



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

**Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava**



# **TVÁŘENÍ KOVŮ**

**učební text**

**Richard Fabík**

**Ostrava 2012**

Recenze: Prof. Ing. Jiří Kliber, CSc.  
Doc. RNDr. Jana Kapounová, CSc.

Název: Tváření kovů  
Autor: Richard Fabík  
Vydání: první, 2012  
Počet stran: 333  
Náklad: xx

Studijní materiály pro studijní program Metalurgické inženýrství Fakulty metalurgie a  
materiálového inženýrství  
Jazyková korektura: nebyla provedena.

**Určeno pro projekt:**

Operační program Vzdělávání pro konkurenceschopnost  
Název: Personalizace výuky prostřednictvím e-learningu  
Číslo: CZ.1.07/2.2.00/07.0339  
Realizace: VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Projekt je spolufinancován z prostředků ESF a státního rozpočtu ČR

© Richard Fabík  
© VŠB – Technická univerzita Ostrava

**ISBN 978-80-248-2572-4**

## Předmluva

Studijní opora k předmětu *Tváření kovů* je určena především studentům kombinované formy studia. V kombinované formě studia je mnohem menší podíl přímé kontaktní výuky, což činí toto studium pro studenty mnohem obtížnějším. Tato studijní opora je pomocníkem, který má tento handicap alespoň jistým způsobem eliminovat. Nejedná se tedy o nová skripta, těch existuje dost. Studijní opora je určitou náhradou, je-li to možné, za chybějící přímou výuku a mezičlánkem k následnému studiu vlastní odborné literatury, ať již to budou skripta nebo jiné publikace.

Při psaní studijní opory jsem se snažil o co největší srozumitelnost textu. Té není možné dosáhnout, alespoň podle mého názoru, bez určitých zjednodušení, omezení a někdy i nepřesností. Pokud by někomu připadalo, že zjednodušení je příliš mnoho, předem se omlouvám. Ale mé pedagogické zkušenosti z výuky tohoto předmětu mne přivedly k výsledku, kterým je právě tento text.

I přes pečlivou kontrolu textu je téměř jisté, že jsem se v něm nevyhnul chybám, překlepům apod., možná i chybám věcným. Budu vám vděčný, když mě na ně upozorníte, abych je mohl opravit. Buď přímo, nebo mailem na adresu: [richard.fabik@vsb.cz](mailto:richard.fabik@vsb.cz).

Přejeme vám všem, kdo budete studijní oporu využívat, hodně sil ke studiu!

Autor

## **Tváření kovů**

Pro předmět Tváření kovů 5. semestru studijního programu metalurgické inženýrství jste obdrželi studijní balík obsahující

- integrované skriptum pro distanční studium obsahující i pokyny ke studiu
- CD-ROM s doplňkovými animacemi vybraných částí kapitol
- harmonogram průběhu semestru a rozvrh prezenční části
- rozdělení studentů do skupin k jednotlivým tutorům a kontakty na tutorý
- kontakt na studijní oddělení

### **Prerekvizity**

Předmět nemá žádné prerekvizity

### **Cílem předmětu**

Po prostudování modulu by měl student být schopen:

- Vymezit technologii tváření vůči konkurenčním technologiím tvarování.
- Diskutovat o významu a perspektivách oceli.
- Matematicky vyjádřit termomechanické veličiny ve tváření.
- Podrobně popsat a rozdělit technologie tváření (válcování, kování, tažení drátu, protlačování)
- Řešit základní příklady z technologické praxe (výpočet deformací, záběrových podmínek při válcování, délky pásma deformace).
- Objasnit podstatu a význam základních strukturotvorných dějů při tváření za tepla a za studena.
- Aplikovat základní zákony plastické deformace.

### **Pro koho je předmět určen**

Modul je zařazen do bakalářského studia oborů Technologie výroby kovů, Slévárenské technologie, Tepelná technika a životní prostředí studijního programu .Metalurgické inženýrství, ale může jej studovat i zájemce z kteréhokoliv jiného oboru.

Skriptum se dělí na části, kapitoly, které odpovídají logickému dělení studované látky, ale nejsou stejně obsáhlé. Předpokládaná doba ke studiu kapitoly se může výrazně lišit, proto jsou velké kapitoly děleny dále na číslované podkapitoly a těm odpovídá níže popsaná struktura.

## PRŮVODCE STUDIEM

Studijní opora je rozdělena do osmi velkých celků – kapitol. Většina z nich se dělí na menší celky – podkapitoly. Každá kapitola je uvedena cíly vyjádřené pomocí dovedností (kompetencí), které by jste studiem měli získat.



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

- Zde jsou uvedeny cíle, kterých máte dosáhnout po prostudování této kapitoly – konkrétní dovednosti, znalosti

Za cíly následuje podrobný obsah kapitoly, který slouží pro rychlejší orientaci při studiu.



### Obsah kapitoly

U každé podkapitoly je uveden orientační čas ke studiu. Čas vám může sloužit jako hrubé vodítko pro rozvržení studia celého předmětu či kapitoly. Někomu se čas může zdát příliš dlouhý, někomu naopak. Jsou studenti, kteří se s touto problematikou ještě nikdy nesetkali a naopak takoví, kteří již v tomto oboru mají bohaté zkušenost



**Čas ke studiu:** x hodin

### Jak byste mohli se studijní oporou pracovat?

Základním učebním celkem jsou **podkapitoly** číslované např. 2.1, 2.2, 3.1 atd.

- Na začátku kapitoly jsou uvedeny nové **důležité pojmy**, buď s definicí, nebo je definice uvedena později v textu podkapitoly. Na **důležité pojmy** v textu, jakož i na **důležité vzorce** budete upozorněni grafikou



### Pojmy (vzorce) k zapamatování

Klíčové pojmy a vzorce, jejichž znalost je podmínkou absolvování předmětu

- Zkuste si podkapitolu celou přečíst.



### Výklad

- Pokud jsou k ní **multimédia** – **animace**, **videa** – podívejte se na ně.



### CD-ROM

*Informace o doplňujících animacích, videosekvencích apod., které si můžete vyvolat z CD-ROMu připojeného k tomuto materiálu*

- Většinu obrázků, zejména schémata a diagramy, si zkuste sami od ruky nakreslit.
- Jsou-li v podkapitole **řešené příklady**, vyřešte je tak, že je přepíšete a výpočty provedete sami.



## Řešený příklad

*Zadání a řešení praktického příkladu jako součást výukového textu.*

- V textu se mohou vyskytovat i následující prvky:



## Opakování z minulých ročníků

V této opoře navazujeme na látku probíranou v předmětech *Základy progresivních konstrukčních materiálů* a *Nauka o materiálu I*. Pro snazší pochopení probírané látky bude vhodné, když si některé pojmy a fakta připomenete.



## Odměna a odpočinek

Ve chvílích nejvyššího vypětí přichází zasloužená odměna a odpočinek



## Korespondenční úkol

Zadání domácí úlohy, testu apod. k odevzdání tutorovi a hodnocené v rámci kurzu.



## Zajímavost

Zajímavost, vztahující se k probírané látce.

- Pak se podívejte na **shrnutí** podkapitoly a zkuste si zodpovědět, zda vám toto shrnutí něco říká.



## Shrnutí

Na závěr podkapitoly jsou zopakovány hlavní pojmy a myšlenky, které si v ní máte osvojit. Pokud něčemu z toho ještě nerozumíte, vraťte se k tomu ještě jednou.

- Orientačně se můžete podívat na **otázky a úkoly k řešení** a pokuste se formulovat odpovědi alespoň na některé z nich.



## Otázky

Pro ověření, že jste dobře a úplně látku kapitoly zvládli, máte k dispozici několik teoretických otázek.



## Úlohy k řešení

Protože většina teoretických pojmů tohoto předmětu má bezprostřední význam a využití v technologické praxi, jsou Vám nakonec předkládány i praktické úlohy k řešení. V nich je hlavní význam předmětu a schopnost aplikovat čerstvě nabyté znalosti při řešení reálných situací hlavním cílem předmětu.

**Pokud vám to všechno napoprve půjde, bude to vynikající, ale spíše to nepředpokládám.**

Tak se pusťte do četby znovu, dělejte si poznámky u toho, co považujete za podstatné. Znovu se podívejte na animace a videa a řekněte si, zda jim rozumíte. Znovu vyřešte řešené příklady, ale nejlépe tak, že se podíváte jen na zadání a příklad zkusíte vyřešit sami. Jen pokud vám to nepůjde, podívejte se na postup do studijní opory. Znovu si přečtete shrnutí pojmů a zkuste je popsat vlastními slovy. Pak se můžete pustit do odpovědi na otázky. Otázky jsou formulovány jednoduše, tak abyste odpověď našli v textu. Odpovídejte stručně **písemně!!!** Odpovědi na otázky jsou v **Klíči**, který je vždy na konci velkých kapitol. Odpovědi v Klíči srovnajte se svými odpověďmi. Odpovědi v Klíči a vaše odpovědi se nemusí přesně shodovat, ale měly by mít stejný význam.



## Klíč k řešení

Výsledky zadaných příkladů i teoretických otázek jsou uvedeny v závěru každé hlavní kapitoly. Používejte je až po vlastním vyřešení úloh, jen tak si samokontrolou ověříte, že jste obsah kapitoly skutečně úplně zvládli.

Pak můžete přistoupit k Úlohám k řešení.

Pokud vás daná problematika zaujala a chcete do ní proniknout hlouběji, využijte odkazy uvedené na konci kapitoly.



## Další zdroje

Seznam další literatury, www odkazů ap. pro zájemce o **dobrovolné** rozšíření znalostí popisované problematiky.

**Budete-li mít během studia problémy, s nimiž si nebudete vědět rady, bez obav se obraťte mailem, nebo přímo na pedagogy, jejichž jména se dozvíte na úvodní přednášce.**

## **OBSAH**

<b>1. ÚVOD</b>	<b>1</b>
<b>2. ZÁKLADY TEORIE TVÁŘENÍ</b>	<b>36</b>
<b>3. METALURGICKÁ TVAŘITELNOST OCELÍ</b>	<b>83</b>
<b>4. OHŘEV KOVŮ</b>	<b>105</b>
<b>5. VÁLCOVÁNÍ</b>	<b>131</b>
<b>6. PŘÍKLADY VÁLCOVACÍCH TRATÍ</b>	<b>171</b>
<b>7. KOVÁNÍ</b>	<b>219</b>
<b>8. TVÁŘENÍ ZA STUDENA</b>	<b>265</b>
<b>9. KLÍČ K OTÁZKÁM A ÚLOHÁM K ŘEŠENÍ</b>	<b>305</b>
<b>ANGLICKO-ČESKÝ SLOVNÍK ZÁKLADNÍCH POJMŮ</b>	<b>333</b>



## 1. ÚVOD



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

- Objasnit výjimečnost technologií tvářeni oproti podobným technologiím.
- Rozdělit technologie tvářeni.
- Definovat základní pojmy z oblasti tvářeni.
- Diskutovat o perspektivách oceli.



### Obsah kapitoly

1.1.	Vymezení pojmu tvářeni.....	3
<input type="checkbox"/>	Rozdělení technologií tvářeni.....	4
<input type="checkbox"/>	Charakteristika základních tvářecích pochodů .....	4
1.2.	Rozdělení tvářeni podle tvářecí teploty .....	12
<input type="checkbox"/>	Tvářeni za studena .....	12
<input type="checkbox"/>	Tvářeni za tepla .....	12
<input type="checkbox"/>	Důležité definice.....	14
1.3.	Hutnické tvářeni.....	16
<input type="checkbox"/>	Zvláštnosti hutnického tvářeni.....	16
<input type="checkbox"/>	Současné trendy hutnického tvářeni .....	17
<input type="checkbox"/>	Důsledky modernizace výroby oceli.....	19
1.4.	Královna ocel .....	21
<input type="checkbox"/>	Změny v postavení oceli.....	22
<input type="checkbox"/>	Příklady použití oceli.....	24
<input type="checkbox"/>	ULSAB.....	29



### Zajímavost na úvod

Technologie tvářeni kovů lidstvo zná již nejméně 4 000 let. Dnes je již velký problém určit, který kov začalo lidstvo využívat jako první. Z jistotou lze říct, že již od úsvitu lidských dějin lidé využívaly ty kovy, které bylo možno nalézt v ryzí formě např. v meteoritech, jako jsou zlato, stříbro, měď a železo. Ovšem výrazným pokrokem ve zpracování kovů bylo až zvládnutí jejich výroby z rud. 3 000 let před naším letopočtem začala v Malé Asii a v Egyptě doba bronzová, aby se do roku 2 000 př. n. l. rozšířila do celého středomoří a do jižní Evropy. O 300 let později dorazila tato technologie i do oblastí střední Evropy.

Úžasnou technickou úroveň a zároveň umělecké dovednosti soudobých tvůrců dokumentují mnohé nalezené archeologické památky, např. odlitek hlavy Naramsina – akadijského vládce impéria, které vzniklo na rozvalinách Sumeru z 23 století př. n. l. (**obr. 1.1.**), soška Iberijského bojovníka 1 000 let př. n. l. (**obr. 1.2.**), symbol Říma vlčice kojící bratry Romula a Rema z 5. století př.n.l. (**obr. 1.3.**), 16 metrů vysoká, 444 tun vážící socha Buddhy v Japonsku z roku 752 n. l. (**obr. 1.4.**).



**Obr. 1.1.** Naramsin



**Obr. 1.2.** Iberijský bojovník



**Obr. 1.3.** Romulus a Remus

V časech Starověkého Egypta bylo dosaženo velmi vysoké technologické úrovně, o kterém svědčí zvládnutí technologie výroby a tvářeni zlata. Důkazem mohou být opět některé nalezené památky: pektorál z roku 1 870 př.n.l z hrobky vládkyně Sat-Hathor-Iunit w El Lahun, výška 8,2 cm (**obr. 1.5**) nebo pohřební maska faraóna Tutanchamona z roku 1 325 př.n.l. (**obr. 1.6**). I jiné civilizace dosáhly podivuhodných dovedností při tvářeni zlata: Mykény, zlatá pohřební maska z 26 století př.n.l (**obr. 1.7**), zlatá helma pochází z hrobu Meskalemduga, spíš obyčejného vojáka než krále, Sumer cca 25 století př.n.l. (**obr. 1.8**), Dervénský kráter, což je velká pozlacená nádoba z bronzu, zdobená stříbrem, z roku 330 př.n.l. s vytlačeným božským párem Dionýsos a Ariadna (**obr. 1.9**).



**Obr. 1.4.** Buddha v Japonsku



**Obr. 1.5.** Pektorál



*Obr. 1.6. Pohřební maska Tutanchamonova*



*Obr. 1.7. Pohřební maska Mykény*



*Obr. 1.8. Sumerská helma*



*Obr. 1.9. Dervénský kráter*

## 1.1. Vymezení pojmu tváření



**Čas ke studiu: 1 hodina**



**Pojmy k zapamatování**

Tvarování, tváření, válcování, kování, tažení, protlačování, hladké válce, kalibrované válce, volné kování, zápustkové kování, kovadlo, zápustka, průvlak, průtlačník, průtlačnice, vývalek, výkovek, výtlaček.



## Výklad

Technologie, které mění tvar polotovaru se souhrnně označují jako tvarování:

- Odlévání
- **Tváření** (forming, plastic working, deformation)
- Obrábění
- Svařování
- Prášková metalurgie

**Tváření** je tedy jednou z uvedené množiny technologií. Má však mezi nimi výsadní postavení. Kromě tvaru výrobku, lze touto technologií výrazně ovlivňovat **mikrostrukturu** kovů a tím i jeho **mechanické vlastnosti**.

K přednostem tvářeni patří:

- sériová až hromadná výroba,
- vysoká produktivita práce,
- hospodárné využití kovu,
- zlepšení struktury a mechanických vlastností kovu,
- zvýšená životnost součástí vyrobených tvářením,
- nízká hmotnost tvářených součástí.

### □ Rozdělení technologií tvářeni

Podle toho zda body tvářeného tělesa ležící v jednotlivých rovinách zůstanou v těchto rovinách, nebo se dostanou do jiné roviny rozdělujeme **tvářeni plošné** (rovinné) a **objemové** (hutnické).

#### Objemové (hutnické) (solid, flow forming)

- Válcování
- Kování
- Tažení (drátů)
- Protlačování
- Speciální metody

#### Plošné (strojírenské)

- Lisování plechů
- Ohýbání
- Tažení (plechů)
- Stříhání apod.

### □ Charakteristika základních tvářecích pochodů

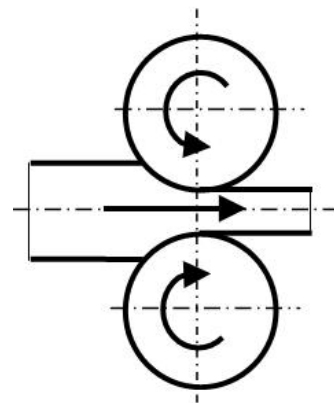
#### Válcování (rolling)

Válcování náleží ke spojitým procesům tvářeni. Tvářeni kovu se děje postupně v mezeře mezi otáčejícími se válci, v tzv. **pásmu deformace**. Podle vzájemné polohy **provalku** a **válců** válcování dále dělíme:

### **Podélné válcování** (longitudinal rolling)

Schéma podélného válcování je na **obr. 1.10**. Válce jsou poháněny ve směru šipek, vtáhnou kov mezi sebe a stlačují jej na výšku, přičemž se vývalek výrazně prodlužuje a také dochází k menšímu našíření.

Podélné válcování je jedním z nejrozšířenějších způsobů tvářeni kovů. Odhaduje se, že až 95 % veškeré vyrobené oceli je v průběhu výroby válcováno. Podle typu vývalku (**tvarové vývalky** – kolejnice, štetovnice, tyče, profily, dráty; nebo **ploché vývalky** – plechy a pásy) podélné válcování dále dělíme takto.



**Obr. 1.10.** Schéma podélného válcování

### **Podélné válcování na hladkých válcích**

Příklad podélného válcování na hladkých válcích uvádějí následující obrázky moderní spojitě válcovny pásů. Na **obr. 1.11**, je detail válcovací stolice kvarto. Na **obr. 1.12**, je sklad denní produkce svitků pásů této válcovny.



**Obr. 1.11.** Válcovací stolice kvarto



**Obr.1.12.** Sklad denní produkce

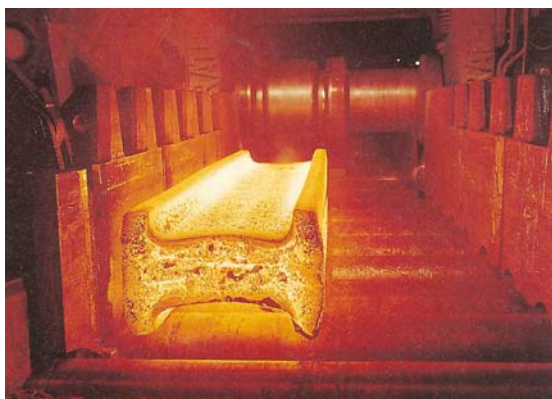


**CD-ROM** 01 Podélné válcování na hladkých válcích

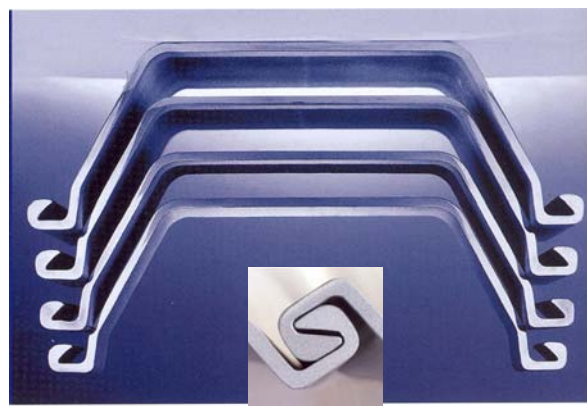
### **Podélné válcování na kalibrovaných válcích**

Příklad podélného válcování na kalibrovaných válcích je uveden na **obr. 1.13**. V popředí obrázku vidíte tvarový vývalek po průchodu **válcovací stolicí**, v pozadí pak válec se speciálními zářezy, zářez na horním a spodním válci potom tvoří tzv. **kalibr**. Častou chybou studentů je, že si pod pojmem kalibrovaný válec představují spíš něco co souvisí s přesným nastavením tvaru tak jako je tomu v metrologii (synonymem je potom pojem cejchování). Do angličtiny se tedy pojem kalibrace (tedy předpis, jak postupně měnit tvar provalku od počátečního polotovaru po konečný vývalek) překládá jako *roll pass design* a ne *calibration*.

