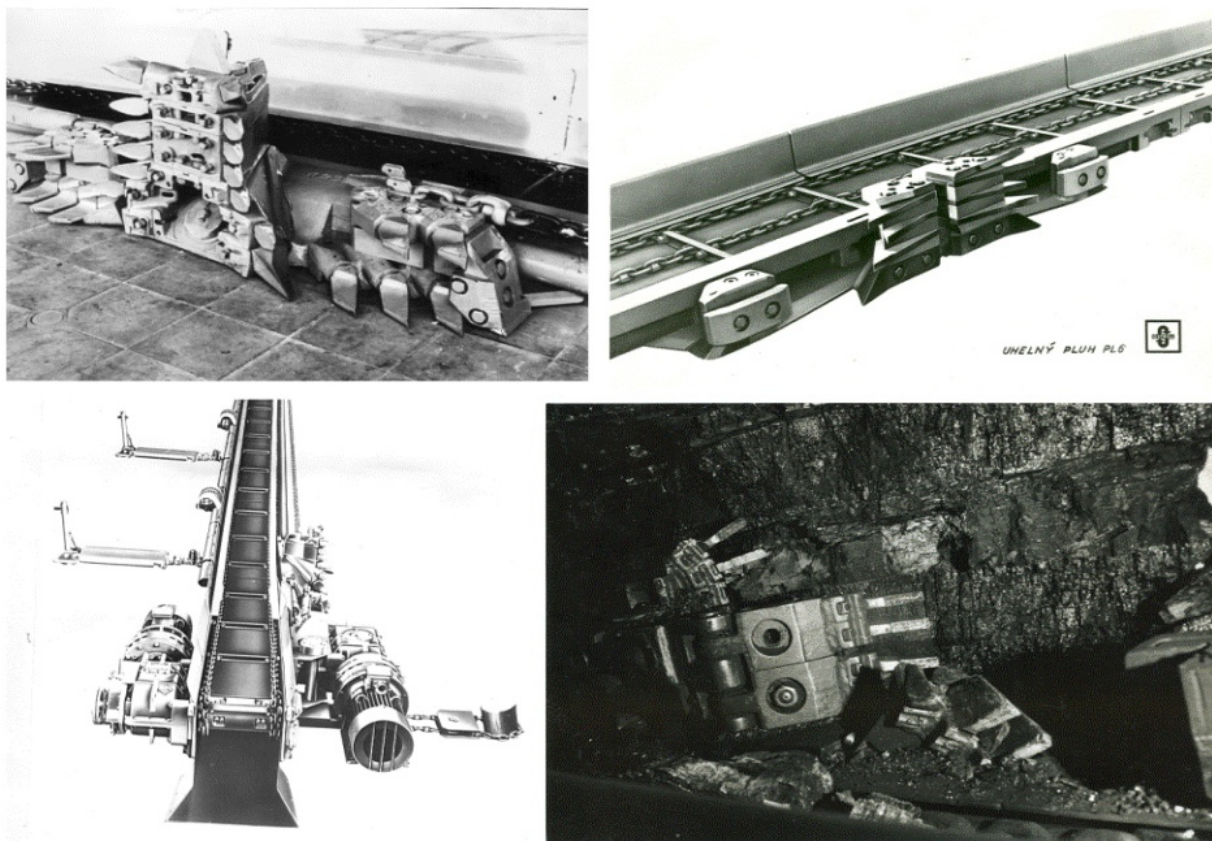


**Obr. 1.56.** Hřeblový dopravník

Veřejnosti je firma známa jako výrobce nakládacích hydraulických jeřábů pro lesní hospodářství. V divizi Kovárna a kalírna vyrábí zápusťkové výkovky váhových kategorií 0,1 - 25 kg, výlisky za tepla i za studena, které se dále tepelně upravují (za účelem změny vlastností). Stále častěji nacházejí výrobky z Ostroje uplatnění také na náročném trhu



automobilového průmyslu, pro který počátkem roku 2001 získali certifikaci podle VDA 6.1 pro oblast výkovků. Ocelové konstrukce, svařované dílce do hmotnosti 10 tun včetně strojního opracování a nátěru patří k výrobní náplni divize Strojírna. O výrobu hydraulických prvků, hydraulických válců, lisů, převodových skříní, dílů pro hydromotory či ozubených kol se stará divize Hydraulika. Ve vlastní Nářadovně se připravují lisovací, stříhací a postupové nástroje, kovací zápustky, ostříhy, vstřikovací a vyfukovací formy a některé jednoúčelové stroje. V divizi Galvanovna se provádí povrchová úprava zinkováním, tvrdým funkčním chromováním.



**Obr. 1.57.** Pluhové soupravy

Svým zákazníkům poskytuje OSTROJ a.s. komplexní výrobní program pro zápustkové výkovky, a to od návrhu konstrukce výkovku až po jeho finální zpracování, tj. chemicko-tepelné zpracování, obrábění výkovků, povrchové úpravy – barvení, zinkování a logistické služby.

Výkovky jsou vyráběny s vysokou přesností, složité geometrie, malých i velkých sérií, ze standardních i speciálních materiálů. Používají se např. v hydraulice, zemědělství, stavebnictví atd.. Stále častěji však nacházejí naše výrobky uplatnění na náročném trhu automobilového průmyslu, pro který jsme počátkem roku 2001 získali certifikaci podle VDA 6.1 pro oblast výkovků.

Nedílnou součástí úprav zápustkových výkovků po jejich vykování je tepelné zpracování, které se ve firmě OSTROJ a.s. provádí na průběžné zušlechťovací lince CAY 7,120.4/9

### **Přehled kovářských linek**

#### **Kovací linka LKM 630**

kování výkovku váhových kategorií  
0,2 kg - 1,5 kg  
indukční ohřev KSO 250  
pro materiál průměru 20 - 60 mm  
třídíčka přehřátých a nedohřátých kusů



**Obr. 1.58.** Kovací linka LZK 1000P

#### **Kovací linka LZK 1000 P**

kování výkovku váhových kategorií  
0,2 kg - 3 kg  
indukční ohřev KSO 250  
pro materiál průměru 30 - 80 mm  
třídíčka přehřátých a nedohřátých kusů



**Obr. 1.59.** Kovací linka LZK 1000P

#### **Kovací linka LZK 2500**

kování výkovku váhových kategorií  
2 kg - 10 kg  
indukční ohřev ITO 503  
pro materiál průměru 30 - 100 mm  
třídíčka přehřátých a nedohřátých kusů  
ostřih LDO 315

#### **Kovací linka LZK 4000**

kování výkovku od 10 kg do 30 kg  
indukční ohřev KSO 1000  
pro materiál průměru 60 - 100 mm  
třídíčka přehřátých a nedohřátých kusů  
ostřih LDO 500

#### **Kalibrační lis LL 1000**

kalibrování výkovků tolerance 0,2 mm  
excentrické lisy LE 400D, LEK 250

#### **Kovací linka LZK 2500 P**

kování výkovku váhových kategorií  
2 kg - 12 kg  
indukční ohřev LDO 500 A  
pro materiál průměru 30 - 100 mm  
třídíčka přehřátých a nedohřátých kusů  
ostřih LDO 500



**Obr. 1.60.** Kovací linka LZK 4000



### □ Pilsen Steel, s.r.o. Plzeň

Metalurgicko - strojírenský závod PILSEN STEEL s.r.o. je firma s dlouholetou tradicí a silnou pozicí na domácím i zahraničním trhu. Zabývá se výrobou výkovků a odlitků s vysokou čistotou a přesně stanoveným chemickým složením z oceli a litiny vlastní produkce.

PILSEN STEEL s.r.o. plní zakázky a požadavky nejnáročnějších zákazníků na výrobu hrubě i finálně opracovaných rozměrných, tvarově složitých odlitků, výkovků, a také ingotů s vysokou kvalitou vnitřní struktury a chemického složení.

Výrobní potenciál a tradice společnosti PILSEN STEEL s.r.o. vychází z know-how firem ŠKODA, Kovárny, s.r.o. a ŠKODA, Hutě, Plzeň, s.r.o., které se v roce 2007 sloučily v jediný celek metalurgicko - strojírenské společnosti PILSEN STEEL s.r.o. s logickým tokem výroby, širokým rozsahem produkce originálních výrobků a stále se rozvíjejícím odborným a technickým zázemím.

#### Kovárna

PILSEN STEEL vyrábí výkovky o hmotnosti od 1t do 80t.

#### Vybavení

Kovací lisy: 33 MN, 105 MN (rozteč mezi sloupy 6 000 mm) (viz. **obr. 1.61.** a **1.62.**)

Tepelné zpracování

- Horizontální pece - max. rozměry: 9 x 6,5 x 4 m
- Vertikální pece - max. rozměry: průměr 2,2 m, hloubka 24 m
- Vozokomorová pec - délka 22 m
- Vodní a olejové nádrže - max. rozměry: vertikálně: průměr 4 m, hloubka 24 m, horizontálně: 8 x 9 x 10 m (kalení hřídele větrné elektrárny **obr. 1.63.**)



**Obr. 1.61.** Kovací lis CKV 105 MN, Pilsen Steel, s.r.o.



*Obr. 1.62. Kovací lis CKV 105 MN, Pilsen Steel, s.r.o., kování klikové hřídele pro čtyřdobý motor*

**Maximální rozměry výkovků**

- Podélné výkovky (tyče kruhového, obdélníkového nebo čtvercového průřezu, hřídele, osy, atd.) s průměrem max. 2 000 mm, max.délkou 15 000 mm, hmotností max. 80 t
- Kroužky, kotouče a kruhové desky o průměru max. 4 000 mm, hmotností max. 80 t
- Dutá tělesa s průměrem max. 2 000 mm, délkou max. 8 000 mm, hmotností max. 80 t (viz. **obr. 1.64.**)





**Obr. 1.63.** Kalení hřídele větrné elektrárny



**Obr. 1.64.** Kování kotle – redukce tloušťky stěn, kterému předcházelo děrování viz. obr. 1.24.

#### □ Přehled dalších kováren

Plzeňská společnost **CZECH PRECISION FORGE (CPF)** je tradiční českou firmou (bývalá „malá kovárna“ ŠKODY Plzeň) s mezinárodním managementem se silným postavením na světovém i domácím trhu v oblasti zápusťkového a volného kování. Mezi hlavní výrobní aktivity CPF patří zápusťkové a volné kování ocelových slitin, neželezných kovů a speciálních materiálů do 4000 Kg jednotkové hmotnosti. Vybrané příklady velkých zápusťkových výkovků kovaných na protiběžných bucharech BECHE 35 a BECHE 40 jsou uvedeny na obr. 1.65.



**Obr. 1.65.** Velké zápusťkové výkovky CPF **vlevo:** turbínové lopatky, **vpravo:** kliková hřídel

Zlínská kovárna **VIVA a.s.** je přední česká průmyslová kovárna, která vznikla v Baťových závodech v roce 1932. Specializujeme se na výrobu zápusťkových výkovků z legovaných, mikrolegovaných, uhlíkových a konstrukčních ocelí. Hmotnostní rozmezí výrobků leží mezi 0,10-20,00 kg.

Vybavení pro kování:

Svislé kovací lisy - 2 x 1000 t, 3 x 1600 t, 1 x 2500 t

Vřetenové lisy - 3 x 2500 t

Buchary - 1 x 30 kJ

Vybavení pro tepelné zpracování:

Kalici průběžné linky QT: - 2 x 500, resp. 800 kg/h

Linky pro +N, +A, +FP, etc.: - 1 x 300 kg/h

Linky pro řízené chlazení mikrolegovaných materiálů z dokovací teploty - náhrada QT

**MSV Metal Studénka, a.s.** vyrábí zápusťkové výkovky z oceli od 0,5 kg do 82 kg a do průměru 450 mm, nebo do délky 900 mm, výkovky z oceli pěchované na vodorovných kovacích lisech do průměru 120 mm, volné výkovky z oceli do hmotnosti 100 kg a do průměru 350 mm. Historicky byla spojena s výrobou železničních vagónů (Vagónka Studénka).

Společnost **POLDI Hütte s.r.o.** Kladno je výrobcem vysoce legovaných ocelí. Nedílnou součástí uzavřeného výrobního procesu je tepelné zpracování a finální úpravy povrchů materiálu. POLDI Hütte je dodavatelem černých nebo opracovaných kovaných tyčí v kruhovém, plochém nebo čtyřhranném provedení.

Pod jmény POLDI Hütte s.r.o. a HEAT TREATMENT BOHEMIA s.r.o. navazuje, coby nástupci značky Poldi, na věhlasnou tradici ve výrobě kovaných nástrojových a korozivzdorných ocelí s opracovaným a neopracovaným povrchem. Na trhu působí od listopadu roku 1999, kdy byla společnost založena jako samostatná dceřiná společnost mateřské firmy Scholz-Edelstahl GmbH sídlící v německém Essingenu.

Dne 1.10. 2009 byl otevřen nový výrobní komplex, v jehož srdci se nachází kovací lis **STG 4000** se silou 40MN (**obr. 1.66.**) . Poldi tak významně rozšířila své produktové portfolio a tím i svou konkurenceschopnost. Osvojením výroby oceli využívající pánvové pece je POLDI Hütte schopna neustále zlepšovat kvalitu výrobků a rozšiřovat sortiment vyráběných značek o další nástrojové konstrukční oceli splňující náročné jakostní požadavky. Parametry lisu STG4000: počet zdvihů/min: 30; síla lisu: 40 MN; max. kovaný průměr: 1 200 mm; max. kovaná délka: 13 000 mm; nosnost 1. manipulátoru: 35 t; nosnost 2. manipulátoru: 60 t.



**Obr. 1.66.** Lis STG4000 - POLDI Hütte s.r.o.



Dále je kovárna vybavena **rychlakovacím strojem GFM SXL40** s těmito parametry: rozměry výkovků: max. kruhový průměr: 100 - 280 mm, max. plochý průřez: 70 - 260 mm, max. čtvercový průřez: 100 - 210 mm, max. kovaná délka: 7 000 mm, nosnost manipulátoru: 2,2 tun každý (viz. **Obr. 1.67.**)



**Obr. 1.67.** Rychlakovací stroj GFM SXL40 - POLDI Hütte s.r.o.

Dále je kovárna vybavena **Lisem CKW 16MN**, který byl v roce 2006 kompletně zmodernizován. Základní parametry lisu: počet zdvihů/min: 25; síla lisu: 16 MN; nosnost manipulátoru 12 t; max. kovaný průměr: 500 mm; max. kovaná délka: 6 000 mm (viz. **Obr. 1.68.**)



**Obr. 1.68.** Lis CKW 16MN - POLDI Hütte s.r.o.

Společnost **Taforge a.s.** (bývalá Kovárna Tatra Kopřivnice) vyrábí široký sortiment výkovků různých hmotností v rozmezí od 0,5 kg až po 60 kg. V současné době vyrábí široký sortiment výrobků nejen pro tradiční automobilovou výrobu, ale i pro další oblasti jako je např. strojírenství, výroba zemědělských a stavebních strojů, manipulační techniky a dopravních zařízení. Taforge svým zákazníkům nabízí komplexní řešení jejich požadavků od návrhu výkovků, přes výrobu nářadí, vlastní výrobu výkovků a jejich tepelné zpracování až po třískové opracování. Výrobní kapacita je 20 000 tun zápusťkových výkovků ročně.

Technické vybavení kovárny:

- Buchary, rázová energie 40 - 250 kJ
- Klikové kovací lisy, tvářecí síla max. 15 000 – 65 000 kN

- Vodorovné kovací lisy, tvářecí síla max. 2 500 – 20 000 kN
- Vřetenové lisy, tvářecí síla max. 1 000 – 10 000 kN
- Kalibrovací lisy, tvářecí síla max. 20 000 kN
- Válcovačka pro příčné válcování max.  $D$  100 mm

Akciová společnost **ŽĎAS** se sídlem ve městě Žďár nad Sázavou, zahájila svoji výrobu před více než 60 lety. V současné době má cca 2720 zaměstnanců a objem výroby za rok 2007 představuje cca 150 milionů eur. ŽĎAS patří do skupiny firem Železiarne Podbrezová Group, jejímž lídrem je přední světový výrobce trubek Železiarne Podbrezová a.s. Podbrezová, Slovenská republika.

Výrobní program firmy ŽĎAS, a.s., je zaměřen na výrobu tvářecích strojů, kovacích lisů, zařízení na zpracování šrotu, zařízení na zpracování válcovaných výrobků, odlitků, výkovků, ingotů a nástrojů, především pro automobilový průmysl.

**Kovárna ŽĎAS** vyrábí již od roku 1966 volně kované výkovky v uceleném a velmi obsáhlém sortimentu tvarů od hmotnosti 20 kg do 9000 kg.

#### Technické vybavení

- 3 lisy pro volné kování vlastní výroby CKV 630, CKVX 1250 a CKV 2250 integrované s kolejovými manipulátory (viz. **Obr. 1.69.**),
- ohřívací pece (vozové + komorové),
- pece tepelného zpracování (vozové + hlubinné),
- kalicí nádrže (voda + olej),
- pily na dělení materiálu – do průměru 1000 mm,
- pily na řezání zkoušek.



**Obr. 1.69.** Lis CKV 2250 - ŽĎAS



## Otázky 1.7.

- 1.7.1) Jaké jsou maximální hmotnosti Vítkovických výkovků?
- 1.7.2) Jaké kovací stroje mají k dispozici ve Vítkovických kovárnách?
- 1.7.3) Jaké jsou maximální hmotnosti Vítkovických výkovků?
- 1.7.4) Co je náplní výrobního programu Ostroje Opava?
- 1.7.5) V jakých váhových kategoriích se pohybují výkovky zápusťkové kovárny Ostroj Opava?
- 1.7.6) Jaké mají v Ostroji k dispozici kovářské linky?
- 1.7.7) Jaké kovací stroje mají k dispozici v Pilsen Steel?
- 1.7.8) Jaké jsou maximální hmotnosti výkovků v Pilsen Steel?
- 1.7.9) Jaká firma byla předchůdcem Pilsen Steel?
- 1.7.10) Která firma Vítkovice nebo Pilsen Steel vyrábí větší výkovky?
- 1.7.11) Která profesní organizace sdružuje kovárny v České Republice?
- 1.7.12) Ve kterých kovárnách najdete rychlokovací stroje?
- 1.7.13) Která firma v ČR vyrábí největší zápusťkové výkovky?