Na **obr.1.14.** je uveden příklad dlouhého vývalku *štětovnice*, která se používá při výkopových pracích v sypkém materiálu, nebo např. na říčním či mořském dně. Každé dvě štětovnice se dají navzájem spojit tzv. zámek (viz. detail **obr. 1.14.**), výsledný spoj je v podstatě vodotěsný. Vlastních zářezů (kalibrů) může být na válci víc podle technologických potřeb (viz. **obr. 1.15.**).



**Obr. 1.13.** Válcovací stolice kvarto



**Obr. 1.14.** Štětovnice, v detailu spojení dvou štětovnic pomocí zámku



**Obr. 1.15.** Kalibrované válce se třemi kalibry pro výrobu Z štětovnic



## CD-ROM 02 Podélné válcování v kalibrech

Zvláštním případem podélného válcování je válcování kroužků.

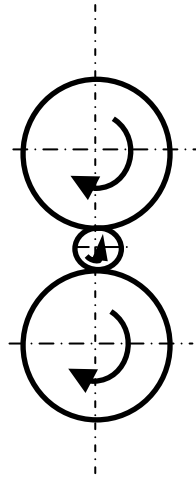


## CD-ROM 03, 04 Válcování kroužků

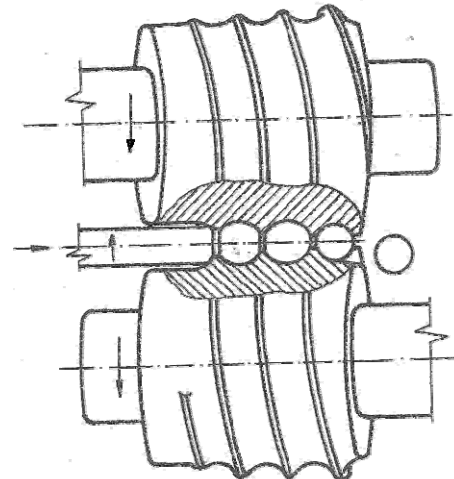
**Příčné válcování** (transverse, cross rolling)

Schéma příčného válcování vidíte na **obr. 1.16.** Charakteristické pro tento způsob válcování je, že osa vývalku je rovnoběžná s osami válců. Válce se otáčejí stejným směrem.

Provalek rotuje ve směru působení výsledných třecích sil v opačném smyslu než pracovní válce. Používá se např. k výrobě hřídelí nebo k válcování mlecích koulí pro cementárny (**obr. 1.17.**) (viz CD).



**Obr. 1.16.** Schéma příčného válcování



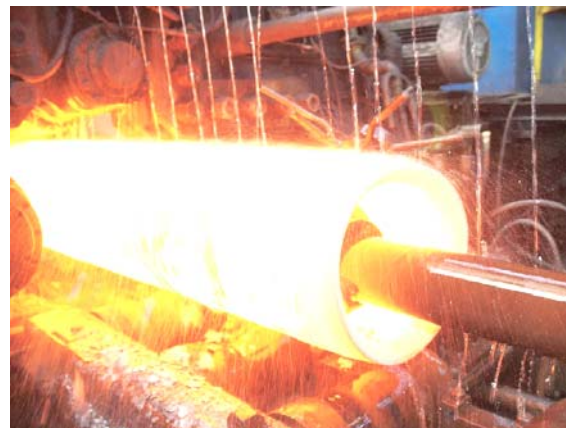
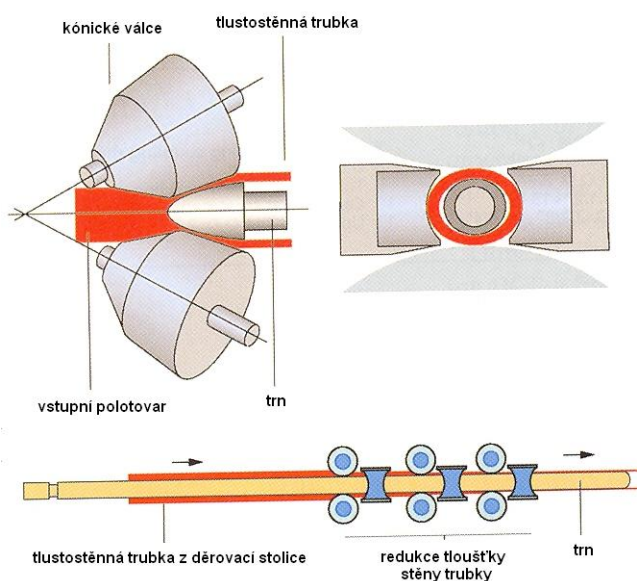
**Obr. 1.17.** Válcování mlecích koulí



**CD-ROM** 05 válcování koulí

### **Kosé válcování**

Kosé válcování je zvláštním případem příčného válcování. Mechanismus plastické deformace je zde obdobný. Osy pracovních válců však nejsou rovnoběžné, ale mimoběžné. Provalek tak nejen rotuje, ale díky mimoběžnosti válců postupuje vpřed ve směru své podélné osy. Tento způsob válcování se využívá při válcování **bezešvých trubek** (viz. **obr. 1.18.**). Je to jeden z nejrozšířenějších způsobů výroby dutých polotovarů.



**Obr. 1.18.** Válcování na děrovací stolici (bezešvé trubky), vlevo schéma, vpravo pohled na výstupní stranu

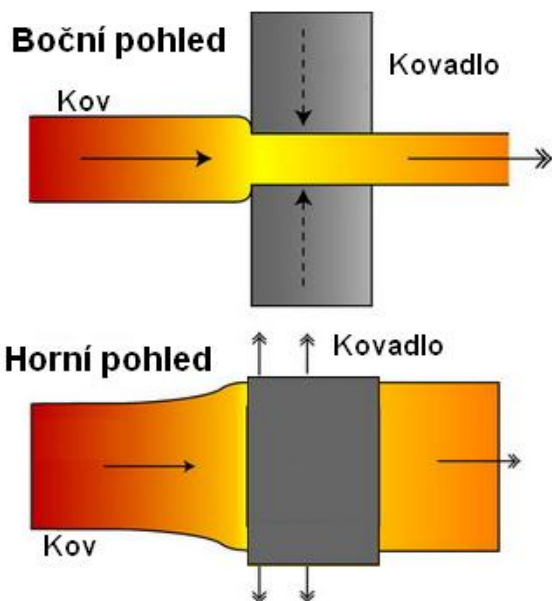
**Kování (forging)**

Kování je zvláštním druhem plastické deformace, kdy se kov přetržitě tváří pohybujícím se nástrojem, přičemž nabývá požadovaného tvaru, výhodné mikrostruktury, příznivé makrostruktury a vysokých hodnot mechanických vlastností. Tím jsou výkovky předurčeny pro služby v nejnáročnějších provozních podmínkách, kde se kromě naprosté spolehlivosti vyžaduje i nízká hmotnost součástí.

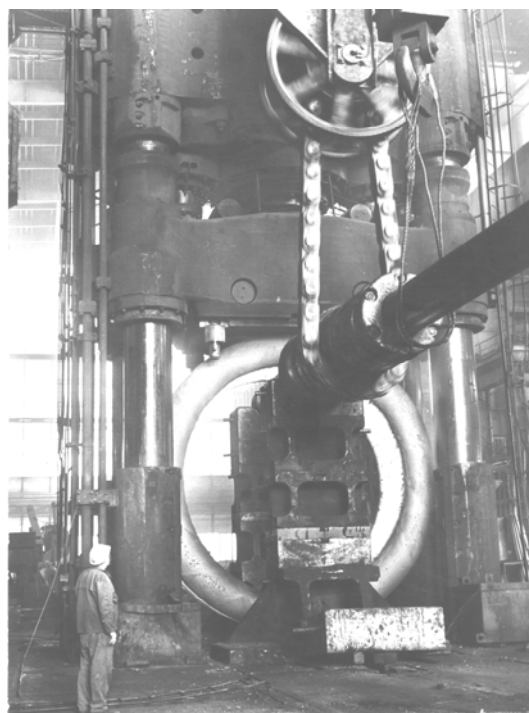
Kování se dělí takto:

**Volné kování (open die forging)**

Volným kovááním se prostřednictvím nástrojů univerzální povahy – **kovadel** – zhotovují tvarově jednoduché volné **výkovky** o hmotnosti až 600 t. Volné výkovky se vyznačují nerovným, silně zokujeným povrchem s velkými přídávky na obrábění a rozměrovými úchytkami. Uplatňuje se především v kusové a malosériové výrobě. Na **obr. 1.19.** je schéma jedné s mnoha operací volného kování – prodlužování. Na **obr. 1.20.** vidíme historickou fotografii kování prstence ve Škodě Plzeň. Vpravo dole si povšimněte stojícího kováře, jehož postava vám dá lepší představu o měřítku fotografie.



**Obr. 1.19.** Schéma prodlužování



**Obr. 1.20.** Historická fotografie kování prstence ve Škodě Plzeň



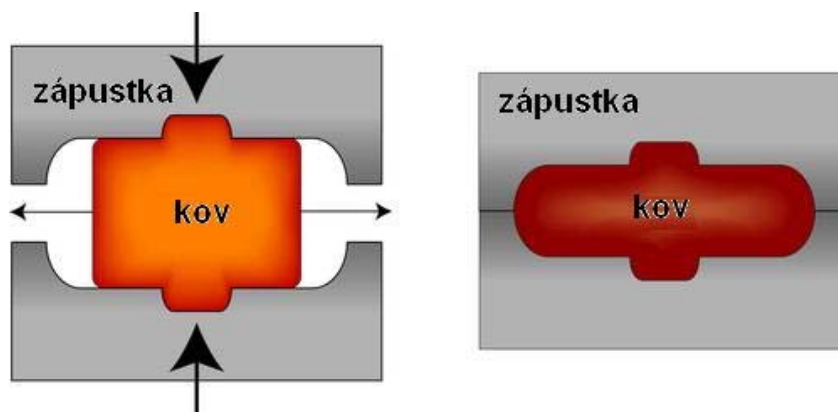
**CD-ROM** 06 Volné kování ingotu, 07 Volné kování kotlů

**Zápustkové kování (die forging)**

Zápustkovým kovááním se rozumí tvářeni v jednoúčelových nástrojích – **zápustkách** – které dávají kovu požadovaný, převážně velmi složitý tvar. Malé přídávky na obrábění, značná rozměrová přesnost a dokonalý povrch zápustkových výkovků omezují výrazně podíl



obrábění při jejich přeměně na hotové strojní součásti. Roste podíl výkovků, které se již dále nemusí obrábět. Hmotnost výkovků nepřesahuje 2 t. Hlavní rozsah zaznamenalo zápuskové kování ve 2. dekádě 20. století s rozvojem automobilismu, který si vyžádal velké série rozměrově stejných součástí, (Ford T). Příklad zápuskového kování rotačně symetrického výkovku v uzavřené zápusce je uveden na **obr. 1.21**.



*Obr. 1.21. Schéma zápuskového kování*



#### **CD-ROM 08** *Zápuskové kování klikové hřídele*

##### ***Tváření předkovků na kovacích válcích*** (reducer rolling, roll forging)

Kovací válce jsou nezbytným doplňkovým tvářecím strojem, na němž se s vysokou výkonností zhotovují předkovky, a to především pro klikové kovací lis, kde nelze uskutečnit některé přípravné operace (prodlužování a rozdělávání). Kovací válce slouží většinou ke zhotovování podlouhlých předkovků s podélně proměnným průřezem pro zápuskové výkovky v sériové výrobě. Nahrazuje předkování v postupových zápuskách a lze na něm též vyrábět jednoduché hotové výkovky.



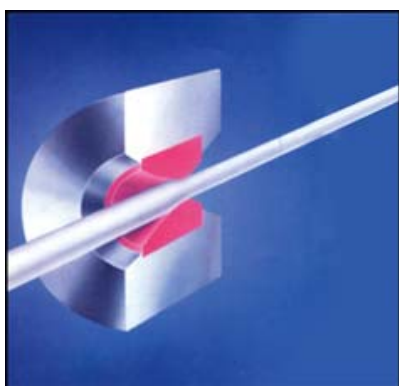
#### **CD-ROM 09** *Válcování na kovacích válcích*

##### **Tažení drátu** (wire drawing)

Výchozí polotovar, vesměs kruhového průřezu, se táhne otvorem nástroje (**průvlaku**), jehož průměr je menší než průměr výchozího polotovaru, při tom se zmenšuje příčný průřez a zvětšuje délka (schéma viz. **obr. 1.22**). Zařízení, které se používá k tažení se nazývá drátotah (viz. **obr. 1.23**). Tažením se dosáhne přesných rozměrů a tvarů, zlepšují se jakost povrchu a mechanické vlastnosti.

Tažení se používá především pro výrobu:

- drátů menších průměrů než 5 až 6 mm,
- drátů a tyčí s průměrem nad 5 až 6 mm pro dosažení požadovaných rozměrových, tvarových nebo mechanických vlastností.



Obr. 1.22. Schéma tažení drátu průvlekem



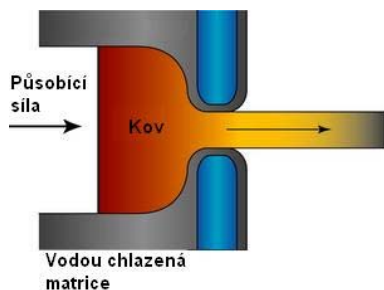
Obr. 1.23. Drátotah



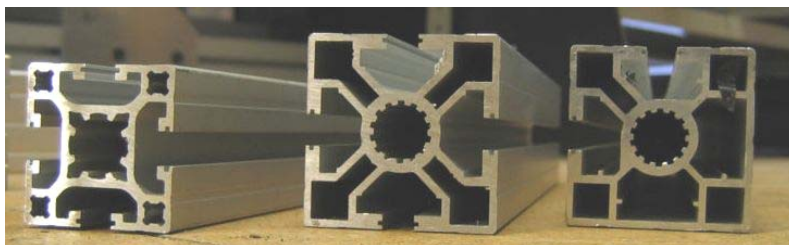
## CD-ROM 10 Tažení drátu

### Protlačování (extrusion)

Prostřednictvím dopředně se pohybujícího **průtlačníku** se výchozí polotovár (nejčastěji kruhového průřezu), protlačuje otvorem v pevně upnuté **průtlačnici**, čímž se získá **protlaček** o menším příčném průřezu. Schéma dopředného protlačování je na **obr. 1.24**. Typickým rysem této technologie je velmi složitý průřez (viz. **obr. 1.25**).



Obr. 1.24. Schéma tažení drátu průvlekem



Obr.1.25 . Příklady protlačovaných profilů



## CD-ROM 11 Protlačování

### Speciální metody tvářeni

- Superplasticita, izotermické tvářeni
- Drobené a kumulativní deformace
- Tvářeni prášků
- Hydrostatické protlačování
- Hydrodynamické mazání
- Tvářeni vysokými rychlostmi a energiemi

- Tváření s ultrazvukem
- Tváření nepevným nástrojem
- ECAP, DECAP, ARB
- a další

## **Σ Shrnutí**

Tváření jako jedna z technologií tvarování je výjimečné tím, že kromě tvaru mění i mikrostrukturu součásti. V rámci tohoto kurzu se budeme věnovat hutnickému (objemovému) tváření, kam patří (podle objemu výroby) tyto technologie: válcování, kování, tažení drátu a protlačování.



### **Otázky 1.1.**

- 1.1.1) Čím se odlišuje tváření od zbývajících technologií tvarování?
- 1.1.2) Která technologie tváření je z hlediska objemu produkce nejvýznamnější?
- 1.1.3) Která slova charakterizují volné kování?
  - a) Speciální nástroje, kusová výroba, velké přídavky na obrábění.
  - b) Speciální nástroje, hromadná výroba, malé přídavky na obrábění.
  - c) Univerzální nástroje, kusová výroba, velké přídavky na obrábění.
  - d) Univerzální nástroje, hromadná výroba, zokujený povrch
- 1.1.4) Co je to kalibr při válcování tvarové oceli?
- 1.1.5) Jaký je rozdíl mezi kolejnicí a kolejemí?
- 1.1.6) Vymenujte výhody tváření oproti ostatním technologiím.



### **Úlohy k řešení 1.1.**

- 1.1.1. Pomocí nástroje kreslení programu MS WORD nakreslete schéma podélného válcování.
- 1.1.2. Pomocí nástroje kreslení programu MS WORD nakreslete řez průvlakem, při tažení drátu.
- 1.1.3. Pomocí internetu zjistěte kdo v ČR vyrábí štetovnice, kolejnice, pásy a plechy.
- 1.1.4. Pomocí internetu najděte alespoň 3 zápusťkové kovárny v Severomoravském kraji.
- 1.1.5. V životní velikosti načrtněte kolejnici v řezu.

## 1.2. Rozdělení tvářeni podle tvářecí teploty



Čas ke studiu: 0,5 hodiny



### Pojmy k zapamatování

Tvářeni za studena (cold forming), tvářeni za tepla (hot forming), uzdravovací procesy (softening), rekrytalizace (recrystallization), teplota nulové rekrytalizace (rekrytalizační teplota), zotavení (recovery), zpevnění (hardening)



### Výklad

Podle chování kovu během tvářeni se rozlišuje **tvářeni za tepla a za studena**, přičemž za hranici mezi těmito způsoby tvářeni se považuje **rekrytalizační teplota** (nebo také **teplota nulové rekrytalizace**)  $T_R = \text{cca } 0,4 T_T$  ( $T_T$  je teplota tání kovu v Kelvinech).

#### □ Tvářeni za studena

Při válcování nebo tažení za studena dochází k protažení zrna ve směru hlavní deformace. Objem zrna se však nemění (viz. **obr. 1.25.**). Protože jsou potlačeny **uzdravovací procesy (rekrytalizace a zotavení)** dochází vlivem vyčerpávání příznivě orientovaných skluzových systémů a protínání dislokací, kvůli jejich zvýšenému počtu ke **zpevnování kovu**.

#### □ Tvářeni za tepla

Při tvářeni za tepla dojde po překročení kritické deformace k nukleaci a růstu nových zrn (**rekrytalizace**). Počáteční stádium dynamická rekrytalizace (DRX) je zachyceno na **obr. 1.26.** Můžeme vidět původní velké protažené (deformované) zrno a na jeho hranicích nová polyedrická rekrytalizovaná zrna. Při rekrytalizaci dochází k výraznému zjemnění zrna, což má následně velmi příznivé dopady na **tvářitelnost** kovu.

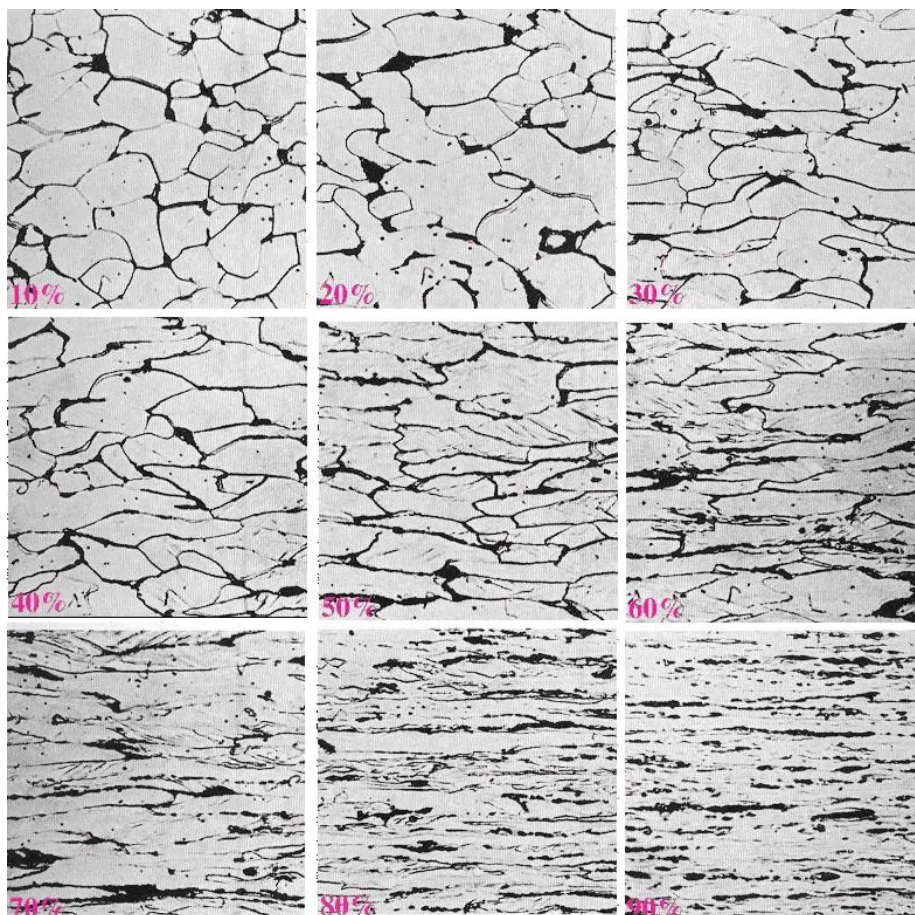


**CD-ROM** 12 Tvářeni za studena – struktura, vlastnosti; 13 Tvářeni za tepla – struktura

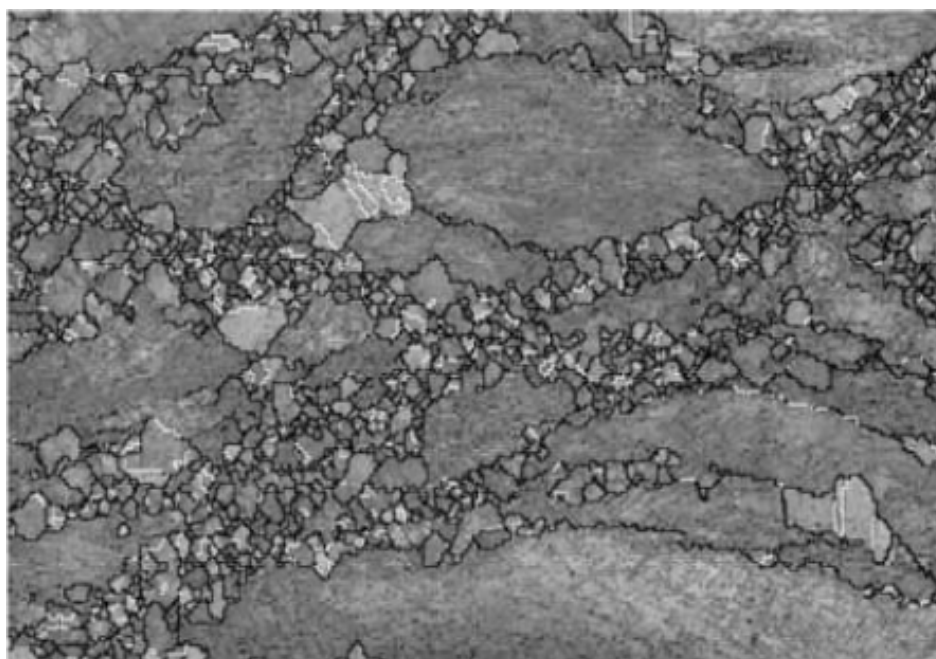


**CD-ROM** 14 Tahová zkouška – pojmy

Vliv tvářeni za tepla a za studena na výsledné vlastnosti kovu, uvádí **tabulka 1.1.** Povšimněte si hlavně rozměrů, povrchové kvality a mechanických vlastností tvářených výrobků.



**Obr. 1.25.** Vývoj mikrostruktury feritické oceli při válcování za studena v závislosti na velikosti deformace



**Obr.1.26.** Projev dynamické rekrytalizace, zárodky nových (rekrytalizovaných) zrn na hranici původního deformovaného zrna

Tabulka 1.1. Vliv tvářeni za tepla a za studena na výsledné vlastnosti kovu

Vlastnost		Tvářeni	
		Za studena	Za tepla
Rozměry		Nejmenší tloušťka téměř neomezena: fólie $\geq 0,0015$ mm dráty $\geq 0,005$ mm	Nejmenší tloušťka omezena teplotními ztrátami pásy $\leq 0,8$ mm dráty $\leq 5$ mm
Rozměrová přesnost		Vysoká	Nižší následkem rozdílného smršťování z dotvářecí teploty.
Povrchová jakost		Lepší následkem použití maziva	Horší v důsledku zokoujení a omezené použitelnosti maziva.
Průřezový profil		Jednoduché tvary	Velmi složité tvary následkem příznivého toku kovu
Struktura	zrno	Výrazně protažené	Polyedrické následkem uzdravovacích procesů
	velikost zrna	Nezměněna	Závislá na velikosti deformace a dotvářecí teplotě
	textura	Při vysokém stupni protvářeni výrazně orientovaná	Sotva patrná
Zpevnění		Značné	Vesmíš eliminováno uzdravovacími procesy
Vnitřní pnutí		Vysoké	Žádné
Strukturně nezávislé vlastnosti: $E, c, \beta$		Slabě pozměněny	Nezměněny
Strukturně závislé vlastnosti: $R_m, R_e, A, Z, KC$		Značně zvýšeny Značně sníženy	Téměř nezměněny

## □ Důležité definice



- **Tvařitelnost (formability)** – schopnost materiálu snášet plastické deformace za určitých podmínek tvářeni až do porušení soudržnosti.
- **Metalurgická tvařitelnost** – vyjadřuje vliv metalurgických činitelů na tvařitelnost za daných termomechanických podmínek.
- **Technologická tvařitelnost** – vyjadřuje vliv dané technologie tvářeni na pravděpodobnost vzniku trhliny. Je ovlivněna především stavem napjatosti a vnějším třením. Pokud hovoříme o tvařitelnost pro nějakou konkrétní technologii můžeme použít pojmy : válcovatelnou, kovatelnost, tažitelnost apod.
- **Plastičnost (plasticity)** je schopnost materiálu se plasticky deformovat v rozsahu deformací od počáteční do mezní (mírou plasticity je stupeň deformace, kterého se dosáhne za různých termomechanických podmínek do okamžiku porušení soudržnosti). Počáteční plastičnost vyjadřuje přechod od pružného do plastického stavu. Mezní plastičnost odpovídá podmínkám vzniku prvních trhlin.
- **Deformace (strain)** - změna tvaru tělesa. Těleso mění tvar v důsledku působení síly. Silové působení mění vzájemné polohy atomů, ze kterých se těleso skládá. V případě, že se po odstranění působící síly těleso vrátí do původního tvaru, mluvíme o pružné (elastické) deformaci. V důsledku působení sil může rovněž dojít k nevratným změnám v poloze atomů tělesa. V takovém případě mluvíme o plastické deformaci.

- **Termomechaniční činitele** výrazně ovlivňují např. uzdravovací procesy. Patří k nim teplota, deformace, deformační rychlost (rychlost přírůstku deformace) a historie tváření.



## Otázky 1.2.

- 1.2.1) Co je to rekrytalizace?
- Vznik a růst krystalů kovu z taveniny.
  - Vznik a růst krystalů nové fáze při fázové přeměně.
  - Vznik a růst krystalů stejné fáze.
- 1.2.2) Co jsou tmavé oblasti na fotografii mikrostruktury na **obr. 1.25**?
- Vady krystalů.
  - Hranice zrn.
  - Nekovové vměstky.
- 1.2.3) Při DRX vzniká polyedrické zrno. Co je to polyedr?
- 1.2.4) Co je to rekrytalizační teplota?
- 1.2.5) Jaký je rozdíl mezi tvařitelností a plastičností?
- 1.2.6) Čím daná technologie ovlivňuje pravděpodobnost vzniku trhliny při tváření?
- 1.2.7) Jaký je rozdíl mezi pružnou a elastickou deformací?
- 1.2.8) Jak definujeme počáteční plastičnost?



## Úlohy k řešení 1.2.

- 1.2.1. Rozhodněte, zda se jedná o tváření za tepla či za studena:
- Laboratorní válcování olověných vzorků za pokojové teploty.
  - Tažení wolframového drátu pro výrobu žhavicích vláken pro žárovky za teploty 1 000°C
  - Válcování kolejnic na vratné trati Třineckých železáren při teplotě 1 100°C
- 1.2.2. Nakreslete diagram tahové zkoušky a v něm vyznačte:
- místo přechodu mezi pružnou a plastickou deformací,
  - velikost deformace odpovídající plastické deformaci,
  - modul pružnosti v tahu,
  - tažnost,
  - pevnost.

### 1.3. Hutnické tvářeni



**Čas ke studiu: 1,5 hodiny**



#### Pojmy k zapamatování

Ingot, plynule litý polotovar (kontislitek), dendritická struktura, segregace, vměstky, termomechanické podmínky tvářeni, nerovnoměrná deformace, válcovací trať, near net shape casting, řízené tvářeni, tepelné zpracování, zušlechťování, just in time, integrovaná huť, minihuť.



#### Výklad

Hutnické tvářeni představuje závěrečný úsek hutnického cyklu, v němž se zhodnocuje vytavená ocel do podoby pestrého sortimentu tvářených výrobků. České hutnictví patřilo v meziválečném období bezesporu ke světové špičce, vždyť se mohlo pochlubit dodávkami pro chloubu Britského impéria Královské námořnictvo, velké výkovky pro lodní motory ze Škody Plzeň a pancéřové plechy z Vítkovic, to byly ve své době bezkonkurenční výrobky. I když bylo v éře budování socialismu hutnictví protežovaným oborem přesto, začalo zaostávat za světovou špičkou a po roce 1990 s rozpadem RVHP (Rada vzájemné hospodářské pomoci, obdoba evropského společenství) se dostalo na samé dno.

Uveďme si důvody zaostávání českého hutnictví:

1. Velmi nízký podíl ušlechtilých ocelí (7%)
2. Nízký podíl plochých výrobků (31%)
3. Nízký podíl svařovaných trubek (45%)
4. Zanedbatelný podíl za studena válcovaných pásů.
5. Mizivý podíl povrchově zušlechťovaných produktů.

Už z těchto bodů je v podstatě jasné, kam se vydal světový vývoj v oblasti hutnického tvářeni.

#### □ Zvláštnosti hutnického tvářeni

Hutnické tvářeni, jímž rozumíme tvářeni polotovarů a hotových produktů v hutích, se proti ostatním, vesměs navazujícím způsobům tvářeni vyznačuje těmito zvláštnostmi.

1. Na prapočátku veškerého tvářeni se zde jedná o **cílenou změnu vlastností** (to především) příznačnými vadami postižené **licí struktury kovu** (dendritická struktura s necelistvostmi rozličného původu, segregacemi, vměstky), která, ať již v podobě stacionárně odlévaných ingotů, anebo plynule odlévaných polotovarů, se vyznačuje **sníženým deformačním chováním** (především pak zhoršenou tvařitelností), jehož úspěšné zvládnutí vyžaduje vesměs velmi obezřetné vymezení základních **termomechanických podmínek**



**tvářeni** (např. tlakový stav napjatosti, užší rozmezí tvářecích teplot, menší dílčí i celkové úběry, nižší deformační rychlost).

2. Hutnické tvářeni se musí vyrovnat se **značnou nerovnoměrností deformace**, která je vyvolána především mimořádnou velikostí výchozích polotovarů (u kovářských ingotů ojediněle až 600 t!), a tím i krajně nepříznivou štihlostí pásma deformace (např. při pěchování  $h_o/d_o \leq 3$ ), což neobyčejně ztěžuje rovnoměrný průnik deformačního účinku celým tvářeným objemem, a to i na energosilově nejmocnějších tvářecích strojích.

3. Dva donedávna ještě zcela samostatné a svou fyzikálně-metalurgickou podstatou zcela odlišné pochody, totiž výroba oceli a její válcování (tavenina - tuhý kov), jsou v soudobém hutnickém cyklu důsledně propojeny plynulým odléváním v naprosto **spojitý**, ojediněle již **nekonečný pochod**, na který podle potřeby navazuje zkrácené tepelné zpracování z doválcovací teploty a válcování za studena.

4. **Obrovské objemy hromadné produkce hutnického tvářeni**, kdy jediná válcovací trať může vyválcovat až 6 Mt vysoce jakostních výrobků za rok, k čemuž, kromě jiného, přispěla úplná automatizace válcovacích tratí, jejich uspořádání (převládají spojité a polospojité tratě) a podstatné zvýšení válcovací rychlosti, která dnes při válcování drátu za tepla dosahuje zcela běžně  $100 \text{ m.s}^{-1}$ , u nejnovějších tratí až  $120 \text{ m.s}^{-1}$ , s nedalekým výhledem až do  $140 \text{ m.s}^{-1}$ .

5. Hutnicky tvářený produkt se vyznačuje neobyčejně **různorodým způsobem dalšího užití** či zpracování. Tak např. za tepla vyválcovaný ocelový drát, může být konečným produktem (třeba v podobě vázacího drátu), anebo polotovarem (výchozím materiálem) pro další tvářeni (tažení tenčího drátu za studena nebo objemové tvářeni), obrábění (drobné strojní součásti, např. hřídelky apod.) i svařování (vyztuž do betonu apod.), splétání (lana, pletiva, sítě a pod.) či ohýbání (pružiny, rámy, konstrukce).

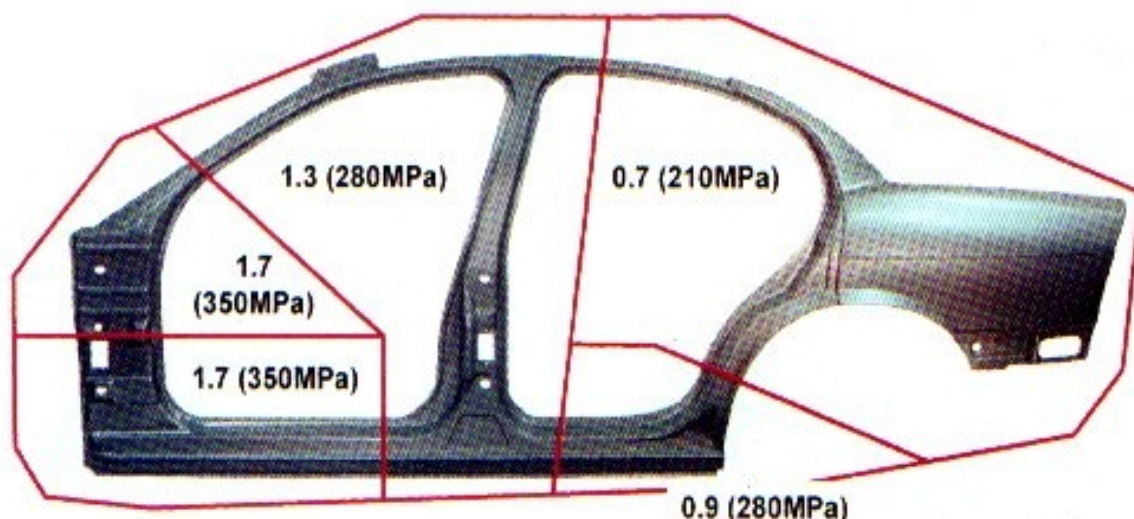
#### □ **Současné trendy hutnického tvářeni**

Vyplývají především z převratných změn v tavicích pochodech (konvertorová metalurgie a elektrometalurgie), sekundární metalurgii a plynulém odlévání oceli a jednoznačně těží z dodávek mimořádně **metalurgicky rafinované** a tedy **velmi čisté oceli**. Takto neustále vylepšovaná licí struktura již postupně ztrácí typické znaky ingotové oceli a k její přeměně na konečný produkt se vystačí s mnohem menším stupněm celkové deformace, což ve svých důsledcích usnadňuje a zjednodušuje její návazné tvářeni, ale současně poskytuje východiska pro dříve netušené možnosti jejího dalšího zpracování.

Za rozhodující vývojové trendy hutnického tvářeni lze v tomto duchu považovat:

- **zkrácení tvářecích pochodů** v důsledku dodávek stále přesnějších a konečnému tvaru bližších kontislitků (near net shape casting),
- podstatné **zvýšení tvarové a rozměrové přesnosti**, jakož i **reprodukovatelnosti** tvářených výrobků,

- výrazné **zúžení rozptylového pole mechanických vlastností** tvářených výrobků,
- zavádění pochodů **řízeného tvářeni** s přesným stanovením vzájemné provázanosti základních parametrů tvářeni (tvářecí teplota, velikost deformace, rychlost deformace; prodlevy, přihřátí, zrychlené či zpomalované ochlazování mezi jednotlivými průchody),
- důmyslné **využití dotvářecí teploty pro návazné tepelné zpracování**,
- dosažení **přesně definované textury** povrchu tvářených výrobků,
- neustálý rozvoj sofistikovaných postupů **povrchového zušlechťování** tvářených produktů,
- důsledně **uživatelsky orientovaná diverzifikace sortimentu**, např. na míru laserem svařované tabule plechu různé tloušťky, rozličných vlastností a rozmanité povrchové úpravy zjednodušující montáž automobilových karosérií (tailored blanks viz. **obr. 1.27.**), anebo ploché vývalky funkčně gradientních vlastností (složené z různorodých materiálů, např. ocel - plasty, ocel - hliník, ocel – titan apod.),
- významné **zkrácení výrobních lhůt** od převzetí zakázky,
- pružné a zákazníkem načasované plnění dodávek (**just- in-time delivery**),
- zavádění počítačové podpory (**neuronové sítě** pro řízení tvářecích pochodů, **matematické modelování pomocí metody konečných prvků** pro predikci mikrostruktury, mechanických vlastností po tvářeni i tepelném zpracování, **CAD systémy** pro návrhy nástrojů (kalibrované válce, zápustky, tvarové průvlaky a matrice pro protlačování), programy pro **statistické zpracování dat**, které umožňují efektivně zpracovávat data z **automatických systémů řízení výroby**,
- důsledná **ekologizace** celého výrobního procesu (např. snížení emisí CO<sub>2</sub> následkem omezení či úplného zrušení ohřevu před tvářením anebo recyklace zaolejovaných okují).



**Obr. 1.27.** Vysvětlení pojmu tailored blank, což je červeně ohraničený svařenec z 5 pěti plechů 4 různých jakostí (číslo před závorkou je tloušťka v mm a číslo v závorce je pevnost v MPa), ze kterého se následně lisováním vyrobí část automobilové karosérie

## □ Důsledky modernizace výroby oceli

Právě na těchto trendech byla v poslední čtvrtině 20. století založena rozsáhlá restrukturalizace hutního průmyslu podepřená v pravdě **revolučními zvraty v ocelářském výrobním cyklu**. Zavádění minihutí se zkráceným výrobním cyklem, důmyslné propojení donedávna ještě oddělených výrobních úseků (výroba oceli a válcování) do zcela plynulého, energeticky, časově i nákladově úsporného pochodu s nesrovnatelně vyšší produktivitou, důsledná automatizace a rozšíření sofistikovaných postupů povrchové úpravy, to vše se promítlo nejen do zvýšení jakostních ukazatelů, ale i do **velmi příznivých cenových relací**.

*Tabulka 1.2. Revoluční zvraty v ocelářském výrobním cyklu*

Ukazatel	1975	1995
Výroba oceli (Mt/rok)	600	700
Převládající technologie	Integrované hutě	Minihutě
Ekologické problémy	Bezvýznamné	Velmi významné
Energetická náročnost (Gj/t)	35 až 40	9 až 15
Počet zaměstnanců	2 357 000	1 059 000
Produktivita práce (h/t oceli)	6 až 12	0,5 až 1,5
Cena oceli (USD/t)	400	300 až 400

Zásadním způsobem modernizovaný a dnes i ekologizovaný ocelářský průmysl nabízí své špičkové produkty ve zcela novém obraze, a to zejména:

- k uskutečnění netradičních a nevyčerpatelných **inovačních podnětů**;
- s velmi **širokou a pestrou škálou mechanických a fyzikálních vlastností** umožňujících spolehlivé a dlouhodobé provozování v obdivuhodném teplotním rozmezí od -270 do 1 000 °C, a to v hlubokém vakuu i za vysokých tlaků, pod vlivem agresivních látek i nebezpečného záření;
- snadno **přizpůsobitelné** nově vznikajícím, mnohdy značně protichůdným nárokům uživatele;
- nabízející pro zajištění současných i výhledových životních podmínek řešení, spočívající na bezpečnosti, pružnosti, výkonnosti a působivém estetickém účinku technického ztvárnění;
- **uživatelsky nasměřované**, tedy „šité na míru“ velmi různorodým požadavkům uživatele;
- splňující nedávno ještě nepředstavitelné nároky na **tvárovou a rozměrovou přesnost**, jakož i dokonalou povrchovou jakost;
- zaručující dlouhodobou stabilitu svých jakostních ukazatelů;
- s úplnou, dokonale propracovanou a životní prostředí šetřící recyklací.