## Další zdroje

- [01] ŽÍDEK, M., DĚDEK, V., SOMMER, B., *Tváření oceli*. SNTL, Praha 1988, ISBN 04-408-88
- [02] HAŠEK, V., a kol., *Kování*, SNTL, Praha, 1965, ISBN 04-233-65
- [03] DYJA, H., et al., *Modelowanie procesów kucia swobodnego*, Wydawnictwo wipmifs, Częstochowa 2004, ISBN 83-87745-52-9
- [04] DRASTÍK, F., *Kovářství*, SNTL, Praha, 1963, ISBN 04-205-63
- [05] DRASTÍK, F., *Kovářské stroje a technologie kování*, SNTL, Praha, 1961
- [06] Kolektiv autorů, *Lisování a kování v ČSSR a SSSR*, SNTL, Praha, 1961
- [07] BRJUCHANOV, A.N., REBELSKIJ, A.V., *Zápusťkové kování – díl III*. SNTL, Praha, 1956
- [08] NAJUKOS, W., FABEL, D.C., *Forging handbook*, AMS, Cleveland, Ohio, 1948
- [09] SEMIATIN, S. L., *ASM handbook - Volume 14A, Metalworking: Bulk Forming*, Semiatin, S. L. © 2005; 2009 ASM International, ISBN 978-0-87170-708-6
- [10] Svaz kováren: ČR [www.skcr.org](http://www.skcr.org)
- [11] Časopis Kovárenství: <http://www.kovarenstvi.cz/>

## 2. PROTLAČOVÁNÍ



**Cíl:** Po prostudování této kapitoly budete umět:

- Orientovat se v sortimentu protlačovaných výrobků
- Popsat základní principy protlačování.
- Vysvětlit výhody a nevýhody protlačování



### Obsah kapitoly

|      |                               |    |
|------|-------------------------------|----|
| 2.1. | Úvod.....                     | 47 |
| 2.2. | Způsoby protlačování.....     | 48 |
| 2.3. | Technologie protlačování..... | 50 |
| 2.4. | Vítkovice cylinders, a.s..... | 51 |



**Čas ke studiu:** 2 hodiny



### Pojmy k zapamatování

Protlačování dopředné a zpětné, průtlačnice, matrice

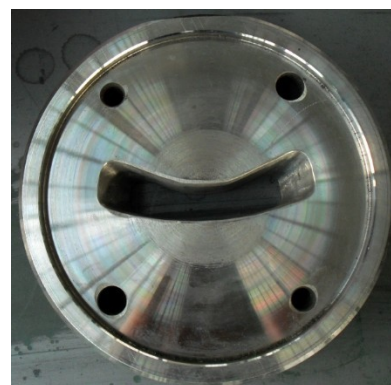


### Výklad

#### 2.1. Úvod

**Průtlačné lisování**, protlačování, je technologický proces, při němž kov, uzavřený v **průtlačnici** a vystavený všestrannému tlaku s různě velkými složkami tlakových napětí, je přiveden do plastického stavu, takže vytéká otvorem **matrice** (viz. **obr. 2.1.**), uzavírající průtlačnici, v požadovaném tvaru příčného průřezu hotového výrobku. Tímto způsobem lze vyrábět jak profilové tyče velmi složitých tvarů a obrysů, tak profilové tyče duté. Trubky kruhového průřezu, vyráběné výtlačným lisováním, patří podle principu výrobního procesu rovněž mezi duté profilové tyče, kde je využito technologie průtlačného lisování.

Protlačování má široké použití při výrobě zejména takových profilů, které nelze vzhledem ke složitosti průřezu vyrábět válcováním, tažením nebo zakružováním. Je velmi rozšířeno při tváření neželezných kovů, kde je možno tuto technologii využít pro jejich zpracování **za studena**. Ale používá se i pro zpracování ocelí a těžkovtavitelných slitin, kde se technologický proces uskutečňuje **za tepla**. Pro plastické vlastnosti vhodný stav napjatosti umožňuje zpracovávat i kovy a jejich slitiny za normálních podmínek křehké, které nelze ani kovat, ani válcovat, ani táhnout.

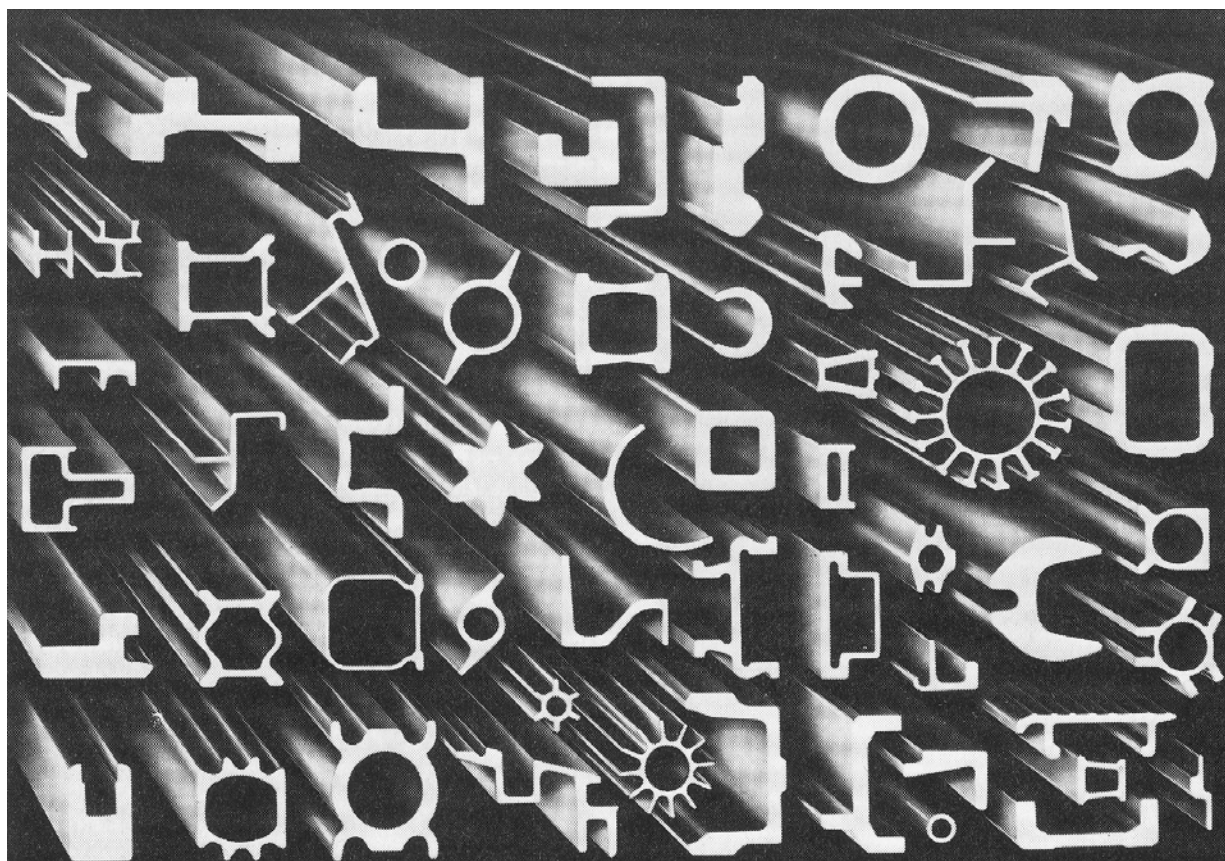


**Obr. 2.1.** Matrice



Stav napjatosti všestranného tlaku, příznivý pro plastické vlastnosti kovu, má za následek, že deformační odpor tvářeného materiálu je velký, a proto jsou příslušná výrobní zařízení, svislé nebo vodorovné protlačovací lisy, mohutné konstrukce. Pro protlačování ocelí se používají lisy o lisovací síle 300 až 120 000 kN.

Tvar profilových tyčí (viz. **obr. 2.2.**) při protlačování určuje tvar otvoru matrice, kterou lze snadno vyměňovat. Proto se protlačovací lisy hodí pro výrobu profilů v malých sériích, čímž se vhodně doplňuje i výrobní program válcovacích tratí a tažírén.



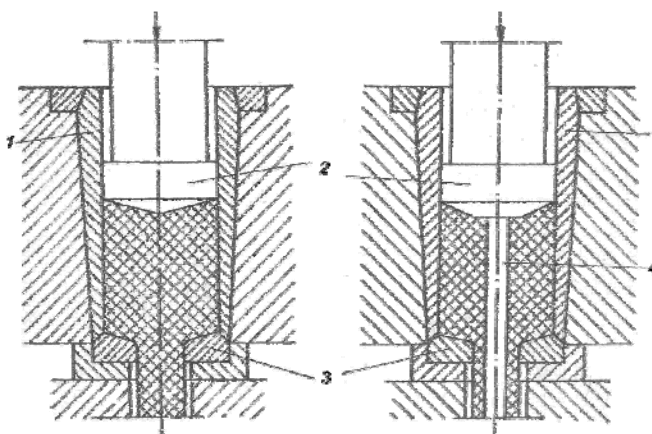
*Obr. 2.2. Průřezy protlačovaných profilů*

## 2.2. Způsoby protlačování

V technologické praxi se používají dva základní způsoby průtlačného lisování kovů: **dopředně protlačování** a **zpětné protlačování**. Ale používá se i kombinace obou způsobů. Uspořádání lisů pro dopředně protlačování umožňuje výrobu profilových tyčí větší délky, než je tomu u lisů pro zpětné protlačování.

### Dopředné protlačování

Princip protlačování plných tyčí je patrný z **obr. 2.3. vlevo**. Špalek kruhového průřezu, vložený do průtlačnice 1, se průtlačníkem 2 nejdříve napěchuje tak, aby průtlačnici zcela vyplnil. Při dalším pohybu průtlačníku je kov vystaven všestrannému tlaku s největší napětovou tlakovou složkou v osovém směru, uvede se do plastického stavu a je vytlačován otvorem matrice 3 jako plná profilová tyč ve směru pohybu průtlačníku.



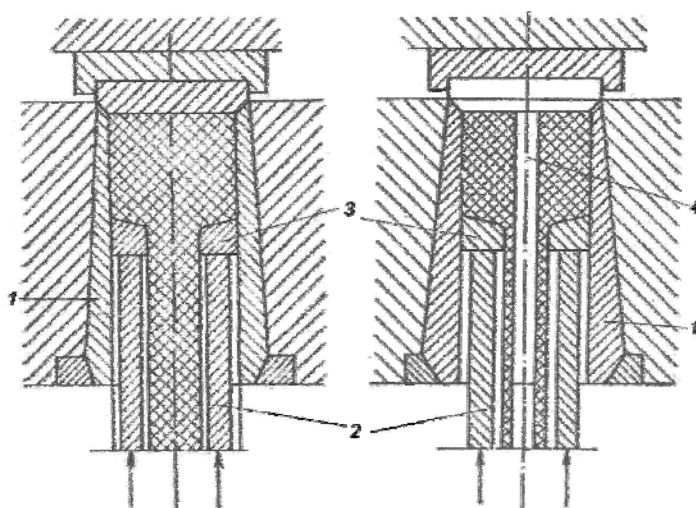
**Obr. 2.3.** Schéma dopředného protlačování, **vlevo** plných tyčí, **vpravo** dutých tyčí

Při výrobě duté profilové tyče (viz. **obr. 2.3. vpravo**), např. trubky, se napěchovaný špalek nejdříve vyděruje trnem 4, který prochází průtlačníkem 2, přičemž se tento trn zastaví v takové poloze, že mezi ním a obrysem pevné matrice 3 je mezera, kterou kov při dalším pohybu průtlačníku vytéká jako dutá profilová tyč.

U těžkovytvářitelných kovů a slitin, např. u vysokolegovaných austenitických ocelí, se výchozí špalek vyděruje předem (na samostatném lisu nebo vyvrtáním) a po ohřátí se dále zpracuje na protlačovacím lisu. Trn procházející průtlačníkem a matricí vymezuje jen vnitřní obrys profilové tyče.

### Zpětné protlačování

Princip zpětného protlačování je na **obr. 2.4. vlevo**, který znázorňuje protlačování plných tyčí. Výchozí materiál, opět kruhového průřezu, vložený do průtlačnice 1, je vystaven tlaku od průtlačníku 2, který působí na pohyblivou matrici 3. Tímto tlakem se kov vytlačuje matricí proti směru pohybu průtlačníku.



**Obr. 2.4..** Schéma zpětného protlačování, **vlevo** plných tyčí, **vpravo** dutých tyčí

Zpětným protlačováním lze též vyrábět duté profilové tyče (viz. **obr. 2.32 vpravo**). Princip je znázorněn na pravém obrázku. Proti zpětnému protlačování plných tyčí je u dutých tyčí nutný ještě trn 4, který vytváří vnitřní obrys dutiny tyče.



### 2.3. Technologie protlačování

Průtlačné lisování je technologie vyznačující se tím, že se **kov tváří jednou operací** při níž dochází k **velké deformaci průřezu**. Proto je zapotřebí určovat stupeň deformace formou přirozeného logaritmu poměru průřezové plochy výchozího materiálu (špalku) a průřezové plochy výlisku. Z kontinuity toku pak plyne, že číselná hodnota poměru obou průřezových ploch odpovídá poměru rychlostí výběhu kovu z matrice k rychlosti posuvu průtlačníku. Z hlediska průběhu rychlostí po celou dobu pracovního zdvihu lisu jsou výhodnější lisy hydraulické (jsou to lisy vodorovné), u nichž lze rychlost během zdvihu regulovat a udržovat na potřebné velikosti. U mechanických lisů, které mají klikový pohybový mechanismus, nelze rychlost regulovat a tato rychlost ke konci zdvihu klesá až na nulu.

Při protlačování se musí překonávat nejen značně **velký deformační odpor** tvářeného kovu, ale též velký **odpor vnějšího tření** mezi tvářeným kovem a průtlačnicí, popř. mezi tvářeným kovem a vnitřním trnem. V tomto směru jsou méně příznivé poměry u dopředného protlačování, protože se celý objem tvářeného kovu po celé své délce tře po stěně průtlačnice. Při zpětném protlačování je tento odpor tření podstatně menší, neboť téměř na celé délce výchozího špalku (až na poměrně krátkou délku poblíž matrice) nedochází ke vzájemnému posuvu tvářeného kovu a průtlačnice. Tomuto vlivu vnějšího tření na stěně průtlačnice odpovídá průběh velikosti lisovací síly. Při dopředném protlačování je tato síla na počátku vlastního pracovního zdvihu, kdy kov začíná z matrice vytékat, největší a větší než u zpětného protlačování. Ale pak se během zdvihu zmenšuje až na nějakou nejmenší hodnotu ke konci zdvihu. Při zpětném protlačování má protlačovací síla přibližně velikost rovnou uvedené nejmenší hodnotě a je po celou délku zdvihu stejně velká.

Aby se mohl proces protlačování ocelí za tepla uskutečnit, je nutné dokonalé **mazání třecích ploch**. Jako mazivo se používá sklo vhodného chemického složení, které se před lisováním nanáší jako prášek nebo skelná vata a při protlačovací operaci se roztaví. S tím je ovšem spojena nutnost odstranit ztuhlou sklovitou kůru na hotovém výlisku.

Při protlačování neželezných kovů a jejich slitin, které se dělá ponejvíce za studena, není otázka vnějšího tření tak závažná, neboť není třeba používat maziva vzdorujícího vysokým teplotám. Mnohdy se vede technologický proces tak, že se pracuje s průtlačníkem, který má průměr o 2 až 4 mm menší, než je průměr průtlačnice. Při protlačování vniká do mezery mezi průtlačníkem a průtlačnicí tvářený kov, takže se oba nástroje nedotýkají a vrstva tvářeného kovu se uplatňuje jako mazivo (lisování „na košilku“).

Technologie průtlačného lisování se vyznačuje značnou **nerovnoměrností deformace** po délce i po příčném průřezu výlisku. Tuto nerovnoměrnost, s níž je spojena i nerovnoměrnost mechanických vlastností, zvyšuje tření. Nerovnoměrnost deformace, a tím i nerovnoměrnost mechanických vlastností, se zmenšuje se stupněm deformace. Při větším stupni deformace je protváření kovu lepší. Proto v těch případech, kdy se průtlačným lisováním vyrábějí hotové profily, má být číselná hodnota stupně deformace alespoň 10. Při výrobě výlisků jako polotovarů pro další zpracování, jak je tomu např. u ocelových trubek, které jsou určeny k tažení nebo válcování za studena, může být číselná hodnota stupně deformace menší, a to nejméně 5.



**CD-ROM**

68 Technologie protlačování hliníku

69 Technologie protlačování oceli za tepla

**2.4. Vítkovice cylinders, a.s.**

Vítkovice cylinders, a.s., je jeden z největších světových výrobců bezešvých ocelových láhví, významný producent tlakových nádrží, vysokotlakých akumulátorů, mlecích koulí a dodavatel plnicích stanic na zemní plyn. Společnost je významným členem VÍTKOVICE MACHINERY GROUP.

**Historie firmy**

**Historie výroby vysokotlakých ocelových láhví** se ve Vítkovicích traduje již od roku 1906 kde se původně ocelové lahve pro stlačené plyny vyráběly ve válcovně trub z bezešvých trubek. V té době byly vyráběny lahve určené pro stlačené a lehké plyny.

**V roce 1927** byl oproti předchozímu roku zaznamenán trojnásobný odbyt ocelových láhví a v následujícím roce vzrostl opět téměř třiapůlkrát. Vyrábělo se na jednom lisu, a to 300 lahví měsíčně. Lahve se vyráběly z bezešvých ocelových trubek válcovaných Mannesmannovým způsobem a měly provozní tlak 125 – 150 atm, resp. zkušební tlak 190 – 225 atm, vodní objem 1-50 l a 0,125-7,500 m<sup>3</sup> plynu.

Zakování den a hrdel se provádělo v kovárně, tepelné zpracování v nástrojárně, opracování, zkoušení a montáž v mechanických dílnách. **V roce 1938** byly fáze opracování, zkoušení a montáž ocelových lahví umístěny v malostrojárně. **V polovině roku 1942** byla dokončena nová kovárna náradí a stará adaptována na kovárnu lahví – zahájena sériová výroba.

**V letech 1931-33** bylo vyrobeno 2 400 lahví pro Japonsko a **během 2. světové války** byly lahve vyváženy do Dánska, Finska, Holandska, Itálie, Chorvatska, Rumunska, Švédska, Slovenska, Bulharska. Přesto největší odbytiště pro ocelové lahve **v 30. a 40. letech** představovalo tuzemsko.

**V roce 1943** bylo instalováno výrobní zařízení s cílem zvýšit měsíční výrobu z 6 000 na 9000 ks lahví. Kovárna náradí byla rozšířena o zušlechťovací zařízení pro ocelové lahve a byla také zprovozněna pec na lahve. **V roce 1944** byla výroba ocelových láhví značně zracionalizována. Byla postavena zkušebna ocelových lahví ve strojárně a výrobní kapacita činila 7 500 ks měsíčně.

Při náletu amerických bombardérů **v srpnu 1944** byla dílna na ocelové lahve v malostrojárně zasažena bombardováním a výroba zastavena na déle než měsíc. Po obnovení výroby, byly dány do provozu poloautomaty a speciální soustruhy na opracování lahví, zhotovené ve vlastní režii. **V lednu 1946** byly uvedeny do provozu žíhací pece v bývalé bombárně, na nichž se žíhaly lahve.

Až **do roku 1956** nebyla výroba lahví koncentrována, což s sebou neslo zvýšené náklady na dopravu z jedné haly do druhé.

Po výstavbě lahvárny **v roce 1956** se výroba soustředila do jednoho střediska, současně byla mechanizována doprava při opracování a zkoušení lahví a doplněno strojní zařízení (poloautomaty Wirth, tryskačí zařízení pro odstranění okují apod.). **V roce 1981** proběhla



rekonstrukce haly kalírny a **v letech 1988 – 1992** komplexní modernizace výroby ocelových láhví na 200 barů.