## Σ Shrnutí

České hutnické tvářeni i přes svou špičkovou minulost začalo na konci minulého století zaostávat za světem, protože v celkové produkci zabíraly ušlechtilé oceli, ploché výrobky, svařované trubky za studena válcované pásy a zušlechťované výrobky nízký nebo mizivý podíl. Zvláštnostmi hutnického tvářeni je: cílená změna mechanických vlastností, nerovnoměrná deformace, spojení výroby oceli a tvářeni do spojitého pochodu, hromadnost výroby. Rozhodující vývojové trendy hutnického tvářeni lze spatřovat v lití tvarově přesných kontislitků, zvýšení rozměrové přesnosti, snížení rozptylu mechanických vlastností, využití řízeného tvářeni a tepelného zpracování, využití matematického modelování apod. V poslední čtvrtině prošel světový ocelářský průmysl významnou modernizací, přechod z integrovaných hutí na minihutě znamenal výrazné zlevnění výroby, při současném citlivém vnímání ekologických aspektů výroby oceli.



### Otázky 1.3.

- 1.3.1) S použitím internetu definujte pojmy Near Net Shape Casting, Tailored Blanks, Just in Time).
- 1.3.2) Jaký je rozdíl mezi ingotem a kontislitkem?
- 1.3.3) Jak jinak můžeme nazvat hutnické tvářeni?
- 1.3.4) V čem zaostává české hutnické tvářeni za vyspělou světovou konkurencí?
- 1.3.5) Co jsou to ploché výrobky?
- 1.3.6) Co se skrývá za pojmem povrchové zušlechťování?
- 1.3.7) Co je prvotním cílem hutnického tvářeni?
- 1.3.8) Vyjmenujte hlavní trendy hutnického tvářeni?
- 1.3.9) K jakým revolučním zvrátům došlo v ocelářském výrobním cyklu v poslední čtvrtině minulého století?
- 1.3.10) Co je to minihut? Čím se liší od klasické integrované hutě? Uveďte příklady z Moravskoslezského kraje.



### Úlohy k řešení 1.3.

- 1.3.1. Seřadte následující produkty od nejvyspělejšího. Ke každému produktu uveďte svůj komentář, proč ho řadíte na dané místo.
  - a) za tepla válcovaná tyč kruhového průřezu  $d = 25$  mm z oceli třídy 12,
  - b) kolejnice UIC60 z eutektoidní oceli,
  - c) tažený pozinkovaný drát z nízkouhlíkové oceli určený k poplastování pro pletiva,
  - d) pás válcovaný za studena, pocínovaný, tloušťka 0,6 mm určený pro nápojové plechovky,
  - e) válcovaný drát z oceli třídy 11,
  - f) pás válcovaný za tepla z mikrolegované oceli.

## 1.4. Královna ocel



**Čas ke studiu: 1,5 hodiny**



### Pojmy k zapamatování

Krystalizace, legování, strukturní změny, zpevňování, tvařitelnost, magnetické vlastnosti, svařitelnost, nanášení povlaků, ekologie, recyklace, metoda konečných prvků, ULSAB, Oceli: IF, BH, TRIP, TWIP, DP, CP, HSLA, Martenzitické



### Výklad

#### Ocel – prvořadý konstrukční materiál mocného inovačního a ekologického potenciálu

Již přes 300 let si ocel udržuje postavení základního konstrukčního, hromadně vyráběného materiálu. Ocel je úzce spjata s technickým pokrokem a s trvalým vylepšováním životních podmínek. Klíčové objevy spojené s ocelí: *parní stroj, železnice, telefon, telegraf, elektřina, rádio, televize, automobil, letadlo, počítač atd.* Ale ani další významné, s ocelí soupeřící konstrukční materiály (neželezné kovy, beton, keramika, plasty, kompozity aj.) by se stěží daly bez oceli vyrábět, zpracovávat a používat.

O významném a sotva zastupitelném postavení oceli v pestré rodině novodobějších materiálů svědčí i to, že svou roční výrobou v celosvětovém měřítku (1,5 Gt v roce 2010) převyšuje téměř 15x výrobu všech ostatních kovů dohromady a dvacetkrát výrobu jakéhokoliv z dalších materiálů s výjimkou betonu.

Stále totiž platí, a ani v dlouhodobém výhledu platit nepřestane, že každá vyspělá národní ekonomika založená na zpracovatelském průmyslu a rozvinuté infrastruktuře (a to je snad stále i případ naší země) se neobejde bez jakostní oceli v podobě velmi rozvrstveného sortimentu konstrukčních prvků se špičkovými, uživatelsky nasměřovanými vlastnostmi „šitými na míru“ stále náročnějším požadavkům konstruktérů, projektantů, architektů a v konečné fázi též uživatelů finálních stavebních objektů.

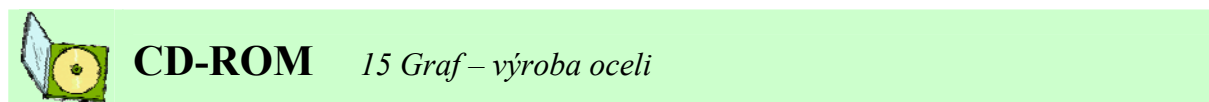
Ve své současné a neustále se rozvíjející podobě je ocel obtížně nahraditelná, neboť vytváří a neustále obměňuje mnohotvárnou materiálovou základnu rozmanitých konstrukčních prvků, uzlů a hotových objektů ve všech návazných odvětvích národního hospodářství, od komplexního zabezpečení výživy přes strojírenství, energetiku, stavebnictví, obchod, dopravní systémy, zbrojní průmysl, informatiku až po zdravotnictví, kulturu, sport a zábavní „průmysl“.

## □ Změny v postavení oceli

Ve vyspělých zemích není již ocel léta spjata přednostně s rozvojem těžkého průmyslu, jako tomu bylo donedávna u nás, ale nastavuje široké veřejnosti především svou lidskou dimenzi v podobě útulných lidských příbytků, reprezentativních správních budov, odlehčených hal rozlehlých obchodních a společenských středisek, přitažlivých podnikatelských objektů, vzdušných sportovních hal, obřích odbavovacích hal dopravních systémů (letišť, nádraží), působivých mostních konstrukcí, rozmanitého pouličního mobiliáře apod. V převážné většině případů se jedná o zdařilá stavební díla citlivě zasazená do svého bezprostředního okolí, jemuž tak propůjčují i tolik potřebný zkrášlující náboj vysokého estetického účinku.

Poznatky z hospodářského vývoje průmyslově vyspělých zemí totiž naznačují, že přes občasné konjunkturální otřesy, vyvolané mnohdy recesí jiných, na dodávkách oceli silně závislých odvětví (např. u nás v 90. letech útlum stavební činnosti) si ocel díky svým fyzikálně-chemickým, mechanickým a kupodivu i ekologickým vlastnostem nadále zachovává své postavení jako moderní konstrukční materiál neustále obohacovaný neotřelými myšlenkovými podněty.

Nelze přehlédnout, že v posledním 25 letech minulého století došlo několikrát ke zpomalení přírůstku oceli, mnohdy mylně vykládaného jako projev ztráty perspektiv tohoto materiálu.





Ke snížení výroby oceli v 90. letech minulého století, přispělo kromě krize těžkého průmyslu v bývalém východním bloku, také nasycení spotřeby v průmyslově vyspělých zemích. Přispívá k tomu ovšem i neustálé zdokonalování metalurgických pochodů, kdy se k finálním výrobkům dospěje s **menší spotřebou oceli**. Opomenout nelze ani **neustále zlepšované vlastnosti oceli a zcela nové metody konstruování a projektování** (např. metoda konečných prvků), což v souhrnu vede k **podstatnému odlehčení konstrukcí a výraznému prodloužení jejich životnosti**.

### **Obr. I.28.** Příklad 1: Eiffelova věž

*Eiffelova věž (1889) – celková hmotnost 7 000 t oceli (5 000 t profilů a 2 000 t nýtů). Dnes (při použití dnešní výšepevnostní oceli) by vážila jen 2 000 t !*



<p><b>Obr.1.29. Příklad 2: Kolejnice</b></p> <p><i>V roce 1960 pokládané kolejnice o metrové hmotnosti 50 kg vykazovaly životnost 14 let. Dnes kladené, tepelně zpracované kolejnice mají v současnosti vyšší metrovou hmotnost (např. 65 kg), ale budou se vyřazovat až za 40 let. Přičemž se výrazně zvýšil tlak na jednu železniční nápravu a zároveň rychlost vlaků.</i></p>	
<p><b>Obr.1.30. Příklad 3: Autojeřáb</b></p> <p><i>Na autojeřáb o nosnosti 140 t se v roce 1975 spotřebovalo 95 t oceli. Z téhož množství oceli, ale vyšších pevnostních parametrů, se dnes vyrábějí autojeřáby o nosnosti až 800 t.</i></p>	

Ocel, oproti jiným materiálům, nabízí celou řadu často i protichůdných vlastností, což vyplývá z těchto jejich charakteristik a možností:

- ovlivnitelný průběh odlévání a **krystalizace**
- **legování** mnohými prvky
- teplotou vyvolané **strukturní změny** při různých způsobech ochlazování (překrystalizace), z čehož se vychází při tvářeni a tepelném zpracování.
- velký počet zcela odlišných **zpevňovacích mechanismů**.
- **tvařitelnost** až do 1 200°C
- schopnost měnit **magnetické vlastnosti**
- **svařitelnost** – technická vhodnost pro spoje předepsaných vlastností
- vhodnost k **nanášení povlaků** kovové a organické povahy k cílenému ovlivňování povrchových vlastností.
- **ekologicky nezávadná výroba a recyklace**.

□ Příklady použití oceli

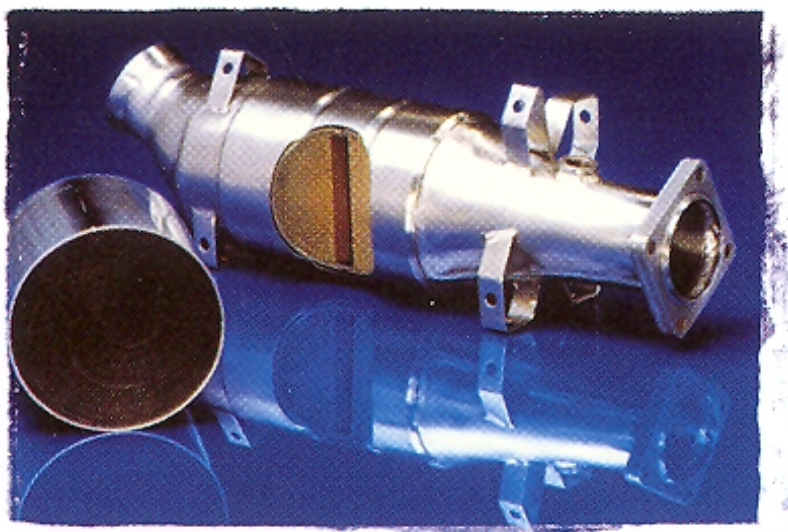


*Obr.1.31. 6,8 km dlouhý ocelový most spojující dánský ostrov Zealand s pevninou.  
Dva hlavní kabely mají průměr 826 mm. Jsou vyrobeny z taženého drátu.*



*Obr.1.32. Obří nakladač DEMAG. Lžice musí být velmi odolná proti opotřebení, celá konstrukce musí být zároveň velmi pevná.*

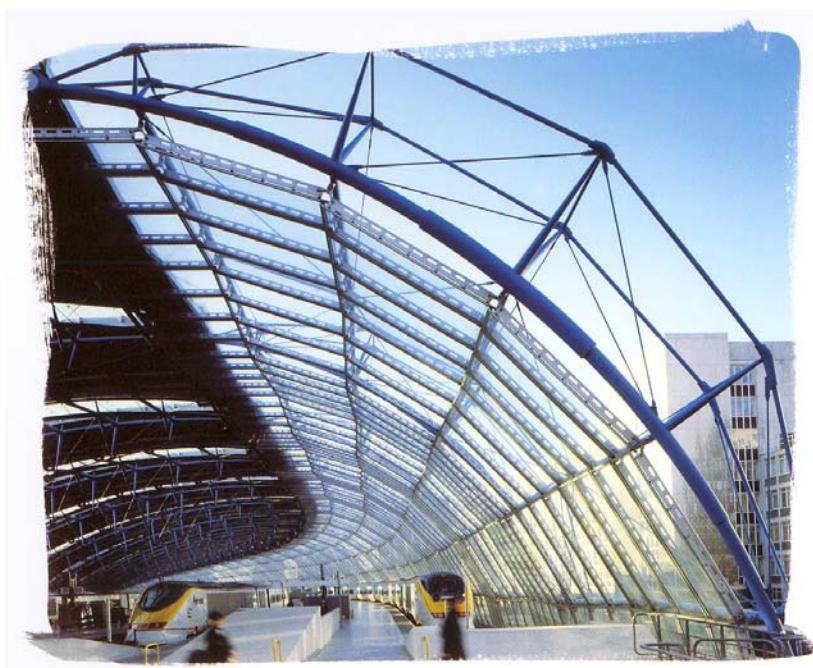




*Obr.1.33. 100 % recyklovatelný katalyzátor z nerez oceli. Vnitřek je vyplněn tenkou ocelovou fólií o ploše několika fotbalových hřišť.*



*Obr.1.34. Nové pokroky v pocínování ocelových fólií vytlačují hliník z pozice č.1 v oblasti potravinářského průmyslu.*



*Obr.1.35. Mezinárodní vlakový terminál Waterloo, Londýn. Příklad použití ocelových konstrukcí ve stavebnictví.*



*Obr.1.36. Ropná plošina, určená pro Severní moře. Musí odolávat extrémním vlivům počasí a korozivním účinkům slané mořské vody.*

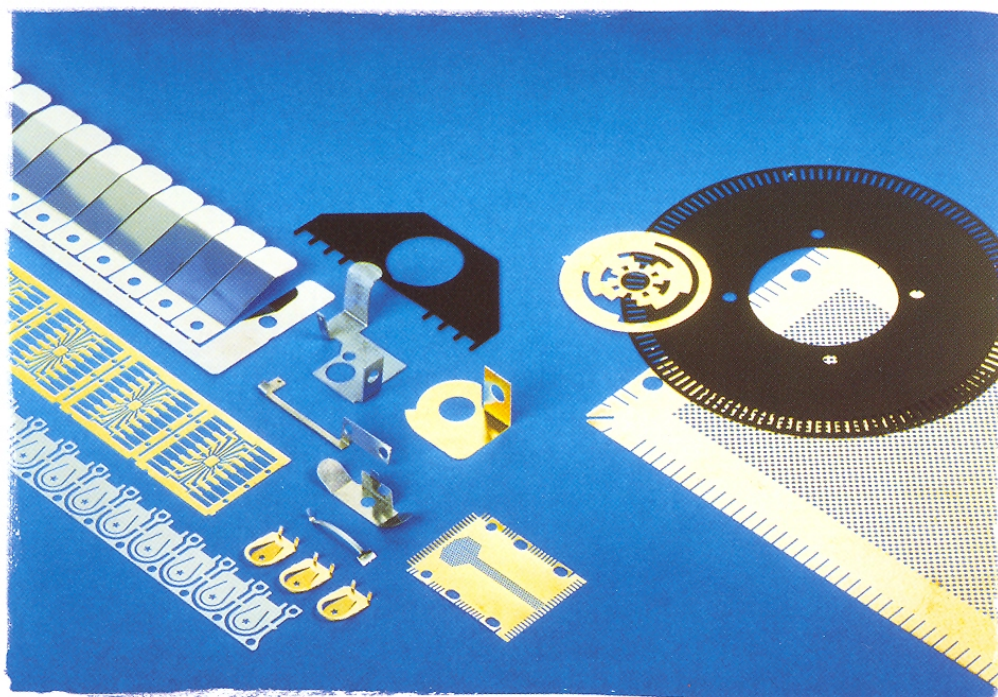


*Umění uvnitř, umění venku.*

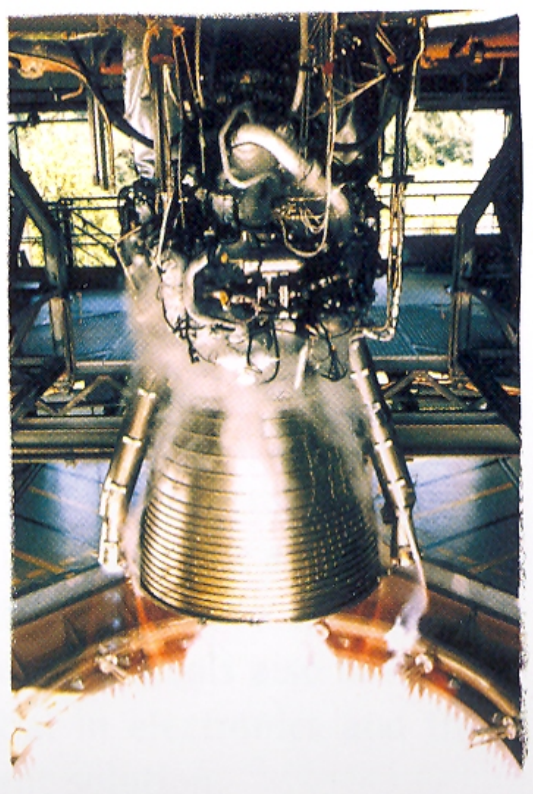
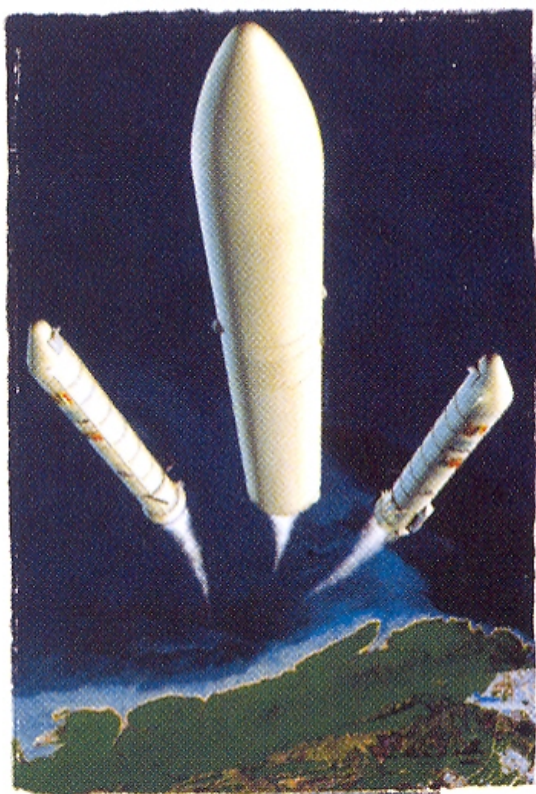
*Obr.1.37. Guggenheimovo muzeum, Bilbao, Španělsko. Fasáda vyrobená z nerezavějící oceli.*



*Obr.1.38. Design pro život. Ocel proniká i do běžného života každého z nás.*



*Obr.1.39. Mikroelektronika.*



*Dobývání vesmíru.*

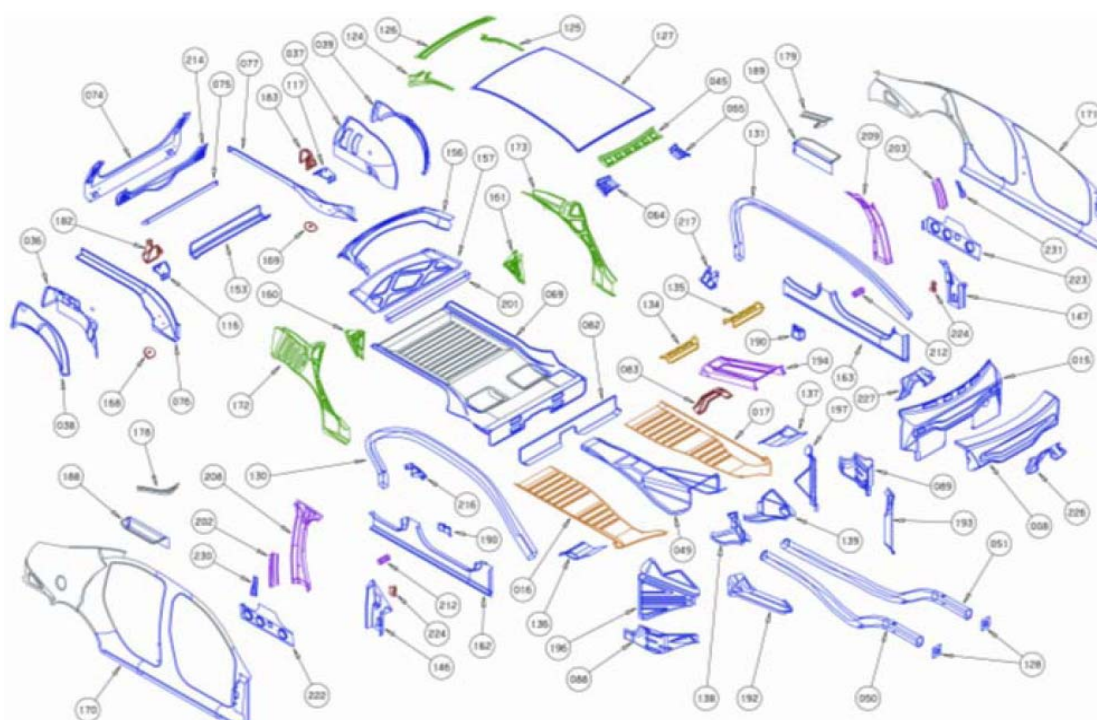
*Obr.1.40. Nosné rakety z vysokopevnostní oceli. Obr.1.41. Vulkanický motor z nerez oceli.*



*Obr.1.42. Odmrazovač dopravních letadel, vysoká houževnatost i za nízkých teplot.*

## □ ULSAB

Automobilový průmysl je jedním z největších odběratelů ocelových plechů válcovaných za tepla i za studena. Hlavními důvody používání ocelí jsou jejich pevnostní vlastnosti, zpracovatelnost, relativně nízká cena a recyklovatelnost. Při výrobě moderních automobilových karosérií se ve velké míře uplatňují moderně koncipované oceli, které jsou produktem inovací v oblasti aplikací plechů a jsou společným projektem ocelářského a automobilového průmyslu, jako odpověď na karosérie z neželezných kovů s nízkou měrnou hmotností, které se objevili na přelomu 80 a 90 let minulého století. Ocelářský průmysl na tuto konkurenci zareagoval projektem ULSAB (ultra light steel automotive body) jehož cílem byla ocelová automobilová karosérie s hmotností do 270 kg, cestou ke snížení hmotnosti byl vývoj nových typů ocelí s vyšší pevností (viz. **Obr. 1.43**).