**V roce 1995** se stala společnost VÍTKOVICE Lahvárna, spol. s r.o. dceřinnou společností společnosti VÍTKOVICE a.s. **V roce 1996** byla zahájena sériová výroba třístabarových ocelových láhví. Společnost VÍTKOVICE Lahvárna, spol. s r.o. byla **v roce 1999** privatizována a transformována společností Lahvárna Ostrava a.s. na akciovou společnost VÍTKOVICE Lahvárna a.s. **Na sklonku roku 2002** se společnosti podařilo vyrobit osmimilionovou ocelovou láhev. Významným obdobím bylo **září roku 2003**, kdy se společnost VÍTKOVICE Lahvárna a.s. navrátila pod společnou značku VÍTKOVICE.

**V srpnu roku 2005 byla společnost přejmenována na stávající název VÍTKOVICE CYLINDERS a.s.**

**V prosinci 2008** byla otevřena **unikátní linka na výrobu ocelových tlakových lahví**, které jsou vyráběny metodou **zpětného protlačování**. Tato výrobní technologie nebyla dosud nikde ve světě použita u tak velkých průměrů ocelových nádrží.

#### **Bezešvé vysokotlaké ocelové nádoby**

Produkce bezešvých vysokotlakých ocelových nádob pro přepravu a skladování technických plynů pro využití v průmyslu, stavebnictví, zdravotnictví, potravinářství a hasicí technice. Tyto ocelové láhve se dále využívají i jako hlavní části dýchacích přístrojů. V posledních letech se začali dodávat rovněž ocelové nádoby jako nádrže na stlačený zemní plyn (CNG) pro pohon vozidel a tlakové zásobníky pro plnicí stanice na stlačený zemní plyn. Jako jediní z výrobců používají unikátní technologii výroby zpětného protlačování pro průměry láhví až 406 mm. V současnosti disponují nejmodernějším plně automatizovaným a robotizovaným technologickým zařízením, které umožňuje vyrábět ocelové láhve špičkové světové úrovně. Všechny produkty se vyrábí na dvou technologických linkách (výroba protlačováním, výroba z trubek), roční produkce přes 500 000 ocelových lahví. Díky vyspělé technologii a kvalifikovaným zaměstnancům lze zaručit vynikající koeficient váhy láhví, jež činí 0,9 kg na 1 litr vodního objemu.

Využití pro svařování, řezání plamenem, strojírenství a v řadě dalších oblastech. Vodní objem 0,8-140 litrů, pracovní tlak 200-350 bar.

Tlakové nádoby a nádrže vodního objemu jsou převážně používány ke stacionárnímu skladování stlačených plynů. Vodní objem 150- 500 litrů, pracovní tlaky od 100 do 300 bar.

Tělesa vysokotlakých akumulátorových plášťů jsou tradičním výrobkem společnosti a nachází široké využití především v hydraulických tlakových systémech. Vodní objem 0,5-200 litrů, pracovní tlaky do 600 bar.

#### **Výroba ocelových lahví a nádob na plyny**

V současné době disponuje společnost VÍTKOVICE CYLINDERS a.s. dvěma moderními výrobními technologiemi (výroba lahví z trubek a zpětným protlačováním), pro které byly vybudovány výrobní linky s velkým podílem automatizace a robotizace. Od roku 1992 je v provozu výrobní linka na tlakové ocelové láhve od  $\varnothing 140$  mm a od roku 1997 je postupně budována zcela nová výrobní linka na ocelové láhve do  $\varnothing 140$  mm. V roce 2008 byla

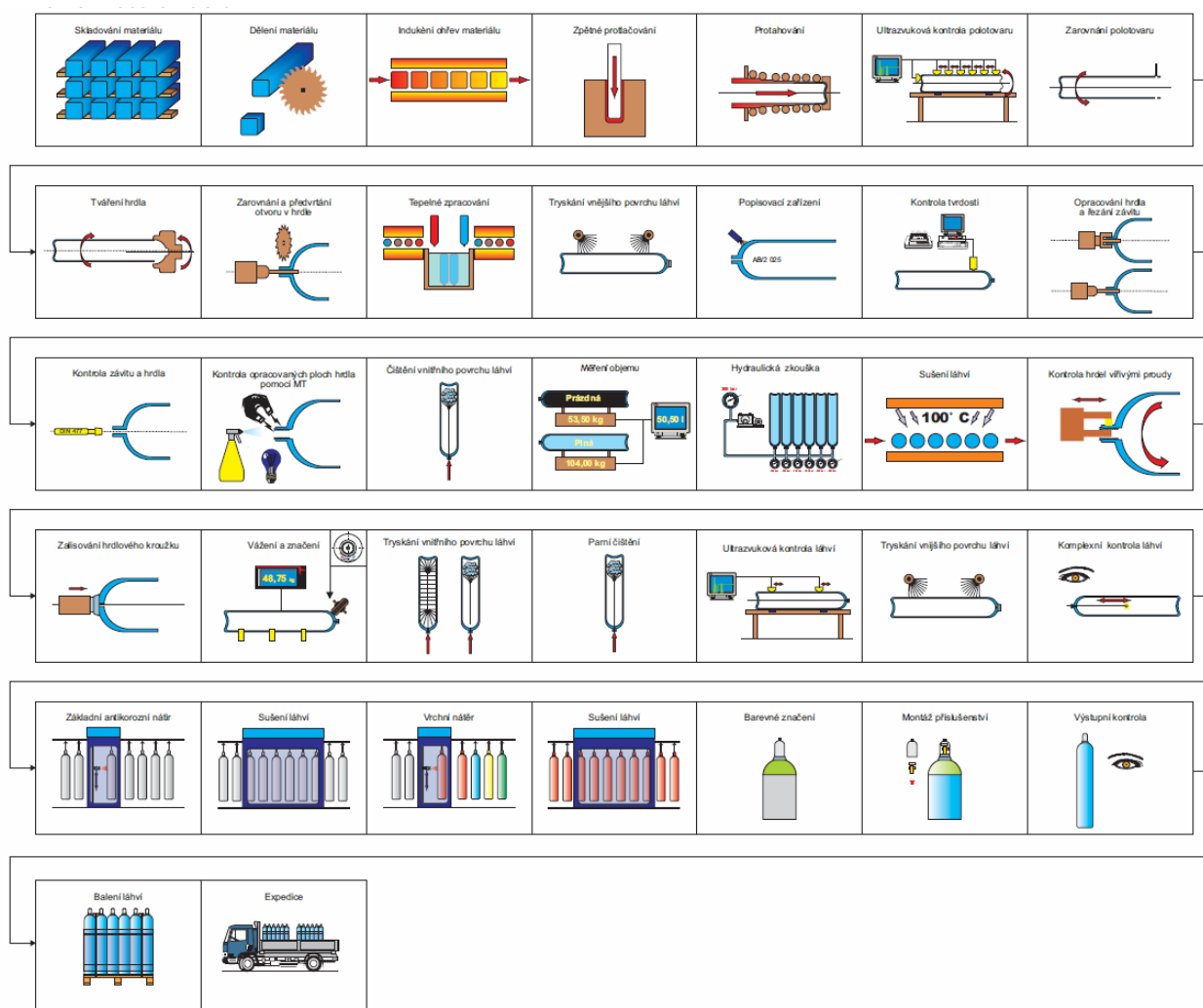
otevřena unikátní výrobní linka na výrobu ocelových láhví až do  $\varnothing$  406 mm. U této linky jako jediní na světě používají technologii zpětného protlačování pro průměry do  $\varnothing$  360 mm.

### *Výroba ocelových tlakových lahví protlačováním*

Výroba ocelových tlakových lahví se uskutečňuje metodou zpětného protlačování a protahování za tepla, kdy se jako vstupní materiál používá válcovaný sochor. Jedná se o špičkovou technologii výroby zajišťující produkci vysoce jakostních tlakových lahví o nízké hmotnosti. Pro uzavření polotovaru a tvorbu hrdla je používána speciální technologie rotačního tváření, která byla vyvinuta technologií společnosti VÍTKOVICE. Po tváření za tepla a tepelném zpracování na jakost s automatickou kontrolou tvrdosti následuje strojírenské zpracování a zkoušení. Na **obr. 2.5.** je schéma technologického toku výroby - provoz 1. Hlavní výrobní agregáty pro výrobu jsou zachyceny na **obr. 2.6.** na tomto obrázku můžeme vpravo vidět hydraulický lis, na kterém se zpětným protlačováním vyrobí polotovar (tzv. hrnec), který se dále **dopředným** protlačováním na vodorovném lise protlačuje na láhev na **obr. 2.6.** uprostřed.



**Obr. 2.5.** Výroba ocelových lahví protlačováním



**Obr. 2.6.** Postup výroby bezešvých lahví protlačováním

### Výroba ocelových bezešvých tlakových lahví z trubek

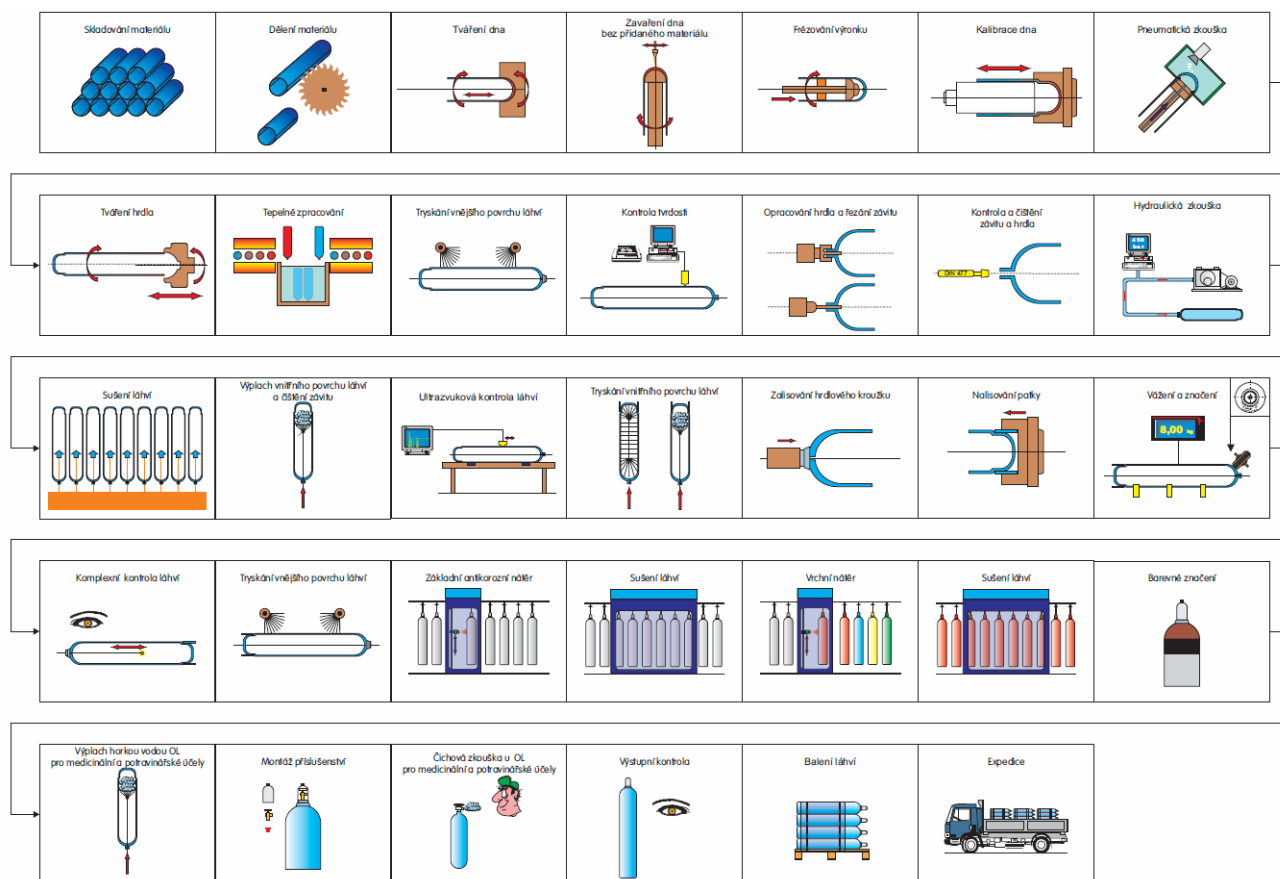
Je to technologie výroby lahví z bezešvých trubek. Pro uzavírání trubkového konce – dna je používána tradiční metoda rotačního kování s přídavným ohřevem v průběhu uzavírání. Pro uzavírání druhého konce – hrdla je používána speciální technologie rotačního kování, která byla vyvinuta technologií společnosti Vítkovice Cylinders, a. s. Při výrobě ocelových lahví na nové lince kde se vyrábějí ocelové láhve do  $\varnothing 140$  mm je pak pro uzavírání trubkového konce (dna) používáno



**Obr. 2.7.** Výroba lahví z trubek . výrobní linka

nové moderní zcela automatizované pracoviště. Celá linka je plně automatizovaná (viz. **obr. 2.7.**).

Po tváření za tepla a tepelném zpracování na jakost s automatickou kontrolou tvrdosti následuje strojírenské zpracování a zkoušení. Na **obr. 2.8.** je schéma technologického toku výroby - provoz 2.



**Obr. 2.8.** Postup výroby bezešvých lahví z trubek

### Ocelové mlecí koule

Využité při zpracování (mletí) rud, písku, cementu, uhlí a dalších materiálů v těžebním, stavebním, energetickém a dalších průmyslech.

Vítkovice Cylinders, a. s. je výrobcem ocelových mlecích koulí s dlouholetou tradicí (výroba nepřetržitě od roku 1961). V letech 1997-1998 prošel celý výrobní proces komplexní modernizací a doplněním výrobní technologie.

Spojení kvalitní oceli a vysoké objemové tvrdosti mlecích koulí garantují **nízké hodnoty opotřebení** při mletí. Proces tepelného zpracování je popsán technologicky tak detailně, že každá mlecí koule je rovnoměrně prokalena a má tak ty nejlepší mechanické vlastnosti.

V současnosti jsou mlecí koule druhým nejvýznamnějším výrobním artiklem společnosti nabízí se v následujících **průměrech**: 16 až 120 mm a standardech **tvrdosti** (příp. upravené na zvláštní požadavek zákazníka):



- 240-360 HB
- 421-596 HV (42-55 HRC)
- 597-830 HV (56-65 HRC)

### *Technologie výroby*

#### *Kontrola vstupního materiálu*

Jako vstupní materiál se používají kruhové tyče, které před vstupem do výrobního procesu procházejí přísnou vstupní kontrolou. Samozřejmostí je identifikace každého svazku.

#### *Ohřev vstupního materiálu*

Ohřev vstupního materiálu probíhá v moderní krokové peci, která zaručuje přesnou teplotu tyčí na výstupu. Teplota tyčí na výstupu je jeden z nejdůležitějších faktorů ovlivňující výslednou tvrdost mlecích koulí při přímém kalení z válcovací teploty.

#### *Válcování mlecích koulí*

K válcování mlecích koulí jsou k dispozici dvě válcovací stolice. Na menší, nové stolici se válcují mlecí koule  $D$  16, 20, 25, 30, 35, 40, 50 a 60 mm (viz. **obr. 2.9**. výstupní strana stolice, díky dlouhému expozičnímu času, je vypadávající koule rozmazaná), na větší  $D$  30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 a 100 mm. Přepřacováním a zdokonalením používaného nářadí se u těchto dvou stolic dosahuje nejvyšší možné kvality povrchů mlecích koulí.

#### *Tepelné zpracování*

Proces tepelného zpracování mlecích koulí na požadovanou tvrdost probíhá v moderní peci ve spojení s velkokapacitní kalicí nádobou. Detailně propracovaným know-how na tepelné zpracování je zaručeno dosahování té nejvyšší tvrdosti, popř. přesného rozmezí tvrdosti dle požadavků zákazníka.



**Obr. 2.9.** Válcovací stolice pro válcování mlecích koulí

*Kontrola mlecích koulí*

Z každé výrobní dávky je v průběhu výrobního procesu odebírán stanovený počet mlecích koulí. U každé koule pak probíhá důsledné měření povrchové a objemové tvrdosti. U řezaných koulí se rovněž naleptáním zkoumá metalografická struktura materiálu.

*Balení mlecích koulí (viz. obr. 2.10.)*

Mlecí koule jsou baleny dle požadavků zákazníků. nabízíme balení v ocelových sudech na paletách nebo bez palet, balení ve velkoobjemových vacích s nosností až 2 000 kg, nebo i mlecí koule volně ložené bez balení.



**Obr. 2.10.** Balení mlecích koulí

## Σ Shrnutí

Protlačování je technologie, při které je kov uzavřen v průtlačnici a je přiveden průtlačníkem do plastického stavu, takže vytéká otvorem matrice. Díky všestrannému tlaku je tak možno vyrábět tyče velmi složitých průřezů a top jednou tvářecí operací. Díky tomu se však zvyšuje deformační odpor kovu a tím i energosilové podmínky tváření, proto je zapotřebí lisů o síle až 120 MN. Běžně se používají dva způsoby protlačování: dopředné a zpětné. Zpětné protlačování je silově méně náročné než dopředné. V obou případech je potřeba zajistit dostatečné mazání stykových ploch. Protože je při protlačování vlivem tření značná nerovnoměrnost deformace, musí se pro hotové profily tvářet se součinitelem deformace min. 10.



## Otázky 2

- 2.4.1) Jaký je stav napjatosti při protlačování? Jaké z toho plynou důsledky?
- 2.4.2) K čemu se nejčastěji používá průtlačné lisování?
- 2.4.3) Jaké znáte způsoby protlačování?
- 2.4.4) Nakreslete schéma dopředného protlačování plných tyčí.
- 2.4.5) Nakreslete schéma zpětného protlačování plných tyčí.
- 2.4.6) Proč se pro určení stupně deformace při protlačování výlučně používá skutečná deformace?
- 2.4.7) Při jakém způsobu protlačování je nejnižší tření?
- 2.4.8) Proč je deformační odpor při protlačování větší než při jiných technologiích tváření?
- 2.4.9) Jaké maziva se používají při protlačování za tepla?
- 2.4.10) Co je to „lisování na košilku“?
- 2.4.11) Popište výrobu tlakových ocelových lahví protlačováním?



## Otázky 2

2.4.12) Popište výrobu tlakových ocelových lahví z trubek?

2.4.13) Co je to tzv. „hrnec“ při výrobě lahví?



## Další zdroje

- [01] ŽÍDEK, M., DĚDEK, V., SOMMER, B., *Tváření oceli*. SNTL, Praha 1988, ISBN 04-408-88
- [02] FELDMANN, H.D., *Protlačování oceli*, SNTL, Praha, 1962, ISBN 04-266-62
- [03] VÍTKOVICE CYLINDERS a.s., [www.vitkovicecylinders.cz/](http://www.vitkovicecylinders.cz/)

### 3. TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ



**Cíl:** Po prostudování této kapitoly budete umět:

- budete seznámeni se základními rozděleními tepelného zpracování,
- si připomenete základní informace o stavbě a chování oceli,
- seznámíte se s mechanismem přeměny přechlazeného austenitu,
- budete rozumět transformačním diagramům a budete vědět co ovlivňuje polohu křivek počátku a konce fázových transformací,
- připomenete si produkty přeměny nepřechlazeného austenitu
- seznámíte se s jednotlivými typy žíhání a popouštění a s jejich fyzikální podstatou.