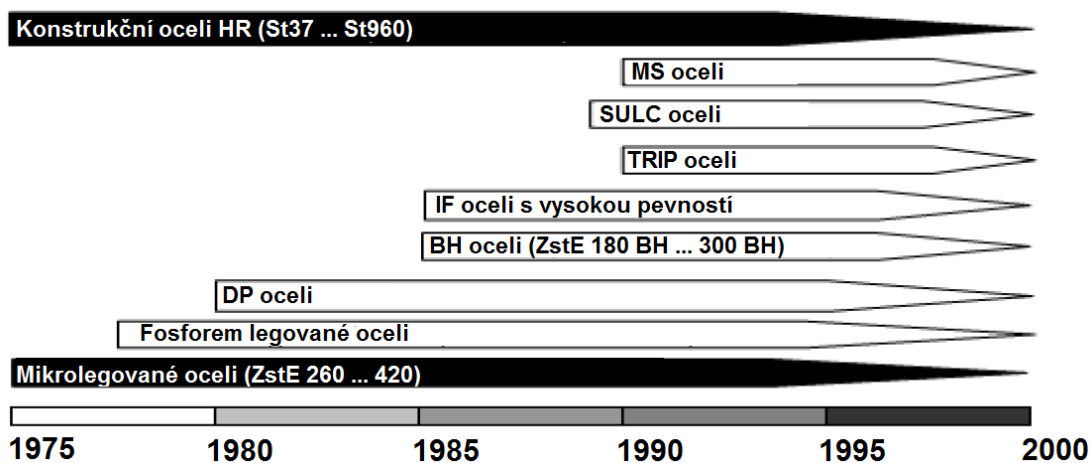


■ DP ■ BH ■ Mart ■ TRIP ■ IF ■ HSLA



*Obr.1.43. ULSAB – všechny vyznačené typy ocelí před 25 lety neexistovaly.*

**Obr. 1.44.** stručně graficky vyjadřuje vývoj konstrukčních ocelí používaných a automobilovém průmyslu.



*Obr.1.44. Vývoj ocelí pro části automobilů*

### Oceli v automobilovém průmyslu

Máme několik způsobů, jak ocelí rozdělit. Přidržíme se dělení ocelí z metalurgického hlediska:

- nízko-pevnostní oceli (např.: oceli bez intersticií, IF)
- vysoko-pevnostní oceli (např.: nízkolegované oceli, BH oceli)
- pokročilé vysoko-pevnostní oceli (např.: dvoufázové oceli, vícefázové oceli)

Rozdíl mezi vysoko-pevnostními a pokročilými vysoko-pevnostními oceli je v jejich struktuře. Zatímco oceli vysoko-pevnostní jsou jednofázovými feritickými oceli, oceli pokročilé vysoko-pevnostní jsou vícefázové. Kromě základní feritické fáze obsahují také martenzit, bainit nebo zbytkový austenit.

### Nízko-pevnostní oceli

#### **Běžná uhlíková ocel (Mild steel)**

Běžné uhlíkové oceli mají v zásadě feritickou strukturu. V minulosti byly v automobilovém průmyslu hojně používané, dnes již tak významnou roli nehrají. Tyto oceli vykazují mez kluzu maximálně 200 MPa při tažnosti 40 – 50 %

#### **Nízko-pevnostní oceli bez intersticií (Interstitial-Free)**

Oceli bez intersticií obsahují velmi malé množství uhlíku ( $C < 0,005\%$ ). To má za následek nižší hodnoty meze kluzu (180-260 MPa) a naopak větší hodnoty tažnosti (35-45%). Z těchto důvodů se používají pro hluboké tažení.

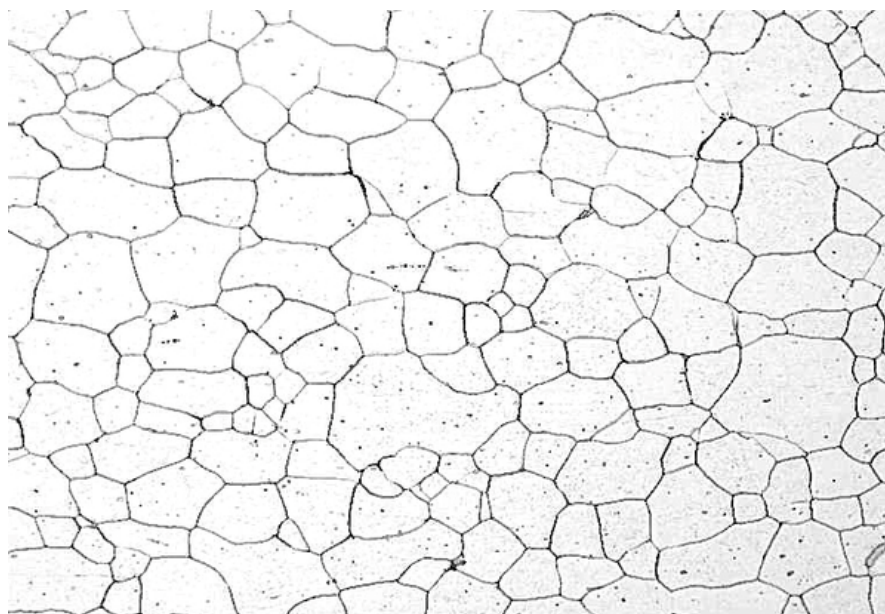
#### **Vysoko-pevnostní oceli bez intersticií**

Stejně jako nízko-pevnostní bez intersticií obsahují malé množství uhlíku ( $C < 0,01\%$ ). Rozdíl je v mikrolegování titanem, niobem nebo jejich kombinací. Tyto prvky váží atomy

uhlíku a dusíku ve stabilních precipitátech. Struktura oceli je tvořena čistým feritem a vlastnosti oceli jsou funkcí velikosti feritického zrna. Nepřítomnost intersticií ovlivňuje mechanické vlastnosti oceli. Tyto oceli mají nižší mez kluzu (260-340 MPa), vysokou tažnost (30-40%) a vysoký exponent deformačního zpevnění. Oceli jsou odolné vůči stárnutí, používají se pro extrémně hluboké tažení a jsou vhodné na výrobu velkých, tvarově složitých karosářských výlisků.

### **BH oceli (Bake Hardening)**

Českým ekvivalentem BH ocelí jsou ocel zpevněné speciálním výrobním procesem. BH oceli mají základní feritickou strukturu (viz **Obr. 1.45**). Před lisováním mají nízkou hodnotu meze kluzu a vysoké parametry plasticity. Během vypalování laku dochází k deformačně-tepelnému stárnutí a nárůstu meze kluzu o 30-70 MPa. Díly karoserie vyrobené z BH ocelí mají poté dovolené vyšší maximální zatížení a vyšší odolnost vůči škrábancům, rýhám a otláčení.



***Obr.1.45.** Typická mikrostruktura BH oceli – ferit s karbidy a nitridy vzniklými deformačně-tepelným stárnutím.*

### **Vysoko-pevnostní mikrolegované oceli (HSLA High-Strength Low-Alloy)**

Mikrolegované oceli jsou zpevňovány kombinací precipitace a zjemnění velikosti zrna. Obsah legur se pohybuje v rozmezí 0,01-0,1 hm. %. Kromě Mn jsou další legující prvky Cr, Ni, Mo, V, Ti a další. Z důvodu dobré tažnosti (až 30 %) se používají na tvarově složitě součásti a to především na dynamicky namáhané součásti podvozku vozidel.

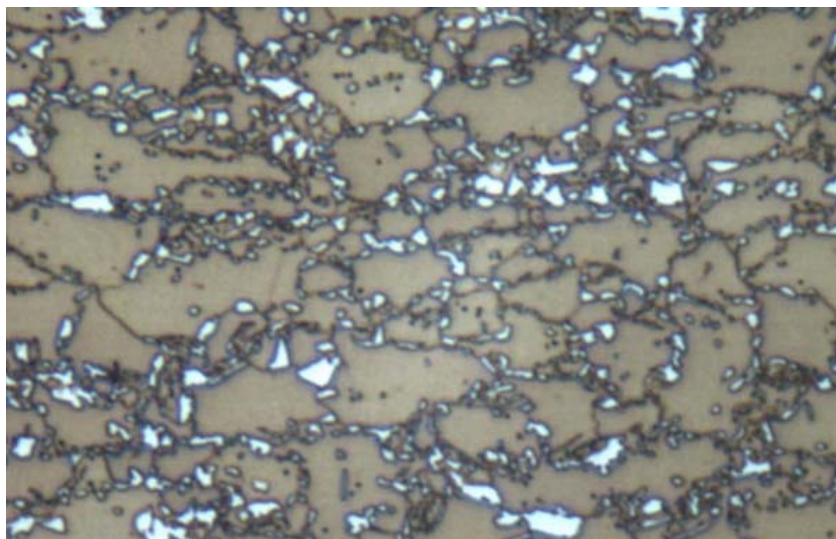
### **Pokročilé vysoko-pevnostní oceli**

Jsou charakterizované zajištěním přesunu uhlíku do tvrdých strukturních složek, a to pomocí legujících prvků, kterými se ovlivňují fázově transformační podmínky při

termomechanickém zpracování. Tyto oceli jsou dobře tvařitelné, vykazují vynikající kombinaci pevnosti, životnosti, pohlcování rázové energie, deformačního zpevnění a dobré svařitelnosti. Obsahují minimálně dvě strukturní složky. Např. relativně měkkou fázi, která tvoří matici (ferit) a umožňuje dosáhnout nízké meze kluzu a dobré lisovatelnosti a tvrdou fázi pro dosažení vysoké pevnosti v tahu. Patří sem zejména:

### DP (Dual Phase) oceli

Jsou to dvoufázové feriticko-martenzitické oceli, které mají strukturu tvořenou měkkou feritickou maticí, ve které se nacházejí ostrůvky martenzitu (10 až 30%). Tato struktura má pevnost v tahu 500 až 600 MPa a velmi dobrou tvařitelnost za studena. Mez kluzu nedosahuje ani 70% této hodnoty. Díky vysoké absorpční schopnosti a odolnosti vůči únavě materiálu se dvoufázové oceli válcované za studena používají na strukturální a bezpečnostní části karoserie jako jsou výztuhy nebo podélné nosníky. Charakteristická struktura DP ocelí se skládá z feritu (70 až 90 %) a martenzitu (10 až 30%), (viz **Obr. 1.46**).



**Obr.1.46.** Typická mikrostruktura DP oceli – ferit (šedá fáze) s ostrůvky martenzitu (bílá fáze) na hranicích zrna.

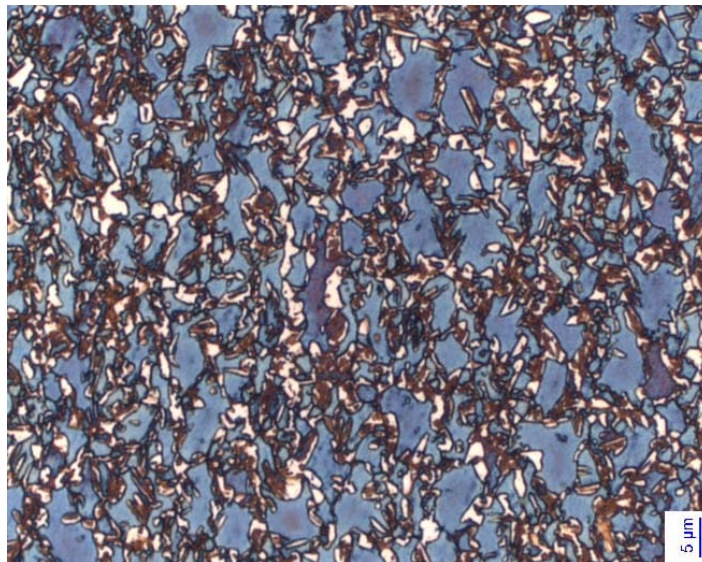
### CP (Complex Phase) oceli

Jsou oceli komplexně fázové, jsou to oceli jejichž základem je feritická matrice a strukturní složky (bainit, martenzit, zbytkový austenit). Složky mají různou tvrdost a disperzi. Tyto oceli se vyznačují vysokou pevností, vysokým deformačním zpevněním a absorbováním energie, pevnost v tahu se pohybuje okolo od 500 do 1000 MPa. Vícefázové oceli se používají na bezpečnostní části vozu nebo jako komponenty zavěšení náprav automobilu.

*TRIP oceli* – oceli s transformačně indukovanou plasticitou. U těchto ocelí je možno vhodnou fázovou transformací získat vysoké hodnoty pevnosti (až 1050 MPa) i tažnosti (až 35 %). Nízkolegované vícefázové oceli obsahují metastabilní austenitickou fázi v množství větším než obvyklém (pro dosažení vysoké houževnatosti je zapotřebí přítomnost minimálně 10 %). Strukturu TRIP ocelí vidíte na **Obr. 1.47**. Původní struktura je tvořena feritem, bainitem, martenzitem a ostrůvky zbytkového austenitu, který se na martenzit přemění až při

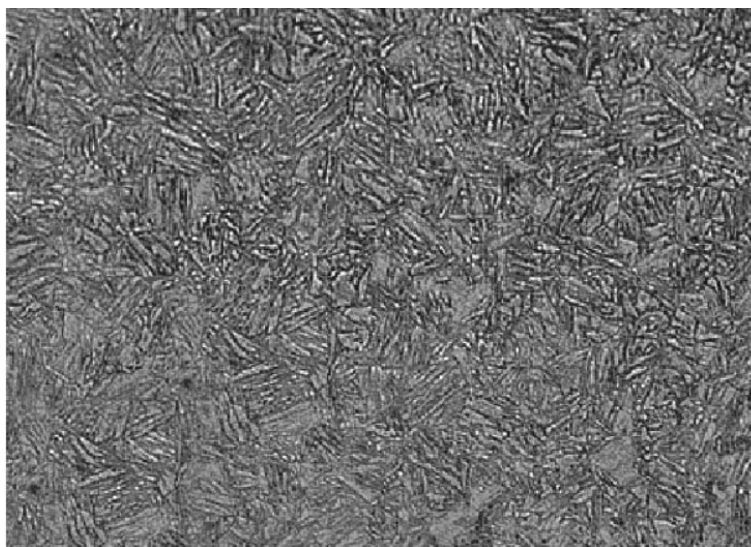


tvářeni. Tyto oceli jsou vhodné pro absorbování vysoké rázové energie během deformace, protože vykazují vysokou pevnost i tažnost. Podobně jako dvoufázové oceli se využívají na nosné a bezpečnostní prvky karoserie jako jsou podélné nosníky, výztuhy B-sloupků, prahy dveří nebo výztuhy nárazníků.



**Obr.1.47.** Typická mikrostruktura za studena válcovaného pásu z oceli TRIP 780, ferit (modrá fáze), martenzit (bílá fáze), podíl zbytkového austenitu (hnědá fáze) okolo 18%

*Martenzitické oceli (Martensitic Steels)* Mikrostruktura MS oceli je tvořena martenzitickou maticí s malým množstvím feritu nebo bainitu (viz **Obr. 1.48**). V rámci skupiny vícefázových ocelí, MS oceli vykazují nejvyšší úroveň pevnosti v tahu (až 1700 MPa). Martenzitické oceli jsou často vystavovány temperování pro zvýšení tvárnosti, a proto mohou poskytnout odpovídající tvárnost při zachování vysoké pevnosti. Přidáním uhlíku do MS ocelí se zvyšuje jejich prokalitelnost. Pro zvýšení prokalitelnosti se do MS ocelí, mimo uhlíku, přidává mangan, křemík, bór, chrom, molybden, vanad a nikl a to buď zvlášť anebo v kombinaci.



**Obr.1.48.** Mikrostruktura martenzitické oceli, tvořená 100 % popuštěného martenzitu

*TWIP oceli (Twinning-Induced Plasticity)* Tyto oceli mají při pokojové teplotě plně austenitickou mikrostrukturu (viz **Obr. 1.49**) a to díky vysokému obsahu manganu, který se pohybuje v rozsahu 17-24 hm. %. Již z názvu oceli vyplývá, že se u těchto ocelí uplatňuje mechanismus deformace dvojčatěním. TWIP oceli kombinují extrémně vysokou pevnost (až 1000 MPa) s velmi vysokou tažností (až 55 %).

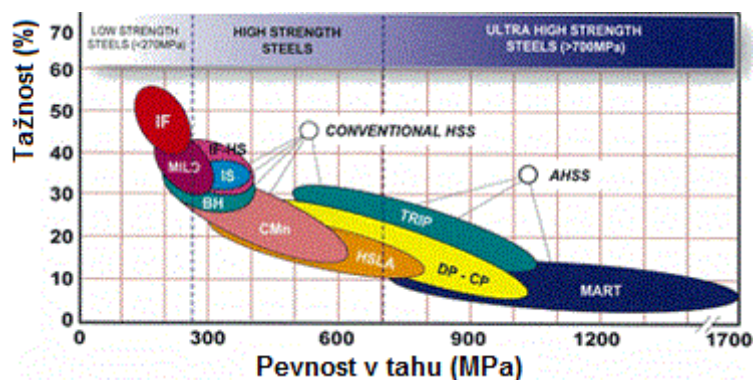


**Obr.1.49.** Mikrostruktura TWIP oceli, v austenitickém zrně jsou jasně patrná deformační dvojčata

### Oceli lisované za tepla (Hot-Formed)

Tyto oceli obsahující B v rozmezí 0,002-0,005 hm. % . Po lisování za vysokých teplot získají tyto oceli vysokou pevnost (až 1 050 MPa). Minimální teplota lisování musí být 850 °C. následuje ochlazení rychlostí větší než 50 °C.s<sup>-1</sup>.

Přehled všech uvedených ocelí najdete v grafu (viz **Obr. 1.50**), který uvádí rozsahy jejich pevnosti a tažnosti.