#### Obsah kapitoly

|                          |                                                        |    |
|--------------------------|--------------------------------------------------------|----|
| 3.1.                     | Základy tepelného zpracování .....                     | 59 |
| <input type="checkbox"/> | Čisté železo .....                                     | 60 |
| <input type="checkbox"/> | Uhlík v železe .....                                   | 60 |
| <input type="checkbox"/> | Charakteristika oceli .....                            | 61 |
| <input type="checkbox"/> | Rovnovážný diagram slitin Fe – Fe <sub>3</sub> C ..... | 62 |
| 3.2.                     | Struktura ocelí při rychlém ochlazování .....          | 59 |
| <input type="checkbox"/> | Martenzitická přeměna .....                            | 59 |
| <input type="checkbox"/> | Bainitická přeměna .....                               | 60 |
| 3.3.                     | Transformační diagramy .....                           | 61 |
| <input type="checkbox"/> | Izotermické transformační diagramy .....               | 62 |
| <input type="checkbox"/> | Anizotermické transformační diagramy .....             | 62 |
| 3.4.                     | Žíhání .....                                           | 64 |
| <input type="checkbox"/> | Žíhání bez překrystalizace .....                       | 65 |
| <input type="checkbox"/> | Žíhání s překrystalizací .....                         | 69 |
| 3.5.                     | Popouštění .....                                       | 71 |
| <input type="checkbox"/> | Přeměny při popouštění .....                           | 72 |
| <input type="checkbox"/> | Rozdělení popouštění .....                             | 73 |
| <input type="checkbox"/> | Popouštěcí křehkost .....                              | 73 |
| 3.6.                     | Základní rozdělení žíhacích pecí .....                 | 74 |

#### 3.1. Základy tepelného zpracování



**Čas ke studiu:** 1 hodina



#### Pojmy k zapamatování

Žíhání, kalení, popouštění, povrchové kalení



#### Výklad

Tepelné zpracování je podle ČSN 42 0004 proces, při němž je předmět nebo jeho část v tuhém stavu podroben jednomu nebo více tepelným cyklům za účelem dosažení požadovaných



vlastností materiálu. Každý postup tepelného zpracování má 3 části: ohřev na teplotu, výdrž na teplotě a ochlazování. Postupy tepelného zpracování se obvykle zobrazují v souřadnicích teplota - čas.

Hlavním činitelem, který ovlivňuje vlastnosti oceli při tepelném zpracování je teplota.

Strukturní přeměny, které nastávají při ohřevu a ochlazování oceli během tepelného zpracování se řídí v podstatě rovnovážným diagramem Fe - Fe<sub>3</sub>C.

Postupy tepelného zpracování lze rozčlenit podle, teploty procesu a účelu použití viz. **tabulka 3.1.**

**Tabulka 3.1. Rozdělení postupů tepelného zpracování (TZ)**

|                  |                                                 |                                  |
|------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------|
| Žihání           | bez překrystalizace                             | ke snížení pnutí                 |
|                  |                                                 | rekrytalizační                   |
|                  |                                                 | na měkko                         |
|                  |                                                 | protivločkové                    |
|                  |                                                 | k odstranění křehkosti po moření |
|                  | s překrystalizací                               | normalizační                     |
|                  | kombinované                                     | homogenizační                    |
|                  |                                                 | izotermické                      |
| Kalení           | přímé                                           |                                  |
|                  | přerušované                                     |                                  |
|                  | termální                                        |                                  |
|                  | izotermické, izotermické zušlechťování          |                                  |
| Popouštění       | napouštění, zušlechťování (kalení + popouštění) |                                  |
| Povrchové kalení | plamenem, indukci                               |                                  |

## ❑ Čisté železo

Železo má atomové číslo 26, atomovou hmotnost 55,85 a existuje ve dvou alotropických modifikacích.

Modifikace  $\gamma$  s krychlovou plošně středěnou mřížkou je stálá při teplotách 910 a 1392 °C.

Druhá alotropická modifikace železa, která má krychlovou prostorově středěnou mřížku, je stálá jednak pod teplotou 910 °C a jednak nad teplotou 1392 °C až k teplotě tání 1539 °C. V nízkoteplotní oblasti dostává železo označení  $\alpha$  ve vysokoteplotní oblasti železo  $\delta$ . Ukázalo se, že jde o jednu modifikaci a obě její oblasti stability se mohou vlivem některých přísad spojit v jednu souvislou oblast.

Na křivce ohřevu a ochlazování v závislosti na čase se projevují přeměny alotropické modifikace čistého kovu výraznou prodlevou. Jedná se přeměny  $\alpha \rightarrow \gamma$  při teplotě A<sub>3</sub> a  $\gamma \rightarrow \delta$  při teplotě A<sub>4</sub>. Při první přeměně se zmenší objem vzhledem k těsnějšímu uspořádání atomů v mřížce železa  $\gamma$ , než u železa  $\alpha$ . Při druhé přeměně dochází naopak ke zvětšení objemu.

S uhlíkem a mnoha dalšími prvky tvoří železo tuhé roztoky v jedné nebo v obou modifikacích. Tím se často významně ovlivňují některé vlastnosti železa i teploty přeměn.

## ❑ Uhlík v železe

Rozpustnost uhlíku v železe závisí na modifikaci a teplotě. V modifikaci  $\alpha$  se uhlík rozpouští jen zcela nepatrně, kdežto v modifikaci  $\gamma$  se může rozpustit až 2,11 % uhlíku. Podle současných znalostí je rozpustnost uhlíku v modifikaci  $\alpha$  při 727 °C jen 0,02 %. S klesající teplotou se rozpustnost uhlíku rychle zmenšuje a již asi při 500 °C klesne na 0,004 % a při 20 °C je řádově asi 10<sup>-7</sup> % Tuhý roztok uhlíku v modifikaci  $\alpha$  je označován jako *ferit* a. Rozpustnost

uhlíku ve vysokoteplotní modifikaci  $\delta$  je sice větší, nepřesáhne však hodnotu 0,10% při teplotě 1499 °C. Tento tuhý roztok je označován jako ferit  $\delta$ .

Příčinou značně rozdílné rozpustnosti uhlíku v modifikacích  $\alpha$  a  $\gamma$  je různý typ krystalové mřížky. V mřížce železa  $\gamma$  jsou i přes těsnější uspořádání atomů větší volné prostory, takže se v nich může umístit poměrně malý atom uhlíku s atomovým poloměrem  $0,77 \cdot 10^{-10}$  m, kdežto do volných prostorů mřížky železa  $\alpha$  nebo  $\delta$  se atom uhlíku nevejde.

Při větším obsahu uhlíku, než odpovídá hranici rozpustnosti, vzniká při dané teplotě nová fáze - sloučenina  $\text{Fe}_3\text{C}$ , karbid železa, který má metalografické pojmenování *cementit*. Krystalizuje ortorombicky, má teplotu tavení asi 1 380 °C a nemá žádné alotropické modifikace. Za teploty 217 °C ztrácí svoje slabé magnetické vlastnosti. Cementit je velmi tvrdou a křehkou intermediární fází, jejíž přítomnost ve struktuře slitin železa výrazně zvětšuje pevnost, současně však zmenšuje houževnatost. Tvrdost cementitu je kolem 700 až 800 HV.

Kromě tohoto typu karbidu mohou existovat i další karbidy železa  $\text{Fe}_{2,4}\text{C}$  a  $\text{FeC}$ , které se objevují jako přechodné fáze při popouštění zakalené oceli.

Atomy uhlíku v cementitu mohou být nahrazeny jinými vhodnými prvky o malém atomovém poloměru, jako jsou např. dusík, vodík, bór. Stejně tak mohou být nahrazeny atomy železa jinými prvky o nepříliš odlišném atomovém poloměru, než má železo, např. manganem, chromem. Vznikají tak *komplexní karbidy*. Přitom atomy železa mohou být nahrazeny manganem v každém poměru, vzniká karbid  $(\text{Fe},\text{Mn})_3\text{C}$ , chromem asi do 10 %, vzniká karbid  $(\text{Fe},\text{Cr})_3\text{C}$  a v poměrně malém podílu (pod 5 %) vanadem, wolframem. Všeobecně lze říci, že náhrada železa v cementitu jiným prvkem je tím obtížnější, čím je poloměr atomu přísadového prvku odchylnější od atomového poloměru železa.

## □ Charakteristika oceli

Ocel je slitina železa s uhlíkem a doprovodnými prvky. Vyrábí se většinou zkujňováním surového železa vyrobeného ve vysoké peci. Podstatou zkujňování je snižování obsahu uhlíku a odstraňování příměsí surového železa okysličováním.

Kromě uhlíku, který má rozhodující vliv na vlastnosti slitiny železa, uplatňují se zde často významnou měrou i další prvky. Některé z nich jsou přítomny vždy v ocelích a litinách ve větším či menším množství, které souvisí s použitými surovinami a výrobním pochodem. Říkáme jim doprovodné prvky. Další prvky do oceli a litiny přidáváme, abychom žádaným způsobem upravili jejich vlastnosti. To jsou tzv. přísadové neboli slitinové (legující) prvky. Doprovodné prvky obvykle dále dělíme na škodlivé čili nečistoty a na prospěšné, kterými v průběhu výrobního pochodu vážeme nebo odstraňujeme větší část nečistot tak, aby se jejich škodlivé působení udrželo v přípustných mezích.

Prvky, vyskytující se nejčastěji v oceli, můžeme do zmíněných skupin rozdělit takto:

- a) doprovodné - škodlivé - S, O, P, N, H,  
- prospěšné - Mn, Si, Al, (Cu);
- b) slitinové - Cr, Ni, Si, Mo, W, V, Al, Nb, (Cu).

Je možno říci, že každá ocel, i nejjednodušší uhlíková, obsahuje řadu prvků a je vlastně složitou soustavou. Hranici, od které má být ocel posuzována jako slitinová je podle ČSN 42 0002 pro jednotlivé prvky následující: Mn - 0,9 %, Si - 0,5 %, Cr - 0,3 %, Mo - 0,1 %, Ni - 0,2 %, V - 0,1 %, W - 0,1 %, Ti - 0,1 %.

### □ Rovnovážný diagram slitin Fe – Fe<sub>3</sub>C

V železe může být uhlík obsažen jako složka tuhého roztoku, jako grafit nebo jako karbid železa Fe<sub>3</sub>C, který obsahuje 6,67 % C.

Stabilní soustavu tvoří rovnovážný diagram železo - grafit, metastabilní soustavu železo - karbid železa (**obr. 3.1.**). Větší význam má metastabilní soustava.

Strukturní složky slitin železo - uhlík jsou:

**austenit** - tuhý roztok uhlíku v železu  $\gamma$ ; kromě uhlíku se v austenitu rozpouštějí i jiné legující prvky, austenit je nemagnetický, velmi houževnatý a tvárný;

**cementit** - karbid železa Fe<sub>3</sub>C - na likvidu CD se vylučuje z taveniny primární cementit, na čáře ES z austenitu sekundární cementit a na čáře PQ z železa a terciární cementit; cementit je tvrdý, křehký a otěruvzdorný;

**ledeburit** - eutektikum se 4,3 % C se vylučuje v bodě C při 1147 °C; v oblasti mezi 1147 a 723 °C se skládá ze směsi austenitu s 2 % C a cementitu a pod 723 °C z perlitu a cementitu;

**ferit** - železo  $\alpha$  je téměř bez uhlíku, největší rozpustnost činí 0,025 % C; je měkký a tvárný a do teploty 768 °C magnetický;

**perlit** - eutektoid s 0,8 % C se vylučuje v bodě S při 723 °C; skládá se ze směsi feritu a cementitu. Tvrdost perlitu závisí na jeho tvaru a je u lamelárního perlitu 190 až 220 HV a u zrnitého globulárního perlitu 160 až 190 HV.;

**železo  $\delta$**  - obsahuje v rozmezí 1390 - 1534 °C nejvýše 0,10 % C, je nemagnetické; je to vlastně železo  $\alpha$ .

**Tabulka 3.2** Označení překrystalizačních teplot

|                   |                                                                                                           |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A                 | označení teplot přeměny,                                                                                  |
| A <sub>c</sub>    | označení teplot přeměny při ohřevu,                                                                       |
| A <sub>r</sub>    | označení teplot přeměny při ochlazování,                                                                  |
| A <sub>1</sub>    | rovnovážná teplota perlitické přeměny (čára PSK),                                                         |
| A <sub>2</sub>    | rovnovážná teplota, při níž ferit mění své feromagnetické vlastnosti (čára MO), Curieův bod,              |
| A <sub>3</sub>    | teplota udávající horní hranici rovnovážné oblasti ferit - austenit (čára GOS),                           |
| A <sub>cm</sub>   | teplota udávající horní hranici rovnovážné oblasti (austenit + sekundární cementit) - austenit (čára SE), |
| A <sub>c1</sub>   | teplota, při níž se při ohřevu přeměňuje perlit a začíná přeměňovat ferit v austenit (čára PSK),          |
| A <sub>c3</sub>   | teplota, při níž je při ohřevu ukončena přeměna feritu na austenit,                                       |
| A <sub>c,cm</sub> | teplota, při níž je při ohřevu ukončeno rozpouštění sekundárního cementitu v austenitu (čára SE),         |
| A <sub>r,cm</sub> | teplota, při níž se při ochlazování začíná z austenitu vylučovat sekundární cementit (čára SE),           |
| A <sub>r1</sub>   | teplota při níž se při ochlazování začíná přeměňovat austenit v perlit (čára PSK),                        |
| A <sub>r3</sub>   | teplota, při níž se při ochlazování začíná z austenitu vylučovat ferit (čára SE),                         |

Čára MOSK je teplota, při níž nastává přeměna nemagnetické oceli v magnetickou a opačně. Teploty přeměn při ohřevu a při ochlazování se navzájem poněkud liší z důvodu tepelné hystereze.

**Oceli se podle struktury rozdělují na:**

- podeutektoidní - obsah uhlíku méně než 0,8 % (ferit + perlit),
- eutektoidní - obsah uhlíku 0,8 %, (perlit)
- nadeutektoidní - obsah uhlíku více než 0,8 % (perlit + cementit).

Při rychlém ohřevu nebo ochlazování nastávají přeměny při jiných teplotách. Například při rychlejší chlazení se teplota  $A_r$  snižuje rychleji než teplota  $A_1$  a množství feritu je menší než při pomalém chladnutí. S rychlejším chladnutím je kromě jiných jevů spojen u ocelí do obsahu uhlíku 0,4 % vznik tzv. Widmannstätenovy struktury.

**Litiny se podle struktury rozdělují na:**

- podeutektické - obsah uhlíku 2 až 4,3 % (perlit+ledeburit + sekundární cementit),
- eutektické - obsah uhlíku 4,3 % (ledeburit)
- nadeutektické - více než 0,8 % C (ledeburit + primární cementit).

## Σ Shrnutí

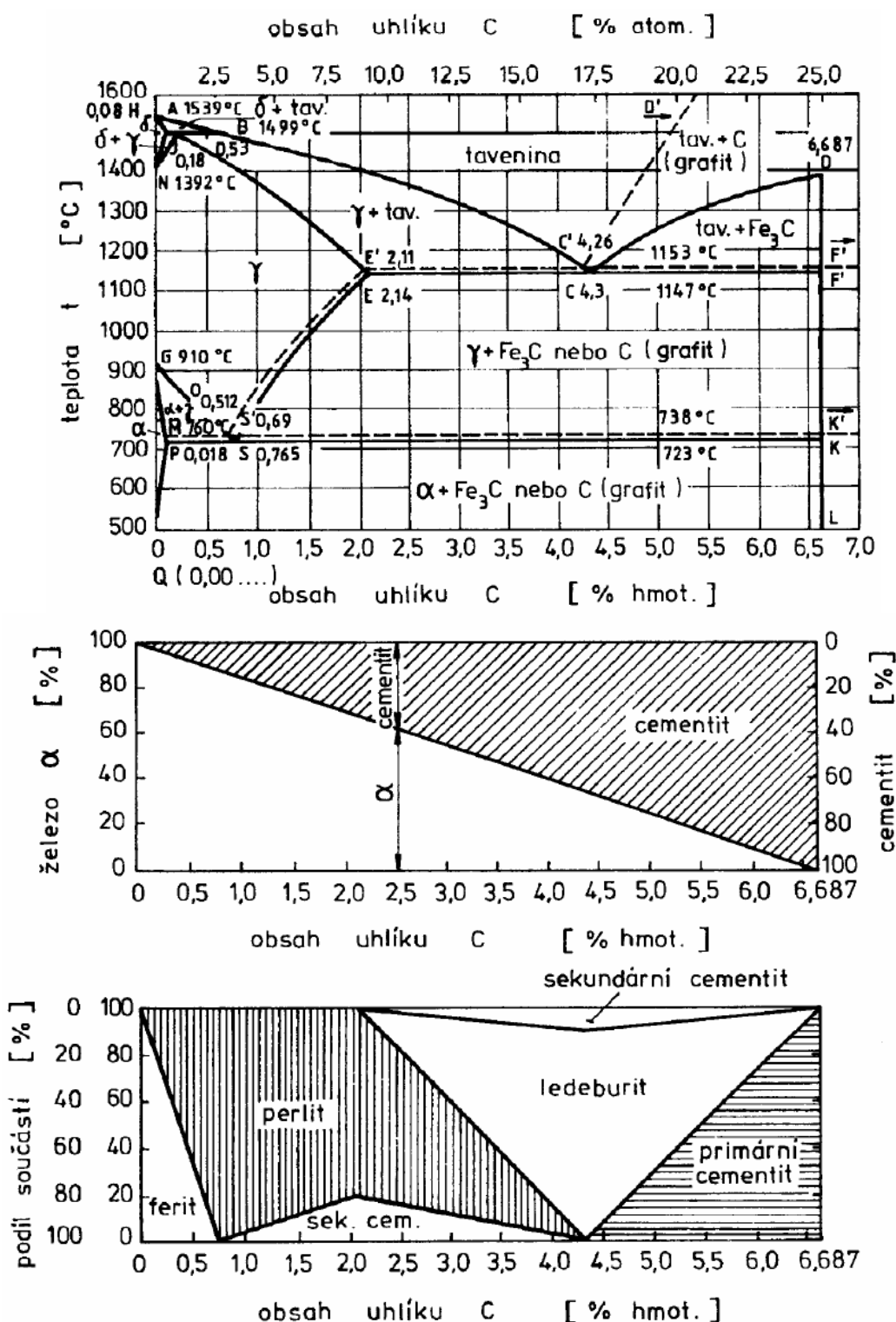
Znáte základní dělení procesů tepelného zpracování. Pro jejich hlubší pochopení je nezbytná znalost vlastností železa a hlavně toho jak jsou ovlivněny uhlíkem. Musíte umět nakreslit diagram Fe-Fe<sub>3</sub>C Popsat všechny významné teploty a koncentrace a rozumět tomu jaké se v dané oceli vyskytují fáze.



### Otázky 3.1.

- 3.1.1) Jaký je základní rozdíl mezi kalením a popouštěním?
- 3.1.2) Jaký je rozdíl mezi rekrystalizací a překrystalizací?
- 3.1.3) Co je to alotropická modifikace kovů?
- 3.1.4) Stručně vysvětlete význam uhlíku v oceli.
- 3.1.5) Nakreslete diagram železo – karbid železa a popište jednotlivé fáze a teploty.