**Obr.1.49.** pevnost a tažnost ocelí používaných v automobilovém průmyslu

## Σ Shrnutí

Ocel je nejvýznamnějším konstrukčním materiálem současnosti. A to i přes stagnaci ve výrobě na konci minulého století díky svým fyzikálně-chemickým, mechanickým i ekologickým vlastnostem. Na příkladu ULSAB jsme si uvedli jak se vývoj v oblasti nových typů ocelí posunul za posledních 25 let dopředu. Pro Vás pro studenty je to příznivý fakt. Pokud chtějí české firmy uspět ve světové konkurenci budou muset (a mnohé již začaly) vyrábět speciální typy ocelí s jejichž výrobou nemají zkušenosti. To je prostor pro mladé inženýry, absolventy studijního programu Metalurgické inženýrství.



### Otázky 1.4.

- 1.4.1) Uveďte nejméně deset různých uplatnění tvářených ocelových výrobků . Diskutujte o jejich substitutech.
- 1.4.2) Jaká byla roční světová výroba oceli v roce 2011?
- 1.4.3) Co způsobilo propad ve světové výrobě oceli na začátku 90. let minulého století?
- 1.4.4) Proč by Eiffelova věž, kdyby byla postavena dnes, vážila téměř 4x méně?
- 1.4.5) Proč je důležité zvýšit tvrdost hlavy kolejniče?
- 1.4.6) Ocel může být legována mnohými prvky. Uveďte příklady a použití.
- 1.4.7) Diskutujte o ekologii výroby oceli.
- 1.4.8) Jak by jste přeložili zkratku ULSAB?
- 1.4.9) Co je IF ocel?
- 1.4.10) Co je DP ocel?
- 1.4.11) Co je podstatou TRIP efektu?
- 1.4.12) Co je podstatou BH efektu?
- 1.4.13) Která z uvedených ocelí má nejvyšší tažnost: HSLA, MART, TRIP?



### Další zdroje

- [01] ŽÍDEK, M., DĚDEK, V., SOMMER, B., *Tváření oceli*. SNTL, Praha 1988, ISBN 04-408-88
- [02] ŽÍDEK, M., KUŘE, F., *Válcování*, skripta VŠB-TU Ostrava, 1983, 1. vydání
- [03] SOMMER, B., *Technologie tváření kovů*, skripta VŠB-TU Ostrava, 2003, 2. vydání, ISBN 80-248-0263-5
- [04] GINZBURG, V., B., *Steel-Rolling Technology, Theory and Practice*, Marcel Dekker, Inc., New York and Basel. 1989, ISBN 0-8247-8124-4
- [05] PTÁČEK, L. *Nauka o materiálu II*. 2. upr. vyd. Brno : Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2002. 392 s. ISBN 80-7204-248-3.
- [06] ŽÍDEK, M., *Metalurgická tvaritelnost ocelí za tepla a za studena*. Aleko, Praha, 1995, ISBN 80-85341-45-X
- [07] DOBRZANSKI, A. L., *Materiały inżynurskie i projektowanie materiałowe*, WNT, Gliwice-Warszawa, 2006, ISBN 83-204-3249-9

## 2. ZÁKLADY TEORIE TVÁŘENÍ



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

- Objasnit spojitost vad krystalické stavby s plastickou deformací
- Definovat, interpretovat základní veličiny ve tváření
- Používat základní zákony plastické deformace
- Vypočítat velikost deformace při tváření.



### Obsah kapitoly

2.1.	Struktura kovů.....	37
<input type="checkbox"/>	Základy krystalové stavby – elementární buňky.....	37
<input type="checkbox"/>	Kubická prostorově centrovaná mřížka.....	38
<input type="checkbox"/>	Kubická plošně centrovaná mřížka.....	38
<input type="checkbox"/>	Hlavní rozdíly mezi mřížkou KSC a KPC.....	39
<input type="checkbox"/>	Hexagonálně těsně uspořádaná mřížka.....	39
<input type="checkbox"/>	Kovy a jejich mřížky.....	40
<input type="checkbox"/>	Substituční a interstitické tuhé roztoky.....	40
<input type="checkbox"/>	Vady krystalů.....	43
<input type="checkbox"/>	Vady krystalů - bodové.....	43
<input type="checkbox"/>	Vady krystalů – plošné.....	44
2.2.	Teorie dislokací.....	47
<input type="checkbox"/>	Úvod.....	47
<input type="checkbox"/>	Pohyb dislokací.....	48
2.3.	Mechanismus plastické deformace.....	51
<input type="checkbox"/>	Skluz.....	51
<input type="checkbox"/>	Skluzové systémy.....	52
<input type="checkbox"/>	Skluzové systémy KSC mřížky.....	53
<input type="checkbox"/>	Skluzové systémy KPC mřížky.....	53
<input type="checkbox"/>	Deformace monokrystalu.....	54
2.4.	Základní veličiny ve tváření.....	55
<input type="checkbox"/>	Napětí.....	55
<input type="checkbox"/>	Stanovení složek napětí v hmotném bodě tvářeného tělesa.....	56
<input type="checkbox"/>	Systém hlavních os.....	56
<input type="checkbox"/>	Lineární napjatost.....	57
<input type="checkbox"/>	Deformace.....	58
<input type="checkbox"/>	Stav napjatosti.....	59
<input type="checkbox"/>	Stav deformace.....	59
<input type="checkbox"/>	Stavy napjatosti a deformace - příklady.....	60
<input type="checkbox"/>	Deformační rychlost.....	61
<input type="checkbox"/>	Deformační tření.....	63
<input type="checkbox"/>	Deformační odpor.....	65
<input type="checkbox"/>	Přirozený deformační odpor.....	66
2.5.	Mezní stavy plastické deformace.....	71
<input type="checkbox"/>	Mezní stav pružnosti.....	71
<input type="checkbox"/>	Mezní stav pevnosti.....	72
2.6.	Základní zákony plastické deformace.....	74
<input type="checkbox"/>	Zákon zachování objemu.....	74
<input type="checkbox"/>	Zákon doplňkových (přídavných) napětí a nerovnoměrnosti deformace.....	77
<input type="checkbox"/>	Zákon toku kovu cestou nejmenšího odporu.....	78
<input type="checkbox"/>	Zákon podobnosti.....	79
<input type="checkbox"/>	Zákon o přítomnosti pružných napětí při plastické deformaci.....	80
<input type="checkbox"/>	Zákon o zbytkových pnutích.....	81

## 2.1. Struktura kovů



Čas ke studiu: 1 hodina



### Pojmy k zapamatování

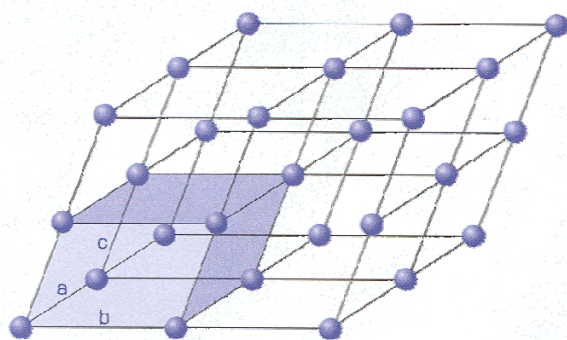
Monokrystal, Polykrystal, KPC, KSC, HTU, Zaplněnost mřížky, Interstitické dutiny, Alotropie, Vakance, Interstice, Substitute, Dislokace, Hranice zrna, Subzrno, Vrstevná chyba, Energie vrstevné chyby



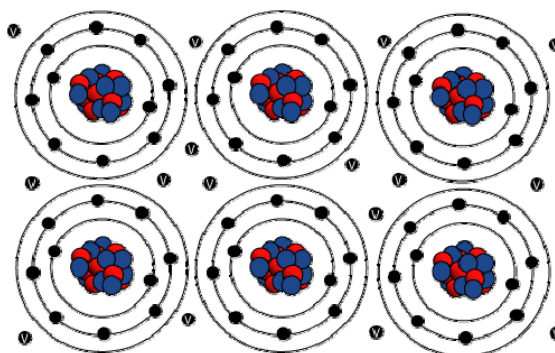
### Výklad

#### □ Základy krystalové stavby – elementární buňky (opakování z předmětu Nauka o materiálu).

Pevné látky se vyskytují ve dvou základních stavech: ve stavu **krystalickém** nebo ve stavu **amorfním**. Všechny kovy mají v tuhém stavu krystalografickou strukturu. Atomy kovů jsou prostorově pravidelně uspořádány do krystalových mřížek (viz. **obr. 2.1.**) a tvoří krystaly. Atomy kmitají kolem rovnovážných poloh a kolem nich se pohybují volné elektrony (viz. **obr. 2.2.**). Většina kovů je **polykrystalická**, tj. je složená z mnoha krystalů, pouze ve zvláštních případech tvoří kovovou strukturu pouze jeden krystal (**monokrystal**). Na **obr. 2.3.** a **2.4.** reprezentuje 1 čtvereček jednu elementární buňku krystalu. Povšimněte si, že v případě polykrystalu vzniklo více zárodků, každý s jinou krystalografickou orientací. V místě kde se rostoucí krystaly spojí, vznikne oblast, ve které se musí vyrovnat orientace zrn – hranice zrna. V případě monokrystalu vznikne a roste jen jeden zárodek – hranice zrna zde nejsou.



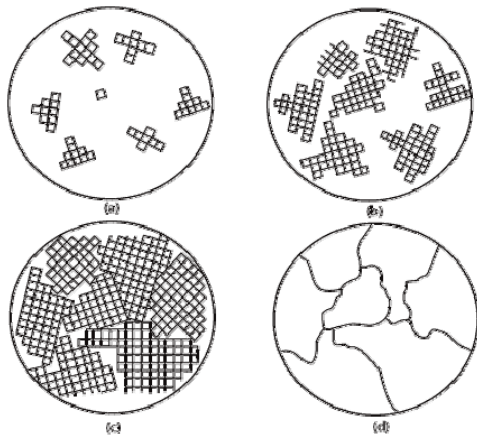
Obr. 2.1. Příklad prostorové mřížky v obecném krystalu.



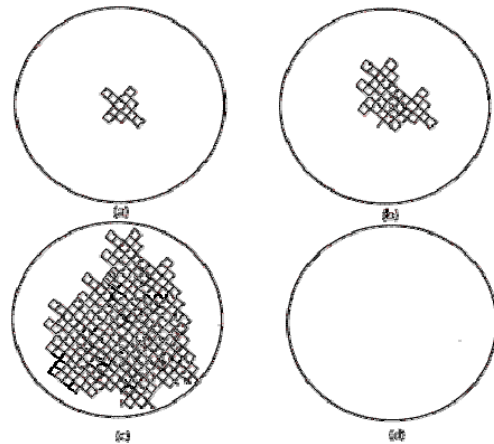
Obr. 2.2. Kovová vazba



CD-ROM 16 Kovová vazba



Obr. 2.3. Růst polykrystalu



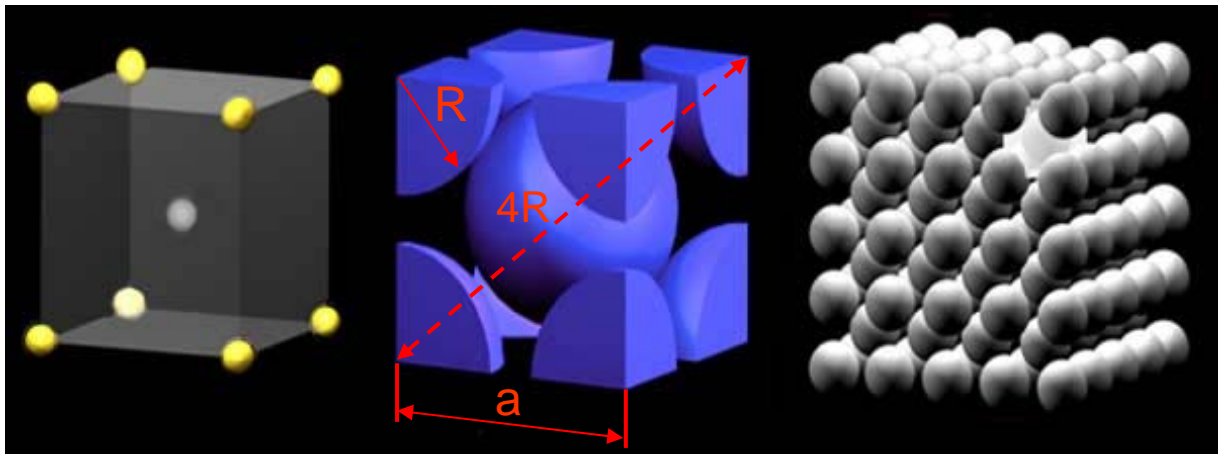
Obr. 2.4. Růst monokrystalu



### CD-ROM 17 Johnson-Mehl Model růstu zrna

- **Kubická prostorově centrovaná mřížka (KSC – kubická stereocentrická, BCC – body centered cubic)**

Z obrázku elementární buňky KSC mřížky (**obr. 2.5.**) můžete vidět, že mřížku tvoří 9 atomů, přičemž 8 atomů je umístěno ve vrcholech elementární buňky a 1 atom je umístěn v jejím středu, tj. přesně v průsečíku tělesových úhlopříček. Nej hustěji obsazeným směrem je směr tělesové úhlopříčky krychle  $[1\ 1\ 1]$ , kde se atomy navzájem dotýkají. Délka tělesové úhlopříčky  $w$  je rovna čtyřem poloměrům atomu  $R$ .



Obr. 2.5. KSC mřížka, elementární buňka zjednodušený model a reálný model, uspořádání atomů

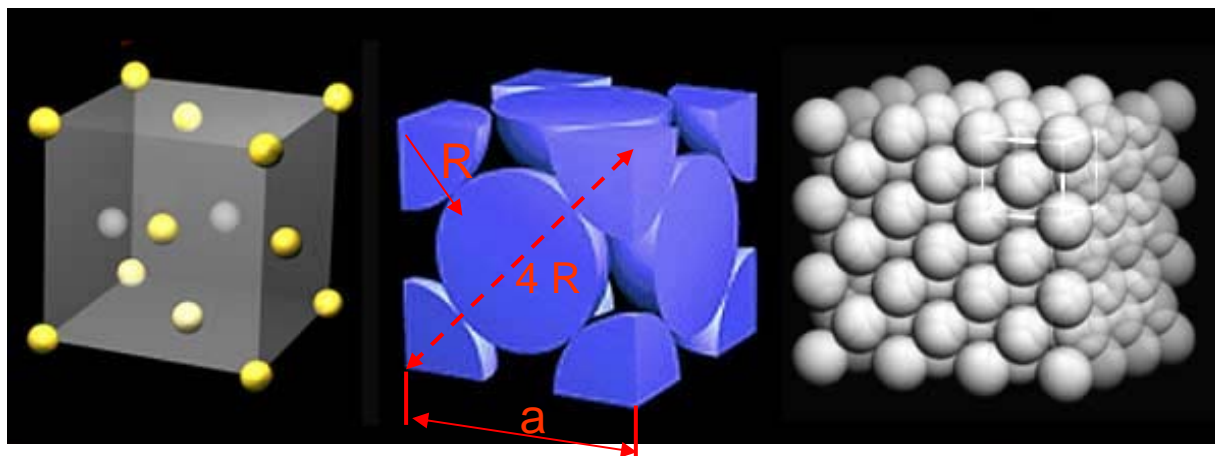


### CD-ROM 18 KSC mřížka

- **Kubická plošně centrovaná mřížka (KPC – kubická planicentrická, FCC – face centered cubic)**

Elementární buňkou je opět krychle (**obr. 2.6.**). Mřížku tvoří 14 atomů, z toho 8 atomů ve vrcholech elementární buňky, a 6 atomů ve středech všech 6 stěn. Nej hustěji obsazeným

směrem je směr úhlopříčky strany krychle  $[1\ 1\ 0]$ . Délka úhlopříčky strany krychle  $v$  je také rovna čtyřem poloměrům atomu  $R$ .



Obr. 2.6. KPC mřížka, elementární buňka zjednodušený model a reálný model, uspořádání atomů



## CD-ROM 19 KPC mřížka

### □ Hlavní rozdíly mezi mřížkou KSC a KPC

Mřížka KSC má menší míru zaplnění elementární buňky atomy (68%), a z toho důvodu je v ní snadnější difúze – pohyb atomů. Na druhé straně má však jen malé dutiny, a proto v ní je jen malá rozpustnost malých, intersticiálních atomů.

Mřížka KPC má vyšší míru zaplnění elementární buňky atomy (74%), a je v ní proto obtížná difúze atomů. Má zato relativně velké dutiny (oktaedrické), a proto v ní existuje vyšší rozpustnost malých, intersticiálních atomů.

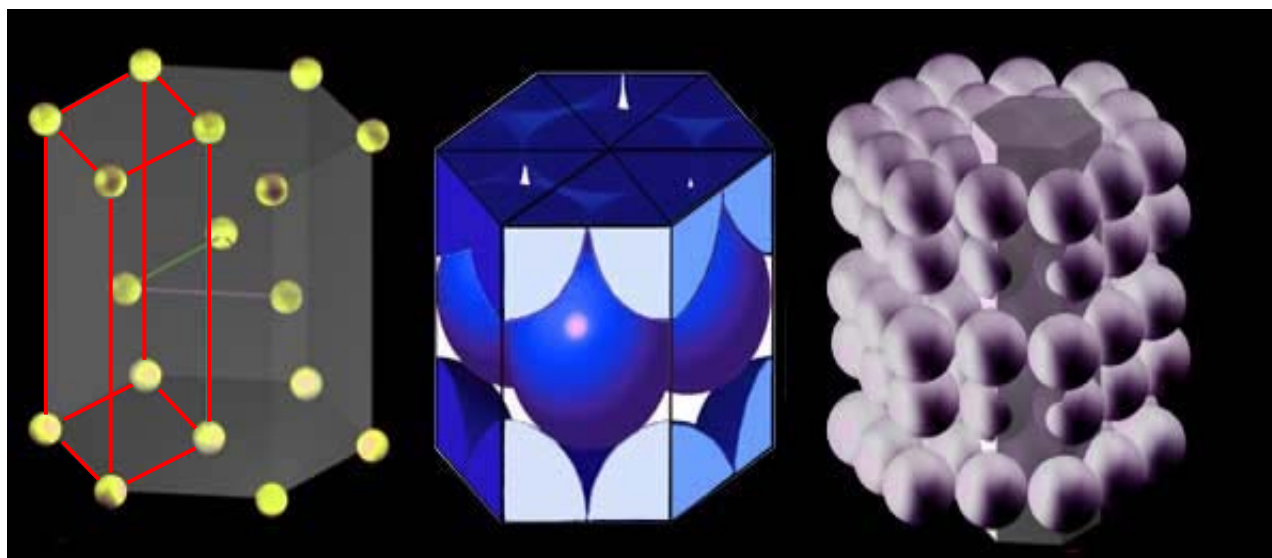


### Zajímavost: 68 vs. 74 %

Z uvedených číselných hodnot míry zaplnění není zřejmé, jak velký rozdíl v difúzní schopnosti atomů je vyvolán rozdílným typem mřížky. Představme si následující pokus. Necháme difundovat vodík ocelovou membránou, která má tloušťku 1 mm. Použijeme dvě oceli, jedna ocel má mřížku KSC, druhá má mřížku KPC. Jak dlouho asi bude trvat vodíku, než projde přes tloušťku oceli, tj. než urazí vzdálenost 1 mm za normální teploty? Rozdíl je šokující: V případě oceli s mřížkou KSC se jedná o dobu v sekundách, max. v minutách, zatímco u oceli s mřížkou KPC to bude vodíku trvat několik roků! Neuvěřitelné, vidíte? A to všechno kvůli rozdílu v míře zaplnění, tedy kvůli hodnotám 68 nebo 74%

### □ Hexagonálně těsně uspořádaná mřížka (HTU, HCP – hexagonal close packing)

Elementární buňkou tvoří 17 atomů, z toho 12 atomů ve vrcholech šestibokého hranolu, 2 atomy najdete ve středech obou podstav a zbývající 3 atomy jsou umístěny symetricky ve středu elementární buňky (viz. Obr. 2.7). Nej hustěji obsazeným směrem je směr  $[1\ 1\ -2\ 0]$ .