**Obr. 3.1.** Rovnovážný diagram železa a uhlíku  
 plně - metastabilní soustava železo - karbid železa,  
 čárkovaně - stabilní soustava železo - grafit  
 Ve spodní části je graficky znázorněn:  
 a) podíl Fe a  $\text{Fe}_3\text{C}$  ve slitinách železa a uhlíku  
 krystalizujících metastabilně (Sauveurovy diagramy),  
 b) podíl všech strukturních součástí

### 3.2. Struktura ocelí při rychlém ochlazení



Čas ke studiu: 1 hodina



#### Pojmy k zapamatování

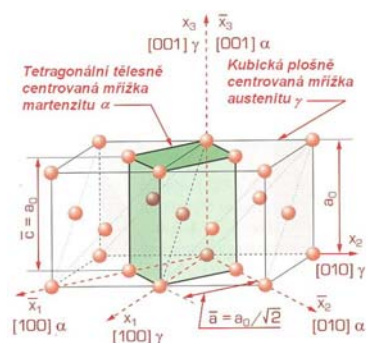
Martenzit, bainit, difúze, fázová přeměna přechlazeného austenitu



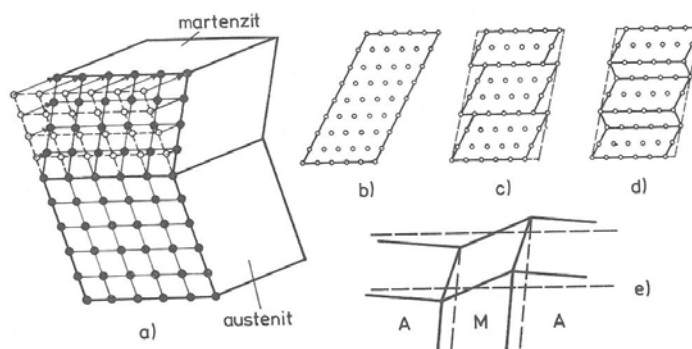
#### Výklad

##### □ Martenzitická přeměna

Martenzitická přeměna probíhá při výrazném přechlazení austenitu za nízkých teplot, kdy už není možná difúze nejen substitučních prvků, ale ani difúze uhlíku. Charakter procesu je podobný plastické deformaci a proto bývá nazýván stříhovou přeměnou. Produktem této bezdifúzní přeměny, která probíhá v intervalu teplot  $M_s$  a  $M_f$ , je martenzit, nerovnovážný metastabilní silně přesycený tuhý roztok uhlíku v železe  $\alpha$ . Martenzit je typickou strukturní součástí zakalené oceli, krystalizuje v tetragonální prostorově centrované mřížce (**obr. 3.2.**). Parametry mřížky a její tetragonalita (poměr  $\bar{c}/\bar{a}$ ) se zvětšuje v závislosti na obsahu uhlíku. Při koncentraci nižší jak 0,2 % C segreguje velká většina atomů uhlíku na dislokacích nebo na strukturních hranicích jehlic martenzitu, jehož tetragonalita je obtížně měřitelná. Při vyšších obsazích jsou atomy uhlíku umístěny v intersticiálních oktaedrických polohách prostorově centrované mřížky  $\alpha$ .



**Obr. 3.2.** Vztah mezi mřížkou martenzitu a austenitu



**Obr. 3.3.** Schéma martenzitické přeměny; a,b) homogenní deformace, c) nehomogenní deformace skluzem, d) nehomogenní deformace dvojčatěním, e) deformace volného povrchu vzorku při vzniku desky (jehlice) martenzitu

Mechanismus vzniku martenzitu záleží v homogenní deformaci, kterou se vytvoří přetvořený objem (krystal) martenzitu (**obr. 136 a b**)). Odporem, který klade okolí transformovaného objemu jsou vyvolány napětí, které vedou k druhé nehomogenní deformaci, která se uskutečňuje jen v mřížce martenzitu. Tyto jevy jsou spojeny s vytvořením povrchového reliéfu (**obr. 136 e**)). Nehomogenní (dodatečná) deformace se děje skluzem (**obr.**

136 c)), nebo dvojčatěním (obr. 136 d)), čímž se vytváří vnitřní struktura (substruktura) martenzitu. Podle ní je možno rozlišit dva druhy martenzitu. Dislokační martenzit jehlicovité (laťkovité) morfologie je bez vnitřních dvojčat a je tvořen hustou spleť dislokací (pevný a houževnatější). Dvojčatový (deskovitý) martenzit je tvořen deskami, které jsou rozděleny vnitřními dvojčaty (pevnější a méně houževnatý).

Celková rychlost tvorby martenzitu závisí tedy především na rychlosti nukleace. Tato je podstatně závislá na teplotě přeměny. Po rychlém ochlazení na teplotu mezi  $M_s$  a  $M_f$  transformuje austenit velkou rychlostí v martenzit a při dalším snižování teploty již nepokračuje růst martenzitických útvarů, přeměna pokračuje tvorbou nových útvarů martenzitu a rozsah transformace je tedy v podstatě jen funkcí teploty (termická povaha). S klesající teplotou se podíl martenzitu zvětšuje, nikdy však nedosáhne 100 %, neboť ve výsledné struktuře je zachováno určité množství zbytkového austenitu. Při prodlevě ležící v oblasti teplot  $M_s$  a  $M_f$  martenzitická přeměna téměř okamžitě ustává a po ukončení prodlevy nepokračuje ihned s dalším ochlazováním, nýbrž až po určitém poklesu teploty (stabilizace austenitu). Tím se zbývající část transformační křivky posouvá k nižším teplotám a tím i k vyšším podílům zbytkového austenitu. Příčinou stabilizace austenitu může být jednak relaxace pnutí v krystalové mřížce, jednak zablokování dislokací intersticiálními na mezifázovém rozhraní austenit-martenzit.

V teplotním intervalu mezi perlitickou a martenzitickou přeměnou, tj. při středně velkém přechlazení, dochází k bainitické transformaci přechlazeného austenitu. Teplotní oblast bainitické přeměny se u uhlíkových ocelí překrývá s oblastí perlitickou, u slitinových ocelí legovaných karbidotvornými prvky jsou obě oblasti odděleny teplotním pásmem stabilnějšího austenitu.

#### □ Bainitická přeměna

Přeměnou přechlazeného austenitu za teplot  $\approx 550^\circ\text{C}$  až  $M_s$  vzniká nelamelární feriticko-karbidická směs nazývaná bainit. Základem bainitické přeměny je přeměna plošně středěné mřížky železa  $\gamma$  v tělesně středěnou mřížku železa  $\alpha$ , změna v rozložení uhlíku a vzniku karbidické fáze. Z podmínek bainitické přeměny v ocelích (intersticiální difúze je možná, difúze Fe a substitučních přísad je nepatrná) vyplývá, že v průběhu přeměny nedochází k rozdělení substitučních přísad mezi tuhý roztok  $\alpha$  a karbidy (nevzniká legovaný cementit ani speciální karbidy). Svou povahou je bainitická přeměna zvláštním typem přeměny, jejíž některé rysy odpovídají martenzitické (střihové), některé naopak perlitické (difúzní) přeměně. Mezi charakteristiky podobné přeměně martenzitické patří např. vznik povrchového reliéfu, který doprovází růst základní fáze, tj. bainitického feritu (více nebo méně přesycený tuhý roztok uhlíku v železe  $\alpha$ ), krystalografická souvislost mřížky bainitického feritu a výchozího austenitu, morfologie bainitického feritu (desková, jehlicová-laťková). Rozsah izotermické bainitické přeměny závisí na teplotě přeměny (bainitická křivka), bainitická přeměna se může zastavit za přítomnosti určitého množství netransformovaného austenitu. Naopak přeměně perlitické se vznik bainitu podobá především malou rychlostí růstu bainitického feritu (asi o 10 řádů menší než rychlost růstu desky martenzitu) a existenci inkubační doby před začátkem izotermické bainitické přeměny. Složitost a mnohotvárnost bainitické přeměny je příčinou

toho, že dosud není jednotný názor na mechanismus tvorby bainitu. Většinou se předpokládá, že bainitický ferit vzniká z austenitu stříhovým mechanismem (podobně jako martenzit), ale jeho růst je značnou měrou řízen rychlostí transportu atomů uhlíku od postupujícího mezifázového rozhraní bainitický ferit-austenit, tzn. difúzí uhlíku [19].

## Σ Shrnutí

Martenzitická přeměna austenitu je bezdifúzní (nedochází k difúzi ani železa ani uhlíku). Uhlík zůstává uvězněn v nově vzniklé mřížce, která je tetragonální a zvyšuje tak tvrdost martenzitu. Při bainitické přeměně může probíhat difúze uhlík, ten se vylučuje ve formě karbidů buď uvnitř desek feritu (dolní bainit) nebo na hranicích desek feritu (horní bainit).



## Otázky 3.2.

- 3.2.1) Vysvětlete podstatu martenzitické přeměny.
- 3.2.2) Co se děje s uhlíkem v oceli při martenzitické přeměně?
- 3.2.3) Vysvětlete podstatu bainitické přeměny.
- 3.2.4) Jaký je rozdíl mezi horním a dolním bainitem?
- 3.2.5) Co je to globulární bainit?

## 3.3. Transformační diagramy



Čas ke studiu: 1 hodina



## Pojmy k zapamatování

ARA diagram, IRA diagram, teploty přeměny

Diagramy znázorňující průběh přeměny přechlazeného austenitu a udávající vliv teploty a času na průběh přeměny se nazývají transformační diagramy. Platí jen pro určitou ocel (danou např. chemickým složením nebo označením podle ČSN) a pro určité podmínky austenitizace (teplota a doba austenitizace). Obsahují údaje o počátku a konci jednotlivých druhů přeměn austenitu, často jsou uvedeny také např. podíly produktů určité přeměny, hodnoty tvrdosti příslušející výsledné struktuře apod. Transformační diagramy dnes užívané jsou dvojího druhu: **izotermické diagramy**, které udávají dobu přeměny austenitu za izotermických podmínek, a **anizotermické diagramy**, udávající doby potřebné k přeměně austenitu při různých rychlostech ochlazování.

Transformační diagramy IRA a ARA mají značný praktický význam. Slouží jako důležitý podklad při tepelném zpracování ocelí. Umožňují optimalizovat postupy tepelného zpracování, účelně volit druh oceli pro dané podmínky provozního namáhání a dokonaleji



využít vlastností oceli. Diagramy IRA mají význam především pro izotermické pochody (izotermické žíhání, izotermické zušlechťování), diagramy ARA se uplatňují ve větším rozsahu, neboť při většině postupů tepelného zpracování austenit transformuje při plynulém ochlazování.

#### □ Izotermické transformační diagramy

Perlitická přeměna je difúzní přeměnou, její rychlost je dána rychlostí tvorby zárodků a rychlostí jejich růstu. Při malém přechlazení austenitu pod teplotu  $A_1$  mají oba kinetické parametry přeměny nepatrnou hodnotu, rychlost přeměny je proto malá; první zrna perlitu se objeví až po velmi dlouhé době setrvání na transformační teplotě (dlouhá inkubační doba) a rovněž doba přeměny je značná. Při větším přechlazení se zvýší rychlost nukleace i rychlost růstu a zvětší se i celková rychlost přeměny. Se vzrůstajícím přechlazením se však zmenšuje rychlost difúze železa tzn., že od určité teploty se rychlost přeměny opět snižuje; křivka počátku i konce perlitické přeměny má proto v souřadném systému teplota-čas tvar C (**obr. 3.4.**). Obdobný tvar mají také křivky počátku a konce bainitické přeměny.

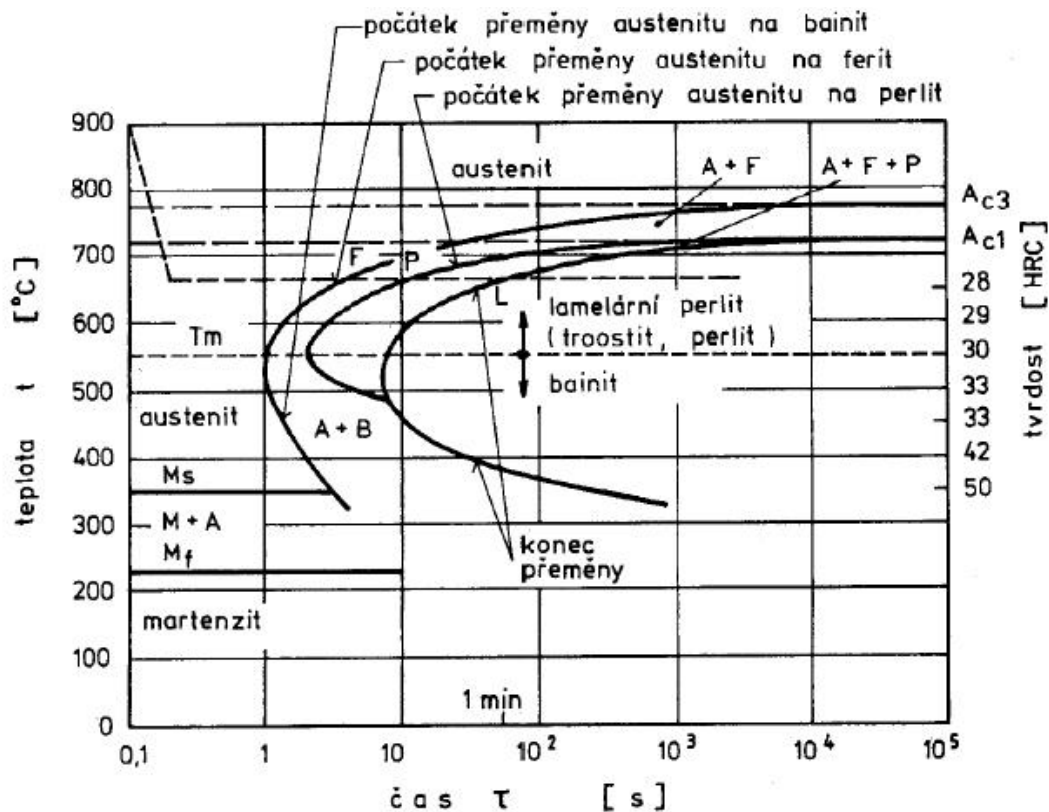
Křivky perlitické a bainitické přeměny se u uhlíkové oceli v určité oblasti překrývají, diagram je však obvykle v této části nahrazen společnou křivkou počátku i konce izotermické přeměny. Vlevo od začátku přeměny austenitu ( $P_s$ ,  $B_s$ ) je struktura austenitická až po teplotu začátku martenzitické přeměny ( $M_s$ ). Vpravo od křivky konce přeměny austenitu ( $P_f$ ,  $B_f$ ) je struktura tvořena produkty přeměny. V rozmezí teplot  $A_1$  až  $\approx 550^\circ\text{C}$  vznikají lamelární perlitické struktury, v teplotní oblasti od „nosu“ diagramu až po teplotu  $M_s$  vzniká izotermickým rozpadem austenitu bainit. Oblast izotermického rozpadu austenitu, jehož produktem jsou strukturní součásti vzniklé difúzními pochody, končí za teploty  $M_s$ . Pod touto teplotou probíhá bezdifúzní martenzitická přeměna (**kap. 3.2.1.**).

Velmi malá stabilita austenitu a krátké reakční doby v okolí teploty  $550^\circ\text{C}$  a naopak zvýšená stabilita austenitu za teplot blízko  $A_1$  i  $M_s$  a dlouhé reakční doby vyžadují použití logaritmické stupnice na ose času (**obr. 3.4.**).

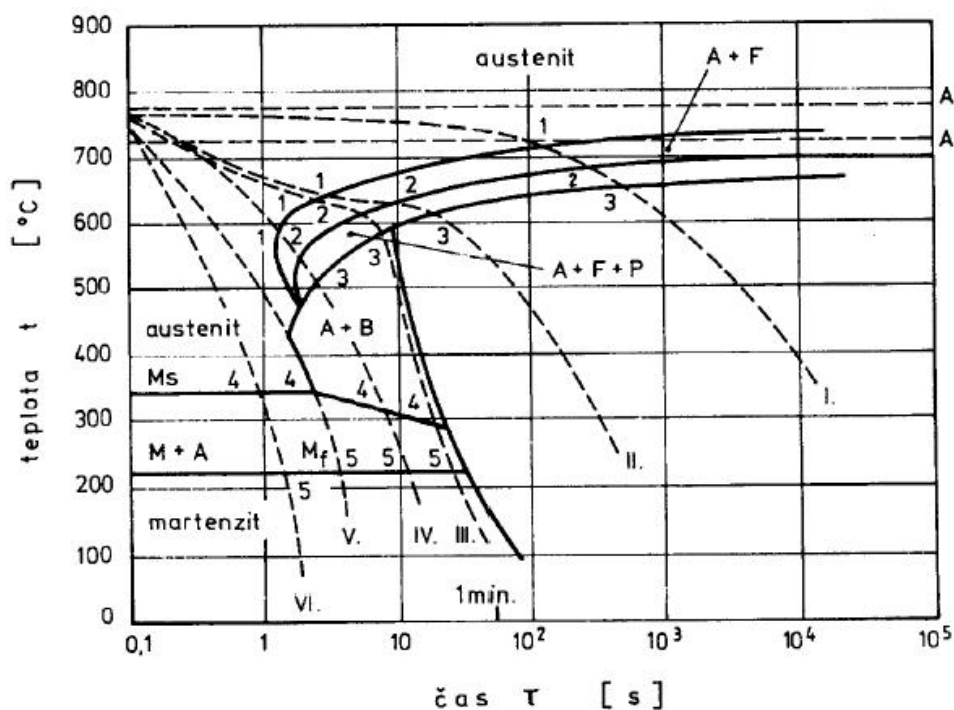
U ocelí o složení jiném než eutektoidním začíná přeměna austenitu vylučováním příslušné proeutektoidní fáze. U podeutektoidních ocelí začíná přeměna tvorbou proeutektoidního feritu; počátek vylučování feritu udává v diagramu křivka  $F_s$  (**obr. 3.4.**), která se asymptoticky blíží kritické teplotě  $A_3$ . U nadeutektoidních ocelí udává počátek vylučování proeutektoidního cementitu (sekundární cementit) křivka  $C_s$ .

#### □ Anizotermické transformační diagramy

Diagramy ARA udávají počátky a konce jednotlivých přeměn, které byly získány při plynulém ochlazování austenitu různou rychlostí (**obr. 3.5.**). Ve srovnání s diagramy IRA jsou složitější, protože výsledná struktura oceli může být tvořena směsí produktů přeměn, které probíhají za různých teplot. Při ochlazování eutektoidní oceli vzniká při určitém přechlazení z austenitu perlit. Počátek a konec perlitické přeměny je posunut k nižším teplotám tím více, čím je rychlost ochlazování větší (křivky I. a II.). Po dosažení určité ochlazovací rychlosti nestačí všechn austenit transformovat v perlitické oblasti a jeho část se



Obr. 3.4. Diagram izotermického rozpadu austenitu IRA diagram uhlíkové oceli s 0,44 % C.



Obr. 3.5. Diagram anizotermického rozpadu austenitu ARA diagram uhlíkové oceli s 0,44 % C.

zachová až do teplot, kdy již probíhá přeměna bainitická. Ve struktuře se po takovém ochlazování (křivka III. a IV.) objeví spolu s perlitem také bainit (a martenzit). Při určité

rychlosti ochlazování začíná rozpad austenitu přímo bainitickou reakcí (křivka V.) a pod  $M_s$  pokračuje martenzitickou přeměnou. Se vzrůstající rychlostí ochlazování se podíl martenzitu ve struktuře zvětšuje, až konečně od určité rychlosti ochlazování (křivka VI.) austenit transformuje pouze na martenzit (popřípadě se zčásti zachová jako zbytkový austenit). Nejmenší rychlost ochlazování, kdy je výsledná struktura tvořena pouze martenzitem (nevyskytují se produkty difúzního rozpadu austenitu; může však být přítomen zbytkový austenit) se nazývá kritickou rychlost martenzitické přeměny.

## Σ Shrnutí

ARA a IRA diagramy mají velké praktické použití. Slouží ke správnému stanovení technologie kalení, ke stanovení kritických rychlostí ochlazování. Na polohu křivek počátku a konce fázových transformací mají vliv: chemické složení, velikost zrna a zbytková deformace.



## Otázky 3.3.

- 3.3.1) Vysvětlete jak lze zkonstruovat diagramy ARA nebo IRA. Jaký je mezi nimi rozdíl?
- 3.3.2) Jaký vliv na polohu křivek počátku a konce přeměny má chemické složení oceli, velikost zrna a zbytková deformace?

## 3.4. Žihání



**Čas ke studiu: 2 hodiny**



## Pojmy k zapamatování

Překrystalizace, rekrystalizace, vnitřní pnutí, normalizace, homogenizace

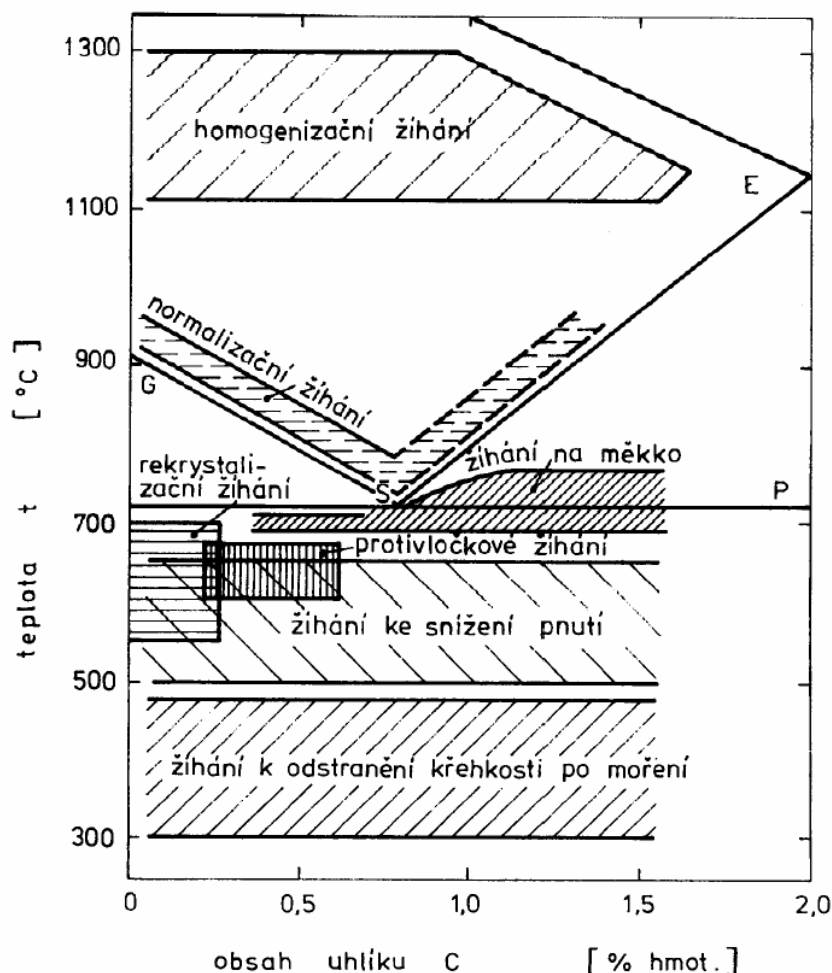


## Výklad

Žiháním nazýváme postup při tepelném zpracování, při kterém se výrobky ohřívají na určitou teplotu a po výdrži následuje (zpravidla pomalé) ochlazování. Cílem je pak dosažení určité úrovně rovnovážného stavu (stabilní struktury). Účel žihání bývá různý a závisí nejen na druhu oceli, ale i na předcházejících výrobních operacích jedná se např. o: odstranění nerovnoměrnosti struktury a její zjemnění, vyrovnaní rozdílů v chemickém složení (homogenizace), dosažení nízké tvrdosti, snížení zbytkových pnutí, zotavení deformovaných zrn apod. Často se žihání nepoužívá jako konečné operace tepelného zpracování výrobku, ale jako tzv. mezižihání, tj. operace zařazené do technologického postupu z důvodů přípravy struktury (vlastností) pro operace následující.

Některé způsoby žíhání vyžadují přeměnu počáteční feriticko perlitické struktury na austenit, u jiných k fázovým transformacím při ohřevu nedochází (teplota je nad  $A_{c1}$ ) (**obr. 3.6.**). Rozdělujeme tedy:

- Žíhání bez překrystalizace
- Žíhání s překrystalizací



**Obr. 3.6.** Oblasti žíhacích teplot v rovnovážném diagramu Fe-Fe<sub>3</sub>C

#### □ Žíhání bez překrystalizace

Jedná se o žíhání, při kterých obvykle teplota žíhání nepřesáhne teplotu  $A_{c1}$ . V ocelích se hlavně mění rozpustnost uhlíku a dusíku, dochází k sferoidizaci a koagulaci karbidických částic, rozpadají nerovnovážné fáze případně dochází k opevňovacím pochodům (zotavení a rekrytaliizace).

Při žíhání pod  $A_{c1}$  dochází v podstatě pouze ke strukturálním změnám v oceli (sferoidizace, koagulace karbidických částic, zotavování, rekrytaliizace, růst zrna).

#### Žíhání ke stabilizaci rozměrů

Účelem tohoto zpracování je dosažení co největší stability rozměrů, zejména kalibrů a měřidel. Změnám rozměrů přesných měřidel i změnám magnetických vlastností



permanentních magnetů zabránujeme úmyslným dlouhodobým popouštěním martenzitu a snahou o dokonalý rozpad zbytkového austenitu. Vlastní zpracování (u nízkolegovaných ocelí) sestává z ohřevu na teplotu obvykle 120 °C, z výdrže na této teplotě po dobu cca 200 h a následujícího ochlazení. U ocelí s vyšším obsahem legujících prvků se používá teplot až 160 °C a doby výdrže až 500 h. Do této skupiny tepelného zpracování možno zařadit i stabilizaci valivých ložisek, kde po kalení se zmrazováním se zařazuje dlouhodobé popouštění na teplotu 170 až 200 °C.

### Umělé stárnutí ocelí

Účelem tohoto žíhání je urychlit proces precipitace dusíku a uhlíku z přesyceného tuhého roztoku alfa. Má význam pouze u nízkouhlíkových ocelí (do 0.2 % C), při vyšším obsahu uhlíku jsou změny vlastností způsobené precipitací překryté přítomností perlitu. K precipitaci dusíku dochází nejintenzivněji při teplotách 150 °C, k precipitaci uhlíku při teplotách 250 °C. Parametry žíhání se nejlépe získají ze zkoušek umělého stárnutí zpracovávaného materiálu.

### Žíhání ke snížení pnutí

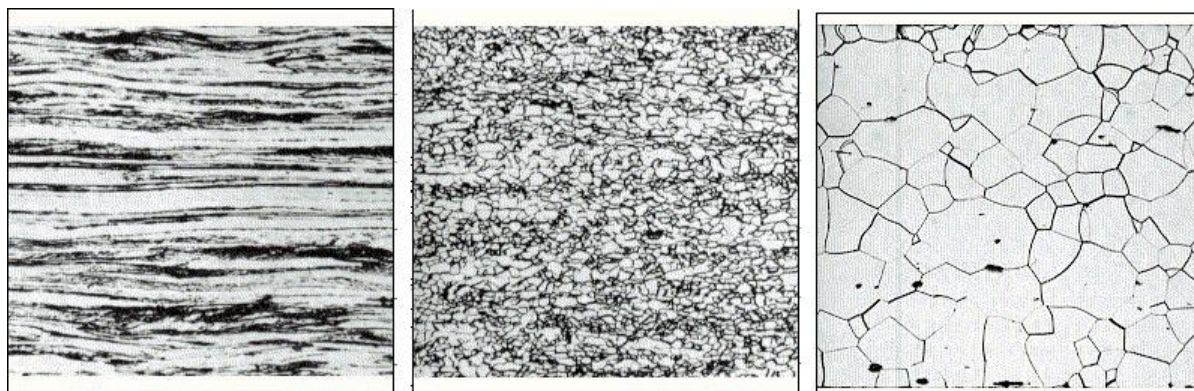
Účelem je snížení vnitřních pnutí vzniklých jako důsledek nestejnoměrného ochlazování, místního ohřevu (svařování), tváření za studena apod.) , bez záměrné změny struktury a bez podstatných změn původních mechanických vlastností. Vlastní postup sestává z pomalého ohřevu (100 až 200 °C.h<sup>-1</sup>) na žíhací teplotu, z výdrže na teplotě (obvykle 1 až 2 h, po dokonalém vyrovnání teploty v průřezu) a z dalšího pomalého ochlazování (30 až 50 °C.h<sup>-1</sup>) do teploty 200 až 250 °C. Základní význam má volba teploty žíhání, která se pohybuje u konstrukčních ocelí obvykle v rozmezí 450 až 650 °C. Dolní hranice je dána poklesem meze kluzu nezbytným pro snížení pnutí plastickou deformací, horní hranice by měla být o 20 až 30 °C nižší než teplota popouštění u zušlechťených ocelí a o tutéž hodnotu vyšší než případná provozní teplota součásti. Vnitřní pnutí představovaná ve výrobku pružnou deformací mřížky se za těchto teplot snižují místní plastickou deformací. Aby nedocházelo ke vzniku dalších vnitřních pnutí je následné ochlazování velmi pomalé (v peci). Nízkolegované svařitelné oceli se zvýšenou mezí kluzu, u kterých dochází při ohřevu k precipitačnímu zpevnění, se žíhají při teplotách 530 až 580 °C. U vysokolegovaných ocelí (např. rychlořezné oceli) před konečným tepelným zpracováním jsou žíhací teploty vyšší a mohou dosahovat až 780 °C. Naopak žíhání ke snížení pnutí u povrchově kalených součástí se provádí pouze při teplotách 150 až 200 °C. V tomto případě je důležitější zachování tvrdosti zakalené vrstvy než velké snížení vnitřních pnutí.

### Rekrystalizační žíhání

Účelem rekrystalizačního žíhání je obnovení tvárných vlastností oceli po tváření za studena. Tedy (dle ČSN 42 004) odstranění protažených zrn a zpevnění způsobeného tvářením za studena za současného vzniku nových feritických zrn, bez znaků deformace a obnovení schopnosti plastické deformace oceli. Vlastní postup se skládá z ohřevu na teplotu nejméně rekrystalizační (obvykle 550 až 700 °C), z krátké výdrže (cca 1 h) a následujícího ochlazování. Výše teploty závisí na stupni deformace, nesmí však překročit teplotu  $A_{c1}$ , aby nedošlo k překrystalizaci. Má-li se dosáhnout zjemnění struktury po nižším stupni protváření je nutno použít nižší žíhací teploty. Výhodnější (hlavně při nerovnoměrné deformaci, kdy

hrozí nebezpečí místního zhrubnutí zrna) je zvolit normalizační žíhání (případně patentování), které bezpečně zaručí výsledný jemnozrnný stav v celém výrobku. U nepolymorfních feritických ocelí je rekrystalizační teplota cca 800 °C, u austenitických ocelí se obvykle volí teplota rozpouštěcího žíhání. Naopak zhrubnutí zrna, které se požaduje např. u ocelí pro transformátorové plechy, lze dosáhnout žíháním při vyšších teplotách po nižší než kritické deformaci za studena (5 až 12 %). Začátek rekrystalizace a rekrystalizační teplota jsou ovlivňovány různými činiteli, ale zejména předchozím stupněm tváření.

Oceli po tváření za studena při následném ohřevu rekrystalizují. Při teplotách pod bodem přeměny se tvoří jádra nových krystalů. Čím větší byl stupeň přetváření, tím více nových krystalů vzniká, rekrystalizace začíná při nižších teplotách a zrna jsou jemnější. Trvá-li ohřev i po ukončení rekrystalizace, nebo je-li teplota ohřevu příliš vysoká, začnou některá zrna narůstat na úkor jiných a struktura hrubne (**obr. 3.7.**). Při určitém stupni protvárnění v rozsahu 8 až 16 % a ohřevu na teploty 650 až 850 °C dochází k velkému zhrubnutí zrn. Hrubozrnná struktura ocelového drátu má sklon ke křehkému lomu, což se projevuje ve velice malém počtu ohybů drátu. Drát může praskat při průchodu rovinacím strojem. K největšímu zhrubnutí zrna dochází při celkové deformaci drátu  $Q_c \approx 10$  %. Nebezpečí zhrubnutí zrna se u nízkouhlíkového ocelového drátu taženého kritickou deformací s růstem obsahu uhlíku snižuje a u ocelí s obsahem uhlíku 0,3 % mizí.

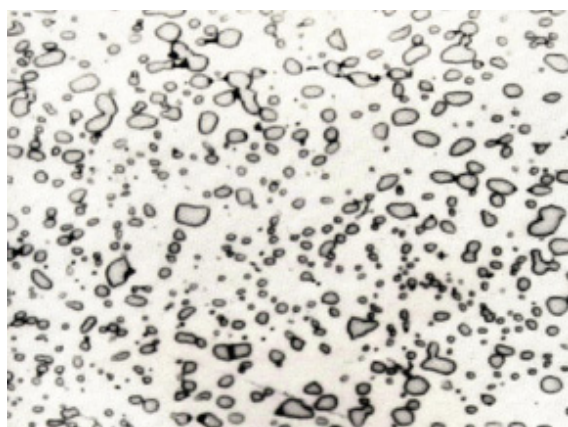


**Obr. 3.7:** *Strukturní změny při rekrystalizačním žíhání oceli, z leva do prava: deformovaná struktura (zpevněný stav), ukončení statické rekrystalizace (podíl uzdravené struktury  $X = 1$ ), zhrubnutí zrna po statické rekrystalizaci*

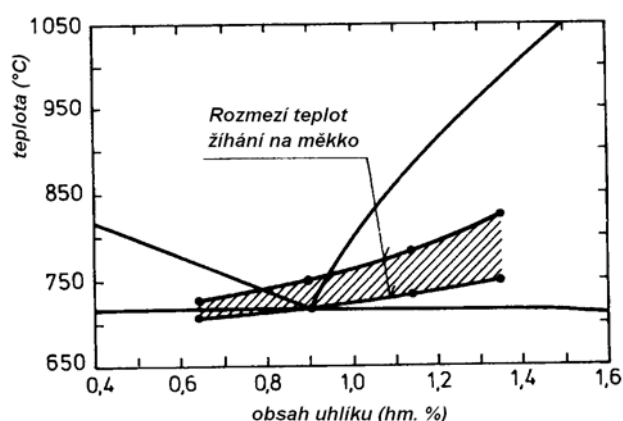
### Žíhání na měkko

Účelem tohoto žíhání je zpravidla převedení lamelárního perlitu na globulární (**obr. 3.8.**). U ocelí s obsahem uhlíku nad 0,4 %, u eutektoidních a nadeutektoidních ocelí dochází ke snížení tvrdosti a tím zlepšení následné obrobitelnosti za studena. Rovněž je snadou dosáhnout větší homogenizace struktury vhodné pro následující kalení. Vlastní postup žíhání na měkko sestává z ohřevu na teplotu těsně pod rozmezí přeměny nebo uvnitř tohoto rozmezí (**obr. 3.9.**), výdrž na této teplotě, popř. kolísání kolem jmenovité teploty a další řízené ochlazování obvykle v peci nebo ochranném obalu. Nejjednodušší žíhání na měkko se provádí u podeutektoidních nízkolegovaných ocelí a to ohřevem na teplotu těsně pod  $A_{c1}$  s několikahodinovou výdrží na této teplotě. U ocelí s vyšším obsahem prvků, které snižují

difúzní rychlost uhlíku ve feritu nebo stabilizujících cementit, je potřebné prodloužit dobu žhání až na desítky hodin. Je-li výchozí strukturou bainit nebo martenzit, dochází k poměrně rychlému vylučování a následnému shlukování karbidů. Je-li výchozí strukturou lamelární perlit, probíhá sbalování lamel pomalu a to tím pomaleji, čím jsou lamely hrubší. Z hrubého lamelárního perlitu se při tomto způsobu (stejně jako při příliš dlouhé výdrži) vytvoří hrubý globulární perlit. Karbidické síťoví, tj. nadeutektoidní karbidy vyloučené na hranicích austenitických zrn, se tímto žháním neodstraní.



**Obr. 3.8.** Sferoidizovaný cementit ve feritické matici



**Obr. 3.9.** Doporučená oblast teplot žhání na měkko

Sferoidizace karbidů se může nepříznivě projevit při austenitizaci zpomalením jejich rozpouštění. Proto je třeba volit kompromis mezi zlepšením obrobitelnosti a prokalitelností, tj. volit nižší stupeň sferoidizace.

Nízkouhlíkový ocelový drát vyžíhaný na měkko se používá k výrobě řetězů, spojovacích součástí pro výrobu dílů objemovým tvářením za studena a pro všeobecné účely.

Na měkko vyžíhaný ocelový vysokouhlíkový drát je vhodný např. k výrobě jehel, kuliček a válečků do ložisek aj.

### Žhání ve vakuu a ochranné atmosféře

K zabezpečení lesklého povrchu vyžíhaného ocelového drátu je nutno materiál během žhání chránit před oxidací, oduhličením a nauhličením. Tato ochrana je zajišťována žháním ocelového drátu ve vakuu nebo v ochranné atmosféře. Pecní nebo ochranná atmosféra žhací pece bezprostředně neovlivňuje technologické vlastnosti žíhaného drátu. Působením pecní atmosféry ale může dojít k oxidaci povrchu drátu a povrchovému oduhličení nebo nauhličení drátu, nebo ke změně velikosti zrna v povrchové vrstvě drátu, což může ovlivnit mechanické vlastnosti. Obvykle je tento vliv malý a může být zjištěn jen u technologických vlastností (ohyby, kruty), které jsou ovlivňovány stavem povrchu drátu.

U ocelového drátu s oduhličeným povrchem se pevnost, mez kluzu, tažnost a kontrakce nepatrně zmenšují, počet ohybů a krutů mírně roste. Mez únavy drátu se přitom může

snižovat nebo také zvyšovat, Rozdílný vliv povrchového oduhličení na mez únavy drátu je dán rozdílným charakterem oduhličené vrstvy.

Vliv různých druhů ochranného plynu na obsah uhlíku v povrchové vrstvě drátu je rozdílný.