Obr. 2.7. HTU mřížka, elementární buňka zjednodušený model a reálný model, uspořádání atomů



## CD-ROM 20 HTU mřížka

### □ Kovy a jejich mřížky

Tabulka 2.1. Elementární buňky některých kovů

KSC	$\alpha$ – železo, $\delta$ – železo, Cr, Ti, Mo, V, Nb, W, Ta, alkalické kovy,
KPC	$\gamma$ – železo, Al, Ni, Cu, Ag, Au, Pb, Pt
HTU	Mg, Ti ( $\alpha$ ), Cd, Be, Zn, Co, Ta ( $\alpha$ ), Zr

U některých kovů dochází při určité teplotě ke změně krystalografické mřížky; při tom nemusí nastat změna chemického složení. Tento jev se nazývá **alotropie**. Příkladem kovu s alotropickou transformací je železo:

910 °C:  $\alpha$ -Fe  $\rightarrow$   $\gamma$ -Fe (ferit  $\rightarrow$  austenit); 1 400 °C:  $\gamma$ -Fe  $\rightarrow$   $\delta$ -Fe (austenit  $\rightarrow$   $\delta$ -ferit).

### □ Substituční a interstitické tuhé roztoky

Fe tvoří s příměsemi substituční tuhé roztoky (Mn, Si, Cr, Ni, Mo atd.) a interstitické tuhé roztoky (C, N, O, B). U substitučních roztoků se atomy základního a příměsového kovu navzájem nahrazují, u interstitických roztoků atomy příměsového kovu vyplňují prázdná místa v základní mřížce. Se změnou modifikace kovu se zpravidla mění i rozpustnost interstitických prvků. Pro poměr poloměru atomu přísady základního kovu (viz. **tabulka 2.2.**)

musí být splněn tzv. Hume – Rotheryho vztah  $\frac{r_B}{r_A} \leq 0,59$ . I při splnění této geometrické

podmínky je rozpustnost zúčastněných prvků nízká. Neomezená rozpustnosti není dosaženo nikdy.



Tabulka 2.2. Poloměry atomů uhlíku, dusíku a železa při 20 °C

Prvek	Poloměr atomu [m]
Uhlík C	$r_{aC} = 0,08 \cdot 10^{-9}$
Dusík N	$r_{aN} = 0,07 \cdot 10^{-9}$
Železo Fe	$r_{aFe} = 0,124 \cdot 10^{-9}$



### Řešený příklad

Zkontrolujte, zda atomy C, N a Fe dávají předpoklad pro tvorbu intersticiálních tuhých roztoků (Fe, C) a (Fe, N).

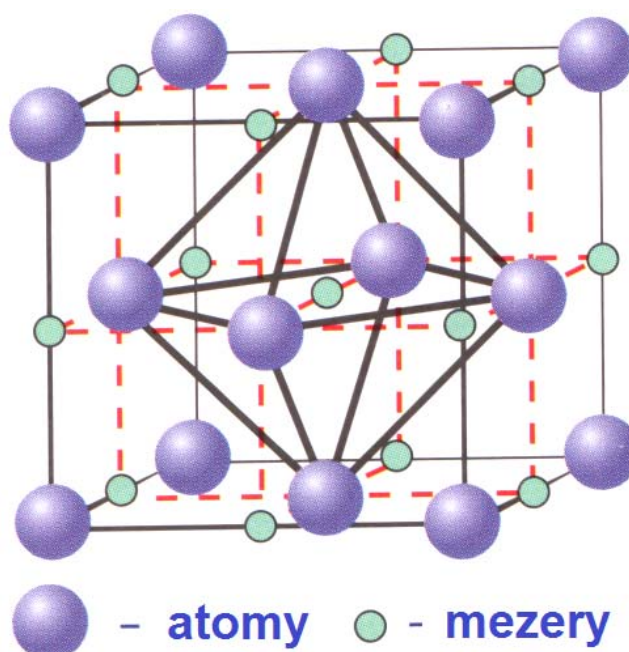
Po dosazení hodnot z **tabulky 2.2.** do výše uvedeného vztahu výpočtem zjistíme, že

$$\frac{r_{aC}}{r_{aFe}} = \frac{0,08 \cdot 10^{-9}}{0,124 \cdot 10^{-9}} = 0,645 \Rightarrow \text{C a Fe teoreticky nemohou podle Hume-Rotheryho}$$

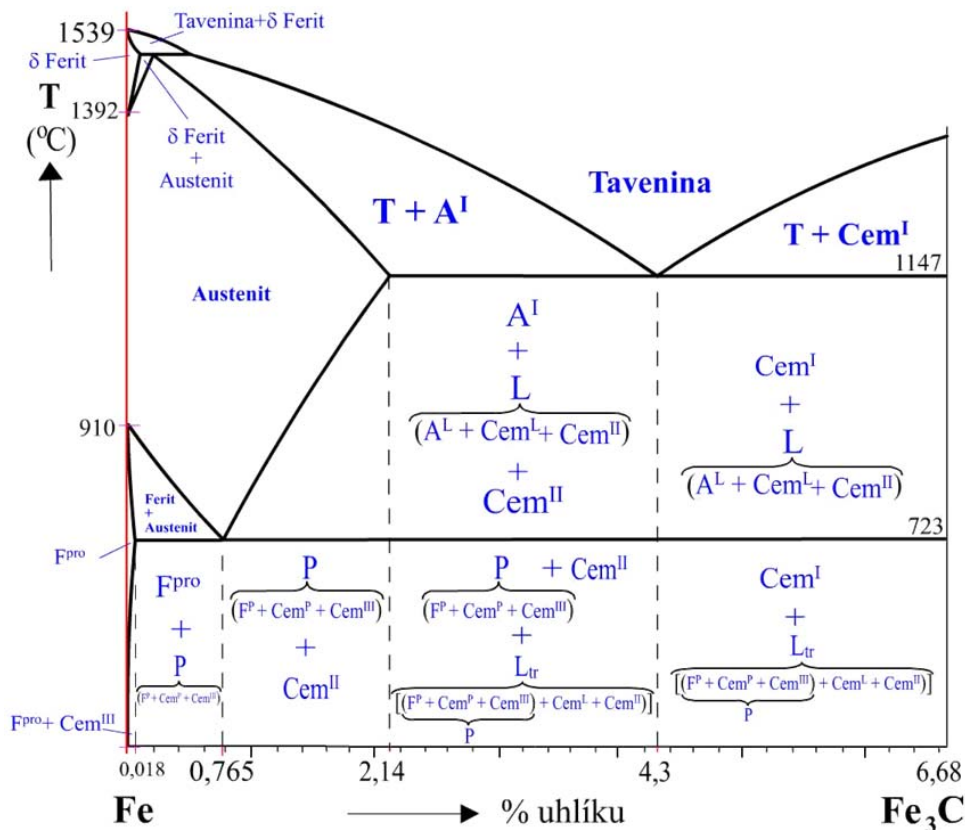
vztahu tvořit intersticiální tuhý roztok;

$$\frac{r_{aN}}{r_{aFe}} = \frac{0,07 \cdot 10^{-9}}{0,124 \cdot 10^{-9}} = 0,565 \Rightarrow \text{N a Fe mohou tvořit intersticiální tuhý roztok.}$$

Z diagramu Fe–Fe<sub>3</sub>C (**obr. 2.8.**) můžeme vyčíst, že maximální rozpustnost C v austenitu je 2,14 hm. %, kdežto ve feritu je to jen 0,02 hm. %. Uhlík se tedy při fázové transformaci vylučuje mimo tuhý roztok ve formě karbidů (Fe<sub>3</sub>C, WC, TiC atd.). To, že se v austenitické mřížce může rozpustit více uhlíku, je pro Vás možná překvapením, vzhledem k tomu, že jsme si o dvě stránky dříve ukázali, že KPC mřížka je hustěji obsazená atomy. To je sice pravda, ale přesto se v KPC nachází poměrně velká dutina, která má tvar symetrického oktaedru (viz **obr. 2.9.**).



**Obr. 2.9.** Oktaedrická dutina KPC mřížky

Obr. 2.8. Diagram Fe-Fe<sub>3</sub>C

## Opakování z minulých ročníků

### diagram železo - uhlík

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. Větší význam má metastabilní soustava.

Strukturální 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 tvrný;

**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 ořezuvzdorný;

**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;

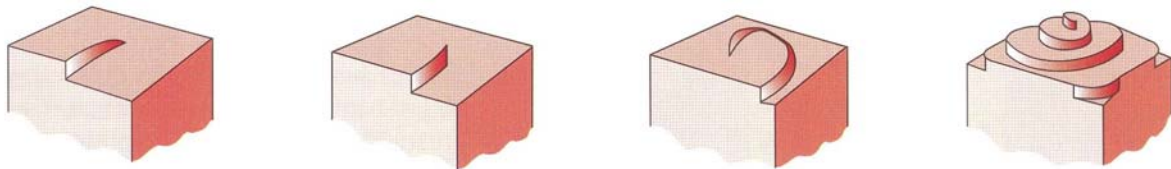
**ferrit** - železo  $\alpha$  je téměř bez uhlíku, největší rozpustnost činí 0,025 % C; je měkký a tvrný a do teploty 768 °C magnetický;

**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 nemagnetický; je to vlastně železo  $\alpha$ .

## □ Vady krystalů

Doposud jsme si ukázali pouze perfektní (bezvadné) krystalové mřížky. Mřížky technických kovů a jejich slitin však mají vždy četné vady. Vyplývá to z toho, jakým způsobem krystaly rostou. Jednotlivé atomy se k zárodku nepřidávají po pravidelných řadách, ale např. růstem kolem šroubovice (**obr. 2.10.**). Při tomto způsobu vzniká celá řada vad krystalu, které dále hrají roli při plastické deformaci.

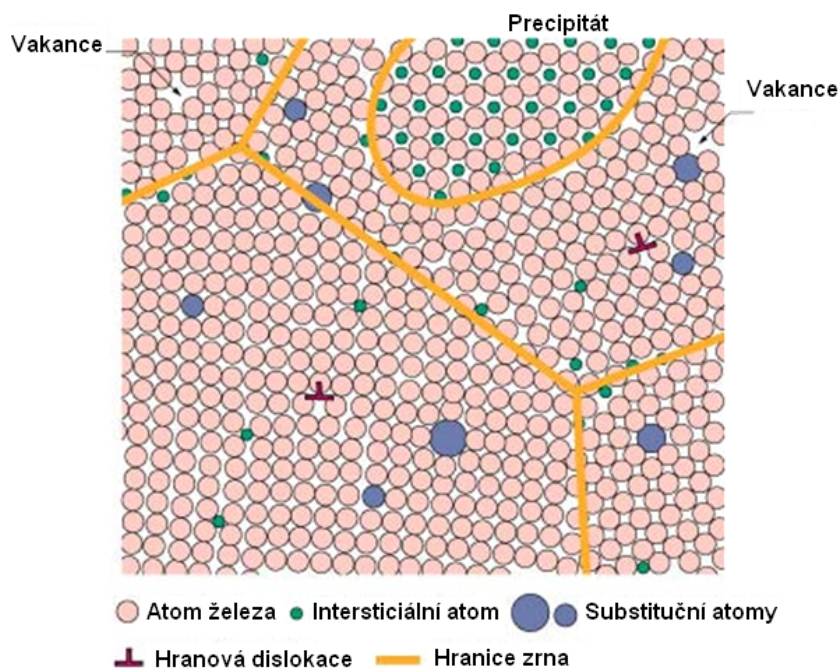


**Obr. 2.10.** Model růstu krystalu kolem šroubové dislokace

Podle rozsahu nepravidelnosti v mřížce rozlišujeme: **bodové poruchy** (vakance, interstice, substituční prvky), **čárové poruchy** (hranové a šroubové dislokace) a **plošné vady** (vrstevná chyba, hranice zrn).

## □ Vady krystalů - bodové

Základní bodové poruchy mřížky jsou **vakance** a **intersticiály** (atom základního kovu leží mimo základní polohu v mřížce) v čistých kovech. V tuhých roztocích k nim přistupují ještě **substituční** a **intersticiální příměsi** (viz. **obr. 2.11.**). Bodové poruchy způsobují distorzi okolní mřížky, která se navenek projeví zvýšením pevnosti materiálu. Největší vliv mají interstice a substituční přísady s velkým rozdílem mezi poloměry atomů základního a přísadového kovu.



**Obr.2.11.** Bodové poruchy krystalů - čárové

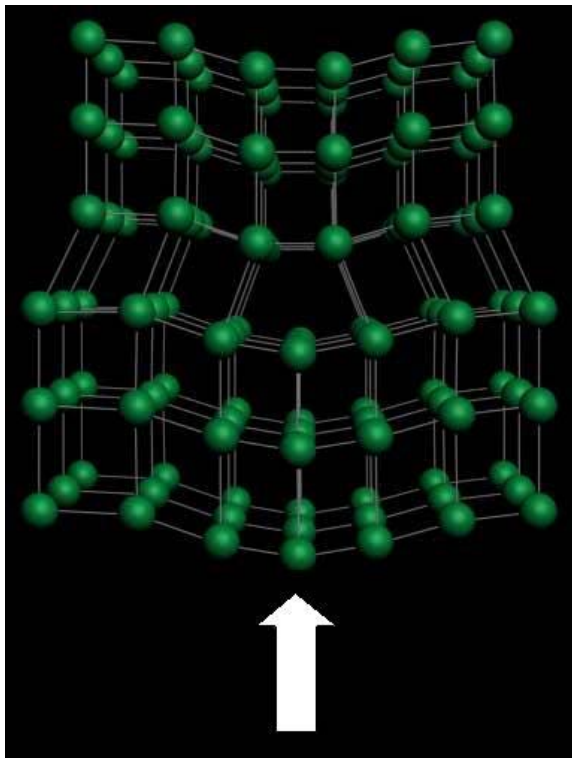
Čárové poruchy (**dislokace**) krystalické mřížky vznikají přesunutím (dislokováním) určitého množství atomů při skluzovém pohybu vzhledem k vrstvě sousední. Dislokace rozlišujeme **hranové** a **šroubové**. Prostorové schéma hranové dislokace je ukázáno na **obr.2.12**. Vidíme, že mezi atomy perfektního krystalu je zasunuta jedna polorovina navíc. Hrana této poloroviny je hranová dislokace. V okolí dislokace, podobně jako v okolí bodových poruch, dochází k elastické deformaci mřížky.



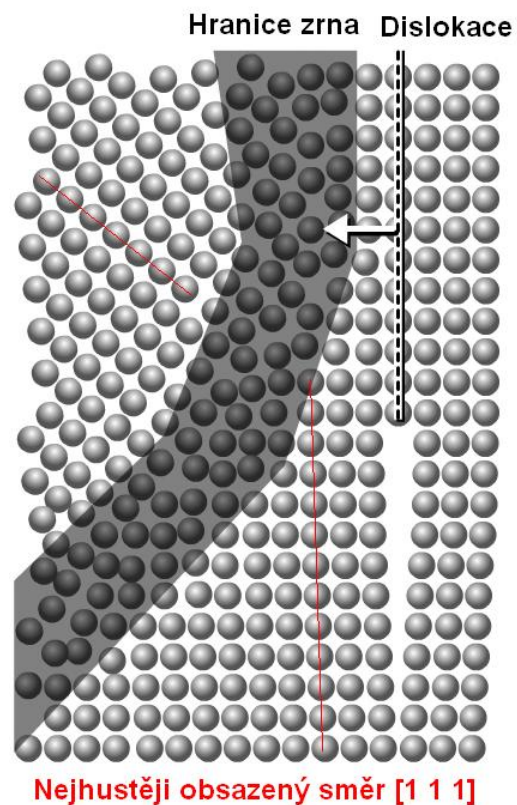
**CD-ROM** 21 *Precipitace*

#### □ Vady krystalů – plošné

Rozlišujeme dvě plošné vady – **hranice zrna** (viz. **obr. 2.13**.) a **vrstevné chyby** (viz. **obr. 2.14**.)



**Obr. 2.12.** Prostorové schéma hranové dislokace



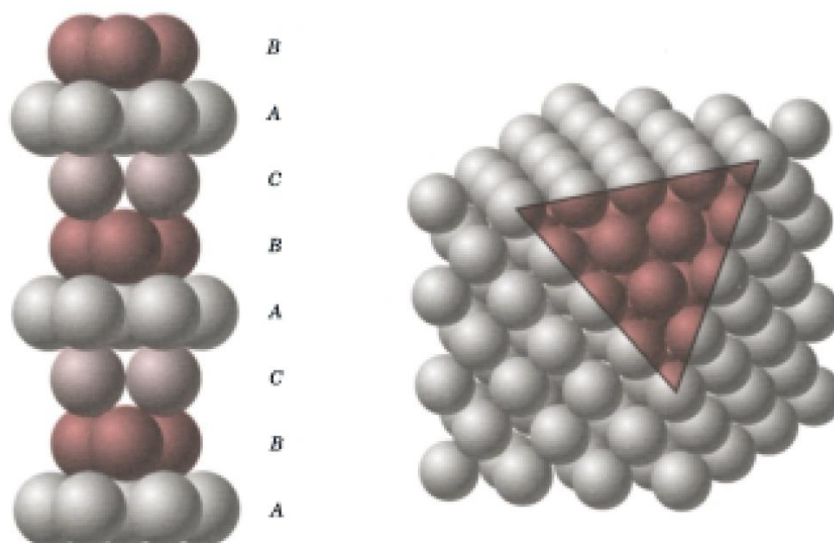
**Obr. 2.13.** Hranice zrna

**Hranice zrn.** Jak již bylo řečeno, každé zrn má jinou krystalografickou orientaci. Hranice zrna je oblast, kde dochází k vyrovnání této disorientace. K vyrovnání disorientace je zapotřebí doplnit mezi krystaly poloroviny atomů. Tedy hranice zrna je tvořena dislokacemi. Každá dislokace sebou nese vakance. Hranice zrna je tedy místo plné vakancí. Zkusme se nyní zamyslet, jaké to bude mít důsledky. Hranice zrna prostřednictvím difúze přitahují nečistoty z okolí (např. síru), díky tomu mají hranice zrn horší mechanické vlastnosti (tohoto jevu využíváme při zkoumání mikrostruktury kovů, při leptání se více (hlouběji) naleptá

hranice zrna a po nasvícení bočním světlem se vzniklý stín na fotografii projeví jako tmavé místo (viz. **obr. 1.25.**). Hranice zrna také brání pohybu dislokací.

Pokud je disorientace zrn malá, hovoříme o maloúhlových hranicích a o subzrnech.

**Vrstevné chyby.** Ve většině kovů mohou vznikat chyby v pravidelném uspořádání vrstev. Zejména v mřížkách, u nichž jsou mezi atomy sousedících rovin malé rozdíly v energii vazebných sil (tedy v těsně uspořádaných mřížkách), jako u mřížky KPC (austenit) (viz. **obr. 2.14.**). Zatímco v KPC se střídají vrstvy 3 vrstvy: a b c, v HTU jsou to pouze vrstvy dvě: a b. Vznik vrstevné chyby potom následně brání šplhání hranových dislokací.



**Obr. 2.14.** Vlevo: Těsné uspořádání rovin v KPC, Vpravo: Odříznutý roh umožňuje lépe ukázat vztah mezi krystalickou strukturou KPC mřížky a těsně uspořádanými rovinami (111)



## Zajímavost



22 Zajímavost – kukuřice

Animace – O tom, že chyby v uspořádání se v přírodě vyskytují zcela běžně, vás může přesvědčit tato animace.

## Σ Shrnutí

Kovy se nejčastěji vyskytují ve stavu krystalickém, rozeznáváme polykrystalické a monokrystalické látky. Většina kovů krystalizuje v kubické stereocentrické a planicentrické a v hexagonální těsně uspořádané mřížce. Měli by jste umět bez zaváhání tyto mřížky nakreslit a vyznačit nejhustěji obsazené směry. Pokud se u nějakého kovu vyskytuje při určité teplotě přeměna mřížky hovoříme o alotropii. Příměsové prvky tvoří substituční nebo interstitické tuhé roztoky. Substitutece a interstice tak lze chápat jako vady krystalů. V krystalech se však vyskytují i další typy vad, které vznikají již při počáteční krystalizaci. Jsou to: vakance, dislokace, hranice zrna, vrstevné chyby. Pro další výklad potřebujete umět definovat a nakreslit hranovou dislokaci.