**Žihání drátu ve vakuu** bylo vyvinuto zejména k lesklému žihání legovaných ocelových drátů a zabezpečuje plnou ochranu drátu před oxidací. Velikost vakua je nutno zajistit pokud možno pod hodnotu 0,1 torr, protože již nepatrný obsah kyslíku vede k povrchovému oduhličení a při žihání legovaných ocelových drátů ke vzniku matného povrchu.

**Plně inertním ochranným plynem** je technický argon. Běžná čistota argonu 99,95 % ale neposkytuje absolutní ochranu před mírnou oxidací a malým oduhličením povrchu drátu.

**V tažárnách nejčastěji používané ochranné plyny** jsou směsi  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$  a  $\text{N}_2$  s přídavkem malého množství metanu.

### □ Žihání s překrystalizací

Při žihání nad  $A_{c1}$  dochází k úplné, nebo alespoň částečné přeměně výchozí feriticko-perlitické struktury na austenit. Podeutektoidní oceli se žihají za teplot nad  $A_3$ , nadeutektoidní oceli za teplot nad  $A_{cm}$ .

### Žihání homogenizační (difúzní)

Účelem homogenizačního žihání je vyrovnat co nejvíce nestejnoměrnost chemického složení ocelí difúzí. Pásmová heterogenita (likvace) závisí na tvaru litého či tvářeného polotovaru a týká se především nečistot a plynů. Mezidendritická heterogenita (segregace) závisí na morfologii dendritů, která ovlivňuje rozložení legujících a doprovodných prvků. U tvářených polotovarů jsou jak dendrity, tak i oblasti likvace přednostně prodlouženy v určitém směru, čímž vzniká řádkovitá struktura. Ta je charakterizována roztečí mezi řádky a koncentračním profilem ve směru kolmém k řádkům, přičemž rozteč mezi řádky klesá s rostoucím stupněm protváření. Homogenizační žihání jako samostatná operace je ohřev na teplotu značně vyšší než jsou teploty  $A_{c3}$  resp.  $A_{cm}$  (zaručení dostatečné difuzivity), tedy mezi teplotami 1000 až 1200 °C, dostatečně dlouhá výdrž na této teplotě (6 až 15 h) a pomalé ochlazování z této teploty dle tvaru odlitků. Při volbě podmínek homogenizačního žihání je třeba tedy uvažovat difuzivitu segregujícího prvku a přípustný stupeň segregace (jedná se o zmenšení nebo odstranění mezidendritické heterogenity ne pásmové). V důsledku dlouhé výdrže na vysoké teplotě dochází k vyrovnání chemického složení a zrovnoměnění struktury (zlepšení makrostruktury oceli), ale současně k vyšší oxidaci i oduhličení povrchu a k silnému růstu austenitického zrna (zhrubnutí struktury - zhoršení mikrostruktury). Homogenizační žihání je nákladnou operací, proto je velmi vhodné spojení s ohřevem ke tváření, kdy se prodlouží prodleva na válcovací nebo kovací teplotě. K zjemnění zrna austenitu může dojít rekrystalizací v přestávkách mezi navazujícími tvářecími operacemi. U netvářených výrobků se zjemnění zrna docílí dalšími operacemi např. normalizací (kombinované žihání). Homogenizační žihání je ponejvíce využíváno u velkých odlitků nebo výkovků z legovaných ocelí.



### **Normalizační žíhání**

Účelem normalizačního žíhání je především dosažení jemnozrnné a rovnoměrné struktury tvořené obvykle směsí feritu a perlitu. Vlastní postup normalizačního žíhání se skládá z co nejrychlejšího ohřevu na teplotu 30 až 50 °C nad  $A_{c3}$  resp.  $A_{cm}$ , krátkého vyrovnaní teploty v celém průřezu a dalšího ochlazování obvykle na klidném vzduchu (cca 100 až 200 °C.h<sup>-1</sup>). Nejčastější použití normalizačního žíhání je u odlitků a výkovků, též menších svařenců (u velkých nebezpečí deformace vlastní vahou) a u výlisků za studena. Výsledná struktura ocelí po normalizačním žíhání není jednoznačně definovaná, závisí na chemickém složení oceli i na velikosti žíhaného výrobku.

Zpravidla se normalizují oceli podeutektoidní. Oceli s vyšším obsahem uhlíku nebo legujících prvků při ochlazování na vzduchu vytvářejí struktury smíšené, popř. i čistě bainitické nebo martenzitické. Oceli nadeutektoidní se zpravidla normalizačně nežíhají. Pokud se má normalizací odstranit karbidické síťoví na hranicích austenitických zrn, způsobené pomalým ochlazováním z tvářecích teplot, je vhodná normalizační teplota asi 30 0C nad  $A_{cm}$  a pak rychlé ochlazení až na teplotu pod 700 0C. Další ochlazování musí být pomalé. Pro zjemnění zrna u těchto ocelí se provádí ohřev jen nad teplotu  $A_{c1}$  s následujícím ochlazováním na vzduchu.

Normalizační žíhání se nepoužívá jen ke zjemnění a zrovnoměnění struktury, jako přípravy pro další tepelné zpracování ev. možnost dalšího tváření, ale i jako konečné operace tepelného zpracování méně namáhaných strojních součástí. Aby se odstranilo vnitřní pnutí, snížila pevnost a zlepšily plastické vlastnosti, výrobek se po normalizaci ještě žíhá při teplotách 500 až 600 0C. Významné je normalizační žíhání ocelových odlitků, kde hrubé a nestejněoměrné zrno, vzniklé při pomalém ochlazování z teploty odlévání, se po normalizačním žíhání zjemní a zlepší se i plastické vlastnosti oceli.

### **Žíhání pro zhrubnutí zrna**

Účelem tohoto žíhání je zvětšení austenitického zrna. Vlastní postup se skládá z austenitizace na teplotách značně vyšších než  $A_{c3}$  (950 až 1000 °C) a dalšího ochlazování obvykle v peci. Toto zpracování se používá ve zvláštních případech, jako u ocelových plechů pro elektrotechniku, u oceli k cementování apod. U transformátorových nebo dynamových plechů zvětšení hrubosti zrna omezuje ztráty při přemagnetování (magnetická hystereze). Dalším využitím je u ocelí s nízkým obsahem uhlíku, které jsou příliš měkké, a proto špatně obrobitelné. Při obrábění totiž vzniká dlouhá tříska a povrch obrobku je pak nejakostní. Hrubozrnná struktura je obrobitelnost zlepšit.

## Σ Shrnutí

Žíháním se dosahuje v materiálu rovnovážného stavu. Jednotlivé typy žíhání se liší tím, jaký typ nerovnováhy v materiálu odstraňují. Např. vnitřní pnutí, deformace zrna, nehomogenita chemického složení, místní zhrubnutí zrna apod. Žíhání spočívá v ohřevu na danou teplotu, výdrže a ochlazování. To na jakou teplotu ohříváme, záleží na tom jaký proces v materiálu chceme vyvolat. Např. rekrystalizaci, austenitizaci a následnou překrystalizaci, difúzi prvku. Snížení meze kluzu a vyvolání lokální plastické deformace apod.



### Otázky 3.4.

- 3.4.1) Jaký je princip žíhání ke snížení pnutí?
- 3.4.2) Jaký je princip rekrystalizačního žíhání? Jak popíšete kinetiku rekrystalizace?
- 3.4.3) Jaký je princip žíhání na měkko?
- 3.4.4) Jak je při žíhání zajištěn lesklý povrch drátu?
- 3.4.5) Jaký je princip difúzního žíhání?
- 3.4.6) Jaký je princip normalizačního žíhání?
- 3.4.7) Kdy se uměle vyvolává hrubé zrno.

## 3.5. Popouštění



**Čas ke studiu: 1 hodina**



### Pojmy k zapamatování

4 stádia popouštění, popouštěcí křehkost



### Výklad

Tepelné zpracování, které následuje po zakalení a jehož cílem je dosáhnout stavu bližšího rovnovážnému stavu oceli, je označováno jako popouštění. Skládá se z ohřevu na teploty nižší než  $A_1$ , výdrže na teplotě a následujícího ochlazování vhodnou rychlostí. Protože vnitřní pnutí mohou být příčinou vzniku trhlin i po vyjmutí předmětu z kalici lázně, má popouštění následovat ihned po zakalení. Při postupném zvyšování teploty probíhají v zakalené oceli pochody, které ji přibližují rovnovážnému stavu.

### □ Přeměny při popouštění

Pro uhlíkové oceli s obsahem nad 0,2 % C se uvažují obvykle čtyři stadia popouštění, i když teplotní hranice mezi nimi nelze jednoznačně vymezit (jednotlivé pochody se mohou vzájemně překrývat).

První stadium popouštění (do  $\approx 200$  °C), to je rozpad uhlíkem silně přesyceného tuhého roztoku  $\alpha$ -tetragonálního martenzitu na nerovnovážný karbid  $\epsilon$  ( $\text{Fe}_{2,4}\text{C}$ ) (s těsně uspořádanou šesterečnou mřížkou) a nízkouhlíkový martenzit (s obsahem  $\approx 0,25$  % C). Tento produkt vznikající v I. stadiu popouštění bývá označován jako popuštěný (kubický) martenzit. Vznik kubického martenzitu je doprovázen mírným snížením tvrdosti, zmenšováním měrného objemu oceli a snížením vnitřních pnutí.

Ve druhém stadiu popouštění ( $\approx 200$  až 300 °C) probíhá rozpad zbytkového austenitu ve strukturu bainitického typu. Mechanismus přeměny lze považovat za stejný jako při rozpadu austenitu za stejných teplot, po přímém ochlazení z oblasti stabilního austenitu. Strukturu produktu této přeměny lze srovnávat také se strukturou martenzitu popuštěného na stejnou teplotu. Ze změn vlastností je nejvýznamnější zvětšení měrného objemu oceli.

Ve třetím stadiu popouštění (nad  $\approx 250$  °C) vzniká rovnovážný karbid  $\text{Fe}_3\text{C}$  a nízkouhlíkový martenzit se mění v rovnovážný tuhý roztok  $\alpha$ -ferit. Za nižších popouštěcích teplot mají částice cementitu tyčinkovou morfologii; při vyšších teplotách ( $\approx 400$  °C) se tyčinkové karbidy rozpouštějí a vznikají kulovitá zrnka cementitu. Přeměna nízkouhlíkového martenzitu ve ferit je charakterizována postupným snižováním obsahu C v tuhém roztoku a změnou substruktury spojenou s pochody zotavování. Přeměny ve třetím stadiu popouštění jsou doprovázeny výraznou změnou vlastností oceli; snižuje se tvrdost, zvětšuje se tvárnost a houževnatost, klesá vnitřní pnutí a zmenšuje se měrný objem. Výsledkem pochodů ve třetím stadiu je feriticko-cementitická struktura nazývaná sorbit.

Jako čtvrté stadium popouštění (nad  $\approx 500$  °C) bývá označováno postupné hrubnutí částic cementitu, rekrytalizace a hrubnutí feritického zrna. Pevnostní vlastnosti dále klesají, zvětšuje se houževnatost a plasticita oceli. Struktura, která se získá za nižších popouštěcích teplot v tomto rozmezí, je sorbit, za nejvyšších teplot (pod  $A_1$ ) zrnitý perlit. U legovaných ocelí zahrnuje čtvrté stadium popouštění buď jen obohacování cementitu karbidotvornými prvky, nebo i vznik nových karbidů s odlišnou mřížkou, než má cementit, tj. speciálních karbidů ( $(\text{Cr,Fe})_{23}\text{C}_6$ ,  $\text{Mo}_2\text{C}$ ,  $\text{VC}$  apod.). Precipitace těchto karbidů je podmíněna difúzí legovacího prvku, kterým je karbid tvořen. Při teplotách nižších než 500 °C, kdy je rychlost difúze atomů substitučních přísad malá, se speciální karbidy tvoří obtížně. Převážná většina reakcí, které probíhají při popouštění uhlíkových nebo nízkolegovaných ocelí, je doprovázena snižováním tvrdosti oceli. U některých ocelí s karbidotvornými přísadami dochází však po popouštění za teploty  $\approx 500$  °C ke zvýšení tvrdosti, jež souvisí s precipitací jemných částic speciálních karbidů a označuje se jako sekundární tvrdost.

## □ Rozdělení popouštění

Rozsah změn struktury, a tím i mechanických vlastností závisí na teplotě a době popouštění. Téhož účinku lze do jisté míry dosáhnout prodloužením doby za nižší teploty nebo kratší prodlevou za vyšší teploty; v technické praxi se většinou užívá prodleva dvě hodiny. Podle výšky popouštěcí teploty, která má na výsledné vlastnosti převládající vliv, rozlišuje ČSN 42 0004-69 popouštění při nízkých a vyšších teplotách.

Popouštění při nízkých teplotách se uskutečňuje obvykle v rozmezí teplot 100 až 300 °C (u vysokolegovaných ocelí až  $\approx 600$  °C). Jeho účelem je snížit úroveň vnitřních pnutí, zmenšit podíl zbytkového austenitu, zlepšit houževnatost, popř. stabilizovat rozměry, při zachování vysoké tvrdosti. Používá se zejména u nástrojových ocelí, u nichž základním požadavkem je vysoká tvrdost a odolnost proti opotřebení. U konstrukčních ocelí je tento způsob méně častý; zpravidla se užívá u cementovaných a u povrchově kalených součástí, také u valivých ložisek a některých druhů vysokopevných ocelí. Předměty se popouštějí ve vroucí vodě, teplé olejové lázni, solných lázních, elektrických pecích s nucenou cirkulací atmosféry atd.

Popouštění při vyšších teplotách, obvykle v rozmezí 400 až 650 °C, se používá, jsou-li požadovány vysoké pevnostní vlastnosti ( $R_m$ ;  $R_{p0,2}$ ) a současně značná plasticita a houževnatost oceli. Takovou kombinaci vlastností poskytuje sorbitická struktura, která se získá kalením a následujícím popouštěním při vyšších teplotách. Celý tento postup tepelného zpracování se nazývá zušlechťování (anizotermické). Zušlechťují se silně namáhané součásti z konstrukčních ocelí.

## □ Popouštěcí křehkost

Při zvyšování popouštěcí teploty všeobecně klesá tvrdost, pevnost, mez kluzu a zvětšuje se plasticita a houževnatost. V určitých oblastech popouštěcích teplot však není pokles pevnostních vlastností doprovázen odpovídajícím vzrůstem houževnatosti. Příčinou tohoto jevu je vývoj popouštěcí křehkosti. Při popouštění za teplot v rozmezí 250 až 400 °C dochází ke zkřehnutí, které je označováno jako **nízkoteplotní popouštěcí křehkost**. Vysvětluje se pochody, které probíhají při popouštění v místech hranic původních zrn austenitu (precipitace cementitu, popř. nitridů) a vedou k jejich zkřehnutí. U legovaných ocelí (zejména s přísadami Cr, Ni, Mn) dochází při popouštění v okolí teploty 550 °C ke zkřehnutí, které je označováno jako **vysokoteplotní popouštěcí křehkost**. Je spojováno s difúzí atomů některých nečistot a stopových prvků (P, S, Sn, Sb, Bi) k hranicím původních zrn austenitu a jejich zvýšenou koncentrací v těchto místech. Tento druh zkřehnutí se vyvíjí buď přímo za popouštěcí teploty ( $\approx 550^\circ\text{C}$ ), tzn. izotermicky, nebo při pomalém ochlazování (v peci, na vzduchu) z vyšší popouštěcí teploty (např. 650 °C), anizotermicky. Zkřehnutí lze odstranit novým ohřevem na teplotu 650 °C a rychlým ochlazováním (do vody nebo do oleje). Další ohřev na teplotu 650 °C a pomalé ochlazování zkřehnutí opět vyvolá. Sklon oceli k tomuto druhu zkřehnutí omezuje přísada molybdenu. Podobně, ale slaběji působí i přísada wolframu. Na rozdíl od nízkoteplotní popouštěcí křehkosti, která je označována jako trvalá, je vysokoteplotní popouštěcí křehkost vratná, tzn. odstranitelná.



## Σ Shrnutí

Popouštění je opětovný ohřev zakalené oceli na teploty od 150 °C až pod eutektoidní teplotu, výdrž na teplotě a pak obvykle ochlazení na vzduchu. Toto tepelné zpracování následuje obvykle okamžitě po předchozím zakalení na martenzitickou strukturu.

Při popouštění probíhá řada fázových a strukturních přeměn, jejichž důsledkem jsou změny mechanických i fyzikálních vlastností. Hlavním účelem popouštění je zlepšení tvárných vlastností oceli.



## Otázky 3.5.

- 3.5.1) K jakým typům přeměn dochází při popouštění?
- 3.5.2) Co je to sorbit?
- 3.5.3) Kdy se používá popouštění při nízkých a kdy při vysokých teplotách?
- 3.5.4) Co je příčinou popouštěcí křehkosti?

## 3.6. Základní rozdělení žíhacích pecí



**Čas ke studiu:** 0,5 hodiny



## Pojmy k zapamatování

Pece kontinuální a diskontinuální, šachtové, poklopové, ochranná atmosféra



## Výklad

K žíhání ocelového drátu jsou používány různé druhy žíhacích pecí. Také zahraniční výrobci nabízejí rozličné typy těchto zařízení. Pro lepší orientaci používáme následující rozdělení.

### Typy pecí podle konstrukce

- Pece kontinuální
  - průtažné na dráty v žilách
  - průběžné na svitky drátů
  - průběžné speciální (s rozvinutými svitky)
- Pece diskontinuální
  - šachtové (**obr. 3.8.**)
  - poklopové (**obr. 3.9. a 3.10.**)
  - řadové poklopové

Typy pecí podle energetických zdrojů

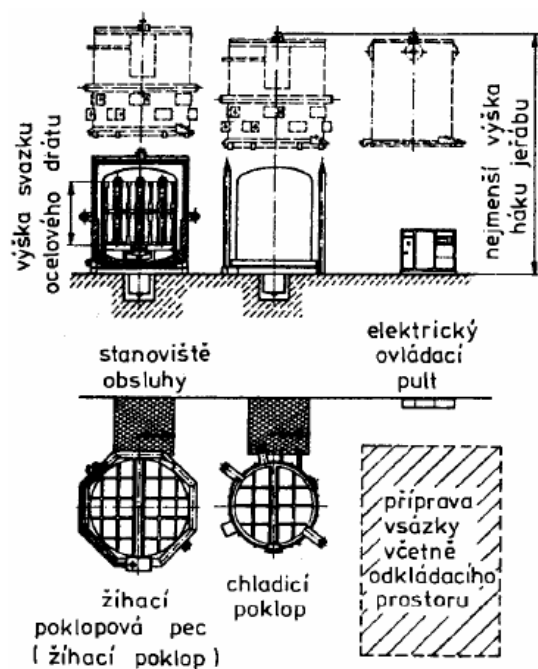
- plynové
- elektrické
- pece na tekutá paliva

Typy pecí podle způsobu ochrany materiálu

- bez ochranné atmosféry
- s ochrannou atmosférou
- žíhání ve vakuu



**Obr. 3.8.** Šachtová hlubinná pec



**Obr. 3.9.** Schéma plynové poklopové žhací pece s vysokým přestupem tepla konvekci



**Obr. 3.10.** Elektrická poklopová žhací pec, sundávání chladicího poklopu po skončení žíhání, vlevo vzadu žhací poklop.

**Tabulka 3.1** Průměrná spotřeba energie, průměrná tepelná účinnost vybraných typů žíhacích pecí a okujovitost žíhaného ocelového drátu

| Žíhací pec                                                                 | Průměr drátu       | Výkon                 | Teplota drátu | Spotřeba energie      | Účinnost       | Atmosféra | Okujovitost          |
|----------------------------------------------------------------------------|--------------------|-----------------------|---------------|-----------------------|----------------|-----------|----------------------|
|                                                                            | [mm]               | [kg.h <sup>-1</sup> ] | [°C]          | [MJ.t <sup>-1</sup> ] | [%]            | -         | [g.m <sup>-2</sup> ] |
| Průtažná plynová muflová vícežilová pec                                    | 1,8-4,0<br>0,8-1,8 | 2400<br>450           | 720 - 750     | 2300<br>5500          | 18-22<br>7 - 8 | oxidační  | 10-20                |
| Průběžná plynová pec na svitky drátu, ochranná atmosféra                   | 0,8- 11,0          | 2200                  | 720           | 1260 až 1730          | 24-33          | inertní   | do 5                 |
| Šachtová plynová pec pro žíhání drátu na černo                             | 0,7 - 20,0         | 300                   | 700 - 900     | 2600 až 3000          | 14-20          | oxidační  | 40-70                |
| Šachtová plynová pec konstrukce Grünewald                                  | 2,0-21,0           | 1250                  | max. 950      | 2560                  | 16-25          | oxidační  | 10-30                |
| Šachtová elektrická pec konstrukce Grünewald                               | 0,2 - 2,0          | 86-185                | 670 - 720     | 2300                  | 16- 18         | oxidační  | 10-30                |
| Pokloповá elektrická pec Herdickerhoff; dvojnásobné vakuum a ochranná atm. | 0,2 - 2,0          | 167                   | 580           | 584                   | 57             | inertní   | 0                    |
|                                                                            | 0,5 - 6,0          | 250                   | 720           | 850                   | 49             |           |                      |
| Pokloповá elektrická pec Ebner, ochranná atmosféra                         | 2,0-21,0           | 708                   | 700           | 1487                  | 28             | inertní   | 0                    |
|                                                                            | 1,0-18,0           | 1560                  | 715           | 1150                  | 36,5           |           |                      |

## Σ Shrnutí

K tepelnému zpracování se používají různé konstrukce pecí. Současným trendem jsou kontinuální linky, které kombinují moření, tváření, žíhání a povrchové úpravy.



## Otázky 3.6.

3.6.1) Jaké znáte základní způsoby rozdělení žíhacích pecí?

3.6.2) Vysvětlete princip fungování pokloповé pece.



## Další zdroje

- [01] ŽÍDEK, M., DĚDEK, V., SOMMER, B., *Tváření oceli*. SNTL, Praha 1988, ISBN 04-408-88
- [02] JECH, J. *Tepelné zpracování oceli – metalografická příručka*. vyd. Praha: SNTL Praha, 1983. s. 95
- [03] HILA, E. *Metalurgická technologie I – Úvod do tepelného zpracování kovů*. vyd. Ostrava: Ediční středisko VŠB, 1953.
- [04] SILBERNAGEL, A., SILBERNAGEL, A. junior, GREGER, M. *Zuślechtování součástí z oceli českých značek*. vyd. Ostrava: KOVOSIL Ostrava, 2006. s. 4-50 ISBN 80-901572-9-7
- [05] JONŠTA, Z. *Nauka o kovech II*, 2. vyd. Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2000. s. 41-72, ISBN 80-7078-958-1
- [06] CALLISTER, William D. *Fundamentals of Materials Science and Engineering: An Interactive E-text*. Wayne Anderson. 5th edition. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2001. s. 360, S-88. ISBN 0-471-39551-X.

## 4. KLÍČ K OTÁZKÁM A ÚLOHÁM K ŘEŠENÍ

### □ Otázky

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <b>Kapitola 1</b>                                                                                                                                                                                                                                |
| 1.1.1)                                                                            | Přibližně 5 %.                                                                                                                                                                                                                                   |
| 1.1.2)                                                                            | Od několika desítek gramů (drobné strojní součásti) až po 600 t (volně kované rotory turbín).                                                                                                                                                    |
| 1.1.3)                                                                            | Objem výroby: hromadná vs. kusová výroba, stupeň volnosti kovu: tok omezen stěnami zápustky vs. neomezený tok, historie: 100 let vs. 3 000 let, tvar výkovku: velmi složitý vs. jednoduchý, povrch výkovku: bezvadný vs. nerovný, zokujený, atd. |
| 1.1.4)                                                                            | Na základě cenové kalkulace, která počítá s cenou zápustek a její návratností podle objemu výroby.                                                                                                                                               |
| 1.2.1)                                                                            | Ingoty, plynule lité předlitky, válcované tyče, tažené tyče.                                                                                                                                                                                     |
| 1.2.2)                                                                            | 600 t                                                                                                                                                                                                                                            |
| 1.2.3)                                                                            | Kvůli zvýšení měrného povrchu a tím zvýšení rychlosti ochlazování.                                                                                                                                                                               |
| 1.2.4)                                                                            | Ingot se odlévá do formy (kokily), která stojí užším koncem dolů (pata) a širším koncem nahoru (hlava). Po vychladnutí se ingot vytáhne z kokily ven.                                                                                            |
| 1.2.5)                                                                            | Heterogenní jak z pohledu struktury (licí kůra, sloupcovité dendrity, hrubá polyedrická struktura, středová oblast dutin, ředin a pórů) tak chemického složení (oblast kladné a záporné segregace).                                              |
| 1.2.6)                                                                            | Proč sloupcovité dendrity rostou kolmo na stěnu kokily? Rostou ve směru největšího teplotního spádu při tuhnutí.                                                                                                                                 |
| 1.2.7)                                                                            | V hlavě ingotu, jedná se o staženinu.                                                                                                                                                                                                            |
| 1.2.8)                                                                            | Také se označuje jako pásmová segregace, kdy se v jednotlivých pásmech liší chemické složení ingotu.                                                                                                                                             |
| 1.2.9)                                                                            | Také se označuje jako dendritická segregace, kdy se chemické složení liší v rámci jednoho dendritu.                                                                                                                                              |
| 1.2.10)                                                                           | Čím větší ingot, tím pomalejší tuhnutí, tím výraznější segregace.                                                                                                                                                                                |
| 1.3.1)                                                                            | Protahováním dendritů, vměstků a produktů likvace ve směru hlavní deformace.                                                                                                                                                                     |
| 1.3.2)                                                                            | Vláknitost odstranit nelze, lze ji jen dalším kováním vhodně usměrnit.                                                                                                                                                                           |
| 1.3.3)                                                                            | Prodlužování.                                                                                                                                                                                                                                    |
| 1.3.4)                                                                            | Hustota se kováním zvyšuje díky zavařování vnitřních dutin (z cca 6 900 kg.m <sup>-3</sup> na 7 850 kg.m <sup>-3</sup> ).                                                                                                                        |
| 1.3.5)                                                                            | Velikostí zrna a podílem fází.                                                                                                                                                                                                                   |
| 1.3.6)                                                                            | Je to hraniční teplota, nad touto teplotou může v materiálu docházet k rekrystalizaci, pod touto teplotou nikoli.                                                                                                                                |
| 1.3.7)                                                                            | Opakovanou dynamickou či statickou rekrystalizací a po dokování následnou překrystalizací.                                                                                                                                                       |
| 1.3.8)                                                                            | Jaký vliv má stupeň prokování na mechanické vlastnosti oceli? Plastické vlastnosti rostou až do stupně prokování = 3, pevnostní vlastnosti se nemění.                                                                                            |
| 1.3.9)                                                                            | Rozdíl v plastických vlastnostech v příčném (nemění se) a podélném (zhoršují se) směru.                                                                                                                                                          |





## Kapitola 1

|         |                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|---------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.4.1)  | Objem výroby: hromadná vs. kusová výroba, stupeň volnosti kovu: tok omezen stěnami zápusťky vs. neomezený tok, historie: 100 let vs. 3 000 let, tvar výkovku: velmi složitý vs. jednoduchý, povrch výkovku: bezvadný vs. nerovný, zokujený, atd.                                         |
| 1.4.2)  | Protože má tok částech kovu výrazně turbulentní charakter.                                                                                                                                                                                                                               |
| 1.4.3)  | Kováním se rozrušuje nevhodná lici struktura, ve srovnání s obráběním také dochází k značné úspoře kovu při vysoké výrobnosti.                                                                                                                                                           |
| 1.4.4)  | Nevýhody: nízká výrobnost, značné materiálové přídavky, omezená tvarová složitost výkovku, značné ztráty kovu (např. opalem), potřeba vysoce kvalifikovaných pracovníků.                                                                                                                 |
| 1.4.5)  | Drobné a střední výkovky – pneumatické a parovzdušné buchary, velké výkovky – hydraulické lisys.                                                                                                                                                                                         |
| 1.4.6)  | Zmenšení výšky a zvětšení průřezu výkovku.                                                                                                                                                                                                                                               |
| 1.4.7)  | Soudkovitost je projevem nerovnoměrné deformace, jako důsledek tření mezi kovadly a polotovarem.                                                                                                                                                                                         |
| 1.4.8)  | Oblast s nepříznivým stavem napjatosti (N7) po obvodu soudku.                                                                                                                                                                                                                            |
| 1.4.9)  | Aby byla zajištěna jejich rovnoběžnost a předešlo se tak jejich ohnutí.                                                                                                                                                                                                                  |
| 1.4.10) | Je to poměr výšky a průměru výkovku.                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 1.4.11) | Viz. <b>Obr. 1.15.</b>                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 1.4.12) | V situaci na <b>obr. 1.15. c</b> je v kontaktu s nástrojem celá horní část polotovaru, v situaci na <b>obr. 1.16. c</b> je v kontaktu s nástrojem pouze omezená část polotovaru pod úzkým kovadlem, které se postupně otáčí kolem své osy (používá se při kování desek velkého průřezu). |
| 1.4.13) | Pěchování, protože je silovým účinkům nástroje vystaven celý objem tělesa, zatímco při prodlužování se deformace odehrává v omezené oblasti – v pásmu deformace.                                                                                                                         |
| 1.4.14) | Prodlužování, protože se skládá z velkého počtu úběrů (záběrů), seřazených do jednotlivých průchodů.                                                                                                                                                                                     |
| 1.4.15) | Je to délka oblasti, která je vystavena silovým účinkům nástroje, měla by se pohybovat mezi 1/2 a 2/3 šířky kovadla.                                                                                                                                                                     |
| 1.4.16) | Tvarem kovadla a velikostí úběru.                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 1.4.17) | Při kování výkovku čtvercového průřezu, srovnej šrafované oblasti na <b>obr. 1.20. a) a b).</b>                                                                                                                                                                                          |
| 1.4.18) | Průměr díry musí být menší než 1/3 průměru výkovku.                                                                                                                                                                                                                                      |
| 1.4.19) | Průměr díry musí být větší než 0,4 násobek výšky výkovku.                                                                                                                                                                                                                                |
| 1.4.20) | Děrování plným trnem, děrování tenkých výkovků a děrování dutým trnem. Postupně se snižuje energetická náročnost procesu, ale roste množství odpadu.                                                                                                                                     |
| 1.4.21) | Je to zvláštní případ prodlužování jen konců výkovku.                                                                                                                                                                                                                                    |
| 1.4.22) | Je to zvláštní případ prodlužování jen středových částí výkovku.                                                                                                                                                                                                                         |
| 1.4.23) | Příčné přemístění vymezeného objemu výkovku, přičemž podélná osa přesazené části je rovnoběžná s osou výkovku (např. při kování zdvihů klikové hřídele).                                                                                                                                 |



## Kapitola 1

|         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.4.24) | Háky, kotvy, třmeny, táhla, páky apod.                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 1.4.25) | Vykování manipulačního čepu na ingotu – přechování na polovinu výšky – prodlužování na původní délku (tento postup se opakuje, dokud není dosaženo požadovaného stupně prodloužení) – prodlužování na konečnou délku hřídele – osazování, prosazování a přesazování – (zkrucování zdvihů) – odseknutí manipulačního čepu. |
| 1.5.1)  | Rozvoj hromadné výroby např. automobilů.                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 1.5.2)  | K výrobě tvarově členitých výkovků ve velkých sériích.                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 1.5.3)  | Vyšší výrobnost, složitější tvary, hospodárnější využití kovu, nižší nároky na kováře.                                                                                                                                                                                                                                    |
| 1.5.4)  | Vyšší výrobnost, složitější tvary, hospodárnější využití kovu, nižší nároky na kováře.                                                                                                                                                                                                                                    |
| 1.5.5)  | Hmotnostní a rozměrové omezení, energetická náročnost a potřeba jednoúčelového drahého nástroje.                                                                                                                                                                                                                          |
| 1.5.6)  | Díly pro automobily a dopravní techniku, výkovky pro železniční podvozky, součásti důlních zařízení, výkovky pro strojírenství, lopatky parních turbín, ruční nářadí a nástroje, atd.                                                                                                                                     |
| 1.5.7)  | Otěruvzdornost, odolnost proti tepelným pnutím, odolnost proti rázům.                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 1.5.8)  | Válcované nebo tažené tyče, předkovky vyrobené volným kovááním, kovááním na kovacích válcích, periodickým válcováním nebo zápustkovým kovááním v přípravných dutinách.                                                                                                                                                    |
| 1.5.9)  | Uzavřené a otevřené (s výronkovou drážkou).                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 1.5.10) | Výronek je část materiálu, která se dostala mimo hlavní dutinu zápustky do výronkové drážky.                                                                                                                                                                                                                              |
| 1.5.11) | Díky zvýšenému deformačnímu odporu ve výronku, vyplní materiál všechna zákoutí zápustkové dutiny, výronek tlumí rázy (brání dosednutí obou dílů zápustky na sebe, vyrovnává objemové rozdíly polotovaru).                                                                                                                 |
| 1.5.12) | Může za to relativně velká plocha a malá výška výronku, která má na svědomí zvýšení vnitřního tření.                                                                                                                                                                                                                      |
| 1.6.1)  | Buchary a lisy.                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 1.6.2)  | Viz. <b>Obr. 7.41.</b> , povšimněte si oblastí náběhu a dojezdu hydraulického lisu.                                                                                                                                                                                                                                       |
| 1.6.3)  | Padající beran bucharu působí na kov při každém úderu energií, při kováání na bucharu vykazuje kov vlivem větší deformační rychlosti větší deformační odpor. Ráz bucharu způsobí opadávání okují.                                                                                                                         |
| 1.6.4)  | Na hmotnosti a rychlosti beranu. Energii je lepší zvyšovat zvýšením hmotnosti, protože zvýšení rychlosti beranu by vedlo ke zvýšení deformační rychlosti a zvýšení deformačního odporu.                                                                                                                                   |
| 1.6.5)  | Pružinový, pneumatický a parovzdušný buchar.                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 1.6.6)  | Princip vychází z Pascalova zákona, ve dvou nádobách je uzavřena kapalina, písty jsou pohyblivé a mají průřezy $S_1$ a $S_2$ , síly, které na písty působí, jsou pak ve stejném poměru jako plochy pístů $F_2/F_1 = S_2/S_1$ .                                                                                            |
| 1.6.7)  | Co řadíme mezi pomocná zařízení pro kováárny? Kovadla a zařízení usnadňující manipulaci s polotovarem.                                                                                                                                                                                                                    |



## Kapitola 1

|         |                                                                                                                                                                               |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.6.8)  | Rovná, oblá, sdružená, tvarová, kombinovaná.                                                                                                                                  |
| 1.6.10) | Je to řetěz, který zavěšen na portálovém jeřábu umožňuje manipulovat (otáčet, posouvat v podélném směru a hranit (otáčet kolem podélné osy)) s výkovkem zavěšeným na vahadle. |
| 1.6.11) | Kovací soubor se skládá z lisu, manipulátorů, otočného zvedacího stolu a přechovacího stolu.                                                                                  |
| 1.7.1)  | 123 t                                                                                                                                                                         |
| 1.7.2)  | Hydraulické lisy 60 a 120 MN, rychlokovací stroj, válcovačka obručí.                                                                                                          |
| 1.7.3)  | Součásti důlních strojů.                                                                                                                                                      |
| 1.7.4)  | 0,2 až 30 kg.                                                                                                                                                                 |
| 1.7.5)  | LKM 630, LZK 100P, 2500, 2500P, 4000 a kalibrační                                                                                                                             |
| 1.7.6)  | Hydraulické lisy 33 a 105 MN                                                                                                                                                  |
| 1.7.7)  | 80 t                                                                                                                                                                          |
| 1.7.8)  | ŠKODA Plzeň                                                                                                                                                                   |
| 1.7.9)  | Vítkovice Heavy Machinery                                                                                                                                                     |
| 1.7.10) | Asociace kováren ČR                                                                                                                                                           |
| 1.7.11) | Poldi Hütte a Vítkovice                                                                                                                                                       |
| 1.7.12) | Czech Precision Forge, Plzeň                                                                                                                                                  |



## Kapitola 2

|        |                                                                                                                                               |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2.1.1) | N9, vynikající technologická tvařitelnost.                                                                                                    |
| 2.1.2) | Výroba složitých profilů, tváření materiálů se zhoršenou tvařitelností, výroba tlakových ocelových lahví.                                     |
| 2.1.3) | Dopředné a zpětné protlačování plných a dutých profilů.                                                                                       |
| 2.1.4) | Viz. <b>Obr. 2.31.</b>                                                                                                                        |
| 2.1.5) | Viz. <b>Obr. 2.32.</b>                                                                                                                        |
| 2.1.6) | Protože díky příznivému stavu napjatosti táhneme profily s velkou dílčí deformací, kterou přesněji vyjádří skutečná deformace.                |
| 2.1.7) | Při zpětném protlačování.                                                                                                                     |
| 2.1.8) | Protože dosahujeme velkých stupňů deformace a tím dochází k velkému zpevnění materiálu, navíc zde působí třecí síly mezi kovem a průtlačnicí. |
| 2.1.9) | Sklo v podobě prášku nebo sklené vaty, které se následně roztaví.                                                                             |



## Kapitola 2

|         |                                                                                                                                                                  |
|---------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2.1.10) | Protlačování s průtlačníkem menšího průměr, než je průměr průtlačnice, mezi průtlačníkem a průtlačnicí se tak dostane tvářený kov, který zde působí jako mazivo. |
| 2.1.11) | Indukční ohřev – zpětné protlačování – protahování – tváření hrdla – tepelné zpracování – povrchové úpravy a kontrola                                            |
| 2.1.12) | Dělení trubek – tváření dna – zavaření dna – tváření hrdla – tepelné zpracování – povrchové úpravy a kontrola.                                                   |
| 2.1.13) | Polotovary při výrobě tlakových lahví po zpětném protlačování.                                                                                                   |

### □ Úlohy k řešení

Pokud zde nenajdete řešení nějaké konkrétní úlohy, nebo alespoň nápovědu, předpokládá se, že budete pracovat zcela samostatně.



## Kapitola 1

|        |                                                                         |
|--------|-------------------------------------------------------------------------|
| 1.2.1) | Nezapomeňte počítat s hustotou lité oceli. ( $V = 0,0868 \text{ m}^3$ ) |
| 1.3.1) | $PK_b = 2,7$                                                            |