## Otázky 2.1.

- 2.1.1) Jak a jakým mechanismem obsah uhlíku ovlivňuje pevnost oceli?
- 2.1.2) Jak byste charakterizovali pásmo vyznačující oblast hranice zrna z pohledu uspořádání atomů?
- 2.1.3) Nápopověda: Zaměřte se na množství a typ bodových poruch.
- 2.1.4) Co je to polykrystalický materiál?
- 2.1.5) Napište Millerovy indexy nejhustěji obsazených směrů KSC, KPC a HTU mřížky.
- 2.1.6) Míra zaplnění KPC mřížky je větší než KPC, jak to, že je ve feritu menší rozpustnost uhlíku než v austenitu?
- 2.1.7) Co je to alotropie?
- 2.1.8) Vyjmenujte prvky, které se v tuhém roztoku rozpouštějí interstiticky.
- 2.1.9) Nakreslete diagram Fe-Fe<sub>3</sub>C, se všemi fázemi a důležitými teplotami a koncentracemi.
- 2.1.10) Co je to asutenit?
- 2.1.11) Co je to perlit?
- 2.1.12) Jaké znáte poruchy krystalové stavby?
- 2.1.13) Nakreslete hranovou dislokaci.
- 2.1.14) Jaký je rozdíl mezi uhlíkem v precipitátu a v tuhém roztoku?
- 2.1.15) Které mřížky mají nízkou energii vrstevné chyby?



## Úlohy k řešení 2.1.

- 2.1.1) Stanovte počet atomů, které připadají na 1 elementární buňku KSC mřížky.
- 2.1.2) Stanovte vztah mezi mřížkovým parametrem a poloměrem atomu KSC mřížky.
- 2.1.3) Stanovte míru zaplnění elementární buňky KSC mřížky v %.
- 2.1.4) Stanovte hustotu železa alfa. Atomový poloměr železa je 0,124 nm a atomová hmotnost je 55,85 g/mol. Výsledek porovnejte s tabulkovou hodnotou, vysvětlete rozdíly.
- 2.1.5) Stanovte počet atomů, které připadají na 1 elementární buňku KPC mřížky.
- 2.1.6) Stanovte vztah mezi mřížkovým parametrem a poloměrem atomu KPC mřížky.
- 2.1.7) Stanovte míru zaplnění elementární buňky KPC mřížky v %.

## 2.2. Teorie dislokací



Čas ke studiu: 1 hodina



### Pojmy k zapamatování

Skluz, Normálové napětí, Tečné napětí, Teoretická pevnost, Hranová a šroubová dislokace, Pohyb dislokace, Burgesův vektor

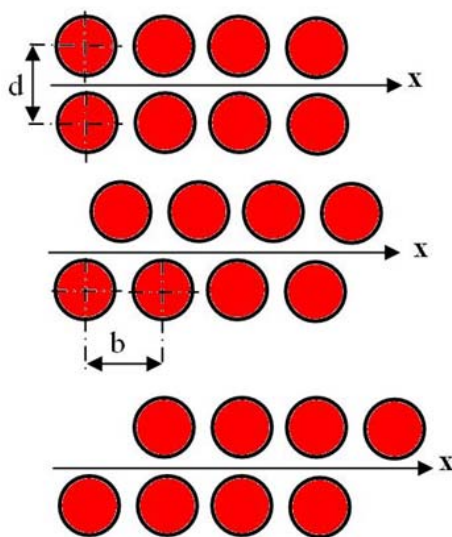


### VÝKLAD

#### □ Úvod

**Deformace** v krystalických látkách probíhá nejčastěji **skluzem** vybraných **krystalografických rovin**. V počátcích výzkumů chování kovů se vycházelo z představy, že skluz vzniká najednou v celém průřezu krystalu. Je-li těleso vystaveno účinkům vnějších sil, lze na libovolné rovině definovat dvě napětí. **Normálové** – působí ve směru normály (kolmice) k rovině a **smykové** (tečné) – působí ve směru tečny k rovině. Právě velikost tečného napětí rozhoduje o tom, zda dojde ke skluzu či nikoliv.

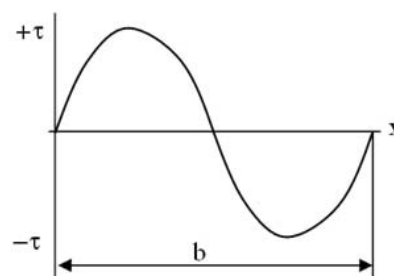
Jak velké napětí tedy potřebujeme překonat k vyvolání skluzu? To bude záviset na vzdálenosti atomů a na modulu pružnosti ve smyku. Největší smykové napětí musíme překonávat, pokud se atom horní roviny nachází přesně v  $\frac{1}{4}$  vzdálenosti mezi atomy dolní roviny (viz. **obr. 2.15.**)



$$\tau = \frac{b}{d} \cdot \frac{G}{2 \cdot \pi} \cdot \sin \frac{2 \cdot \pi \cdot x}{b}$$

$$\tau_{kr} = \frac{b}{d} \cdot \frac{G}{2 \cdot \pi} \quad \text{pro} \quad \frac{x}{b} = \frac{1}{4}$$

Kde  $G$  je modul pružnosti ve smyku



Obr. 2.15. Výpočet napětí nutného pro skluz

Hodnota smykového napětí  $\tau$  vypočtena podle uvedené rovnice je o několik řádů vyšší než hodnoty získané experimentálně. Například pro stříbro je teoretická hodnota pevnosti 7 500 x vyšší než skutečná hodnota, stanovená např. zkouškou tahem.

Tak velký rozdíl mezi skutečnými a teoretickými hodnotami přinutil zavrhnout klasickou teorii. Příčiny, které oslabují proces kluzu byly tedy dány do souvislosti s **poruchami mřížky**.

## □ Pohyb dislokací

Plastická deformace se tedy odehrává pomocí pohybu dislokací, tak není nutno překonávat vazebné síly mezi atomy na celé skluzové rovině, ale vždy pouze v jedné řadě.



### Plastická deformace skluzem se odehrává pomocí pohybu dislokací

Princip pohybu **hranové** dislokace je patrný z **obr. 2.16**. Pod obrázkem je uveden příklad posunutí koberce po podlaze, můžeme jej uchopit a celý jej přetáhnout (vysoké třecí síly), nebo na něm vytvořit smyčku a posunout vždy jenom ji. Podobným příkladem je pohyb housenky.

Princip pohybu **šroubové** dislokace je patrný z následujícího obrázku (**obr. 2.17**). Prohlédněte si také toto video a animace:



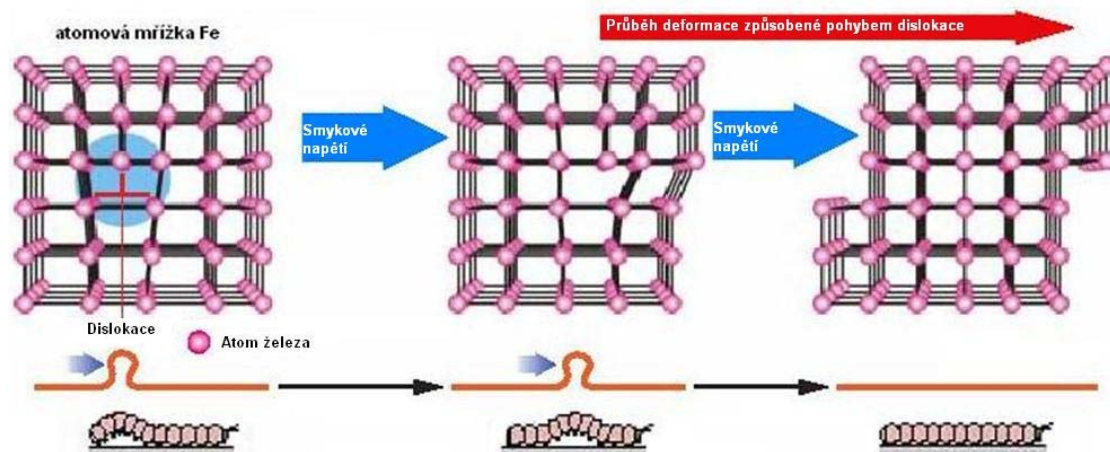
**CD-ROM** 23 Video – pohyb dislokace



**CD-ROM** 24 Pohyb hranové dislokace

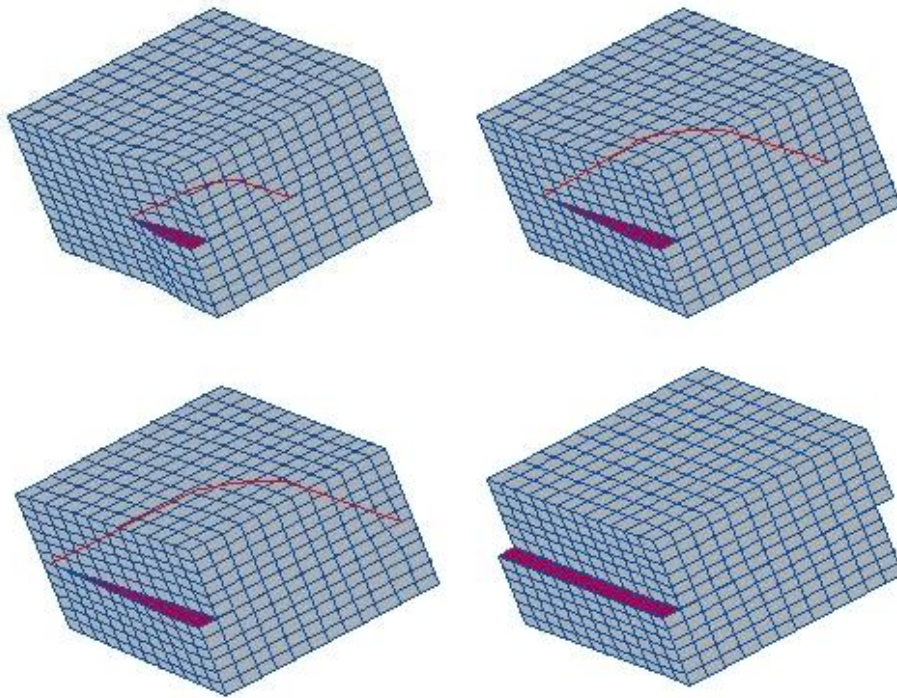


**CD-ROM** 25 Pohyb šroubové dislokace



**Obr. 2.16.** Pohyb hranové dislokace





*Obr. 2.17. Pohyb šroubové dislokace*

Skruzový pohyb hranové dislokace probíhá ve skluzové rovině ve směru Burgersova vektoru  $\vec{b}$ , šroubová dislokace může příčným skluzem přecházet do jiné z rovin protínajících se v dislokační čáře. Mikroskopickým mechanismem skluzového pohybu je přeskupování atomů nad a pod skluzovou rovinou na malé vzdálenosti; příčinou pohybu je skluzové napětí  $\tau_r$  (složka smykového napětí v rovině skluzu do směru skluzu). Může přitom jít o napětí vnější (od vnějších sil) nebo vnitřní (např. od ostatních dislokací). Aby došlo k pohybu dislokací, musí být skluzové napětí  $\tau_r > \tau_{kr}$ , kde  $\tau_{kr}$  je kritická hodnota skluzového napětí způsobující pohyb dislokací;  $\tau_{kr}$  je tedy materiálová charakteristika vyjadřující odolnost monokrystalu proti pohybu dislokací a tím proti plastické deformaci.

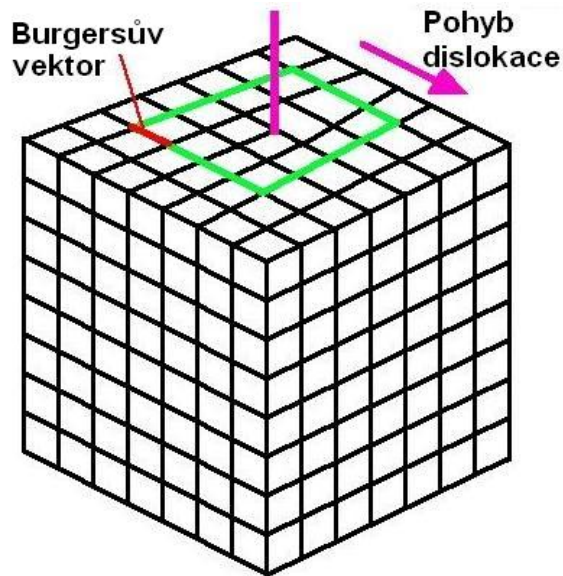


## Opakování z minulých ročníků

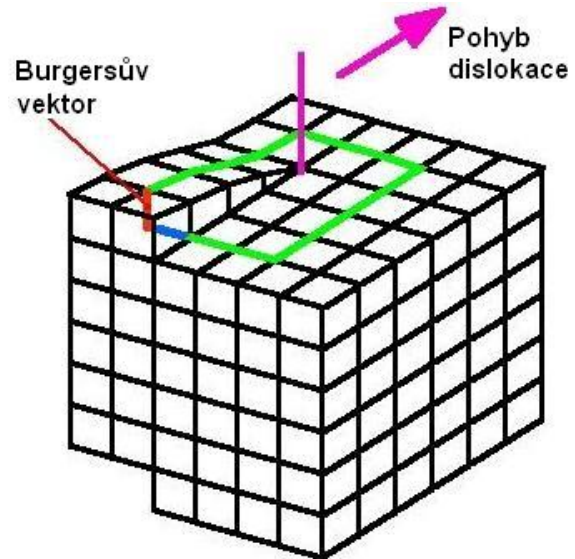
### Burgersův vektor

Burgersova smyčka: v ideální krystalografické mřížce postupujeme o stejný počet stejně dlouhých kroků ve směru  $\rightarrow$ ,  $\downarrow$ ,  $\leftarrow$  a  $\uparrow$ . Získáme uzavřenou Burgersovu smyčku. V reálném krystalu postupujeme stejně jako v případě ideálního, ale získaná smyčka nemusí být nutně uzavřená; v případě jedné vložené atomové poloroviny (**obr. 2.18.**) bude do jejího uzavření chybět jeden postupný krok. Otevřená Burgersova smyčka je uzavřena Burgersovým vektorem  $\vec{b}$ .

U hranové dislokace je vektor  $\vec{b}$  vždy kolmý na dislokační čáru (**obr. 2.18.**).  
U šroubové dislokace je vektor  $\vec{b}$  vždy rovnoběžný s dislokační čarou (**obr. 2.19.**).



Obr. 2.18. Hranová dislokace



Obr. 2.19. Šroubová dislokace

## Σ Shrnutí

Deformace v krystalických látkách probíhá nejčastěji skluzem vybraných krystalografických rovin. Napětí potřebné pro skluz těchto rovin je výrazně nižší, než ukazují teoretické výpočty, a to díky přítomnosti dislokací. Díky dislokacím se nemusí při skluzu přerušit vazebné síly v celé rovině najednou, ale jen v jedné řadě atomů.



## Otázky 2.2.

- 2.2.1) Jakým hlavním mechanismem probíhá plastická deformace krystalů?
- 2.2.2) Co rozhoduje o tom, zda dojde nebo nedojde ke skluzu?
- 2.2.3) Na čem závisí velikost teoretické hodnoty napětí potřebného pro skluz? Proč je ve skutečnosti mnohem nižší?
- 2.2.4) Schematicky nakreslete pohyb hranové dislokace.
- 2.2.5) Vysvětlete jak přítomnost dislokace ovlivňuje skluz rovin.
- 2.2.6) Co je to Burgersova smyčka a vektor?

## 2.3. Mechanismus plastické deformace



**Čas ke studiu: 1 hodina**



### Pojmy k zapamatování

Skluz, difúze, dvojčatní, rovina skluzu, směr skluzu, skluzový systém, skluzové pásy, deformace monokrystalu



### VÝKLAD

Podle současných představ existují tři základní druhy plastické deformace:

- skluzem za současného působení rekystalizace,
- difúzí s přemístěním jednotlivých bloků zrn (při vysokých teplotách a malých deformačních rychlostech),
- dvojčatní (při velmi nízkých teplotách a vysokých rychlostech deformace).



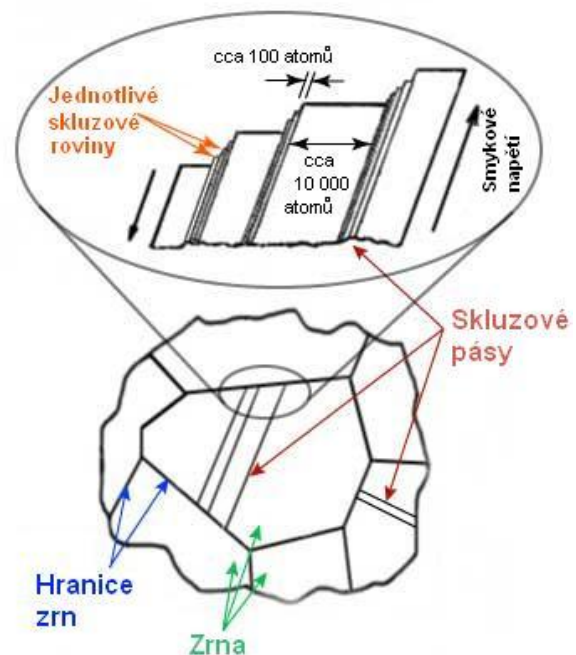
### Skluz je základním mechanismem plastické deformace

#### □ Skluz

**Skluz** je základním mechanismem plastické deformace. Lze si jej představit tak, jako by se vrstvy krystalů navzájem vůči sobě posouvaly jako tuhé celky. Tento posuv probíhá podél některých význačných krystalografických rovin a v určitých krystalografických směrech (**skluzové pásy**). Tloušťka nedeformovaných vrstev (lamel) je řádově  $10^{-3}$  až  $10^{-4}$  cm. Velikost posunu je celistvým násobkem nejmenší mřížkové vzdálenosti, pravidelná mřížka zůstává zachována (viz. **obr. 2.20.** a **2.21.**).

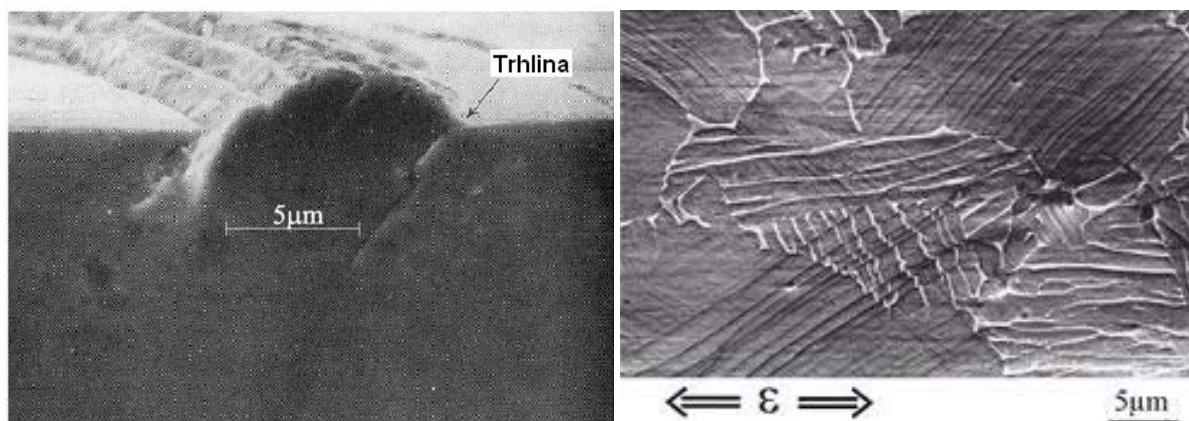
Skluz se řídí těmito zákony:

- směr skluzu je totožný se směrem nejhustěji obsazenými atomy,
- rovina skluzu je zpravidla rovinou s nejhustěji obsazenými atomy,



**Obr. 2.20.** Skluzové pásy - schéma

- **skluzový systém** je určen rovinou skluzu a směrem skluzu, ležícím v dané krystalografické rovině.



Obr. 2.21. Skluzové pásy na povrchu materiálu **vlevo**) pohled z boku **vpravo**) pohled shora, šipky naznačují směr deformace (titanová slitina)



## Samostatné opakování z minulých ročníků

### Millerovy indexy

Připomeňte si způsob tvorby Millerových indexů rovin a směru v kubických mřížkách. Měli by jste umět bezpečně nakreslit roviny  $\{100\}$ ,  $\{110\}$ ,  $\{111\}$ ,  $\{112\}$ ,  $\{123\}$  a příslušné směry.

### □ Skluzové systémy

**Skluzové systémy** jsou určeny rovinou skluzu a směrem skluzu, ležícím v dané krystalografické rovině

V tabulce jsou uvedeny možné skluzové systémy různých kovů. Dobrou **tvářitelnost** kovů zajišťuje existence minimálně **pěti nezávislých kluzných systémů**. Obecně lze říct, že oceli (austenitické i feritické) mají dostatek skluzových systémů a proto se vyznačují dobrou tvařitelností. To platí zejména při tváření za tepla, kdy se uplatní většina v **tabulce 2.3.** uvedených skluzových systémů.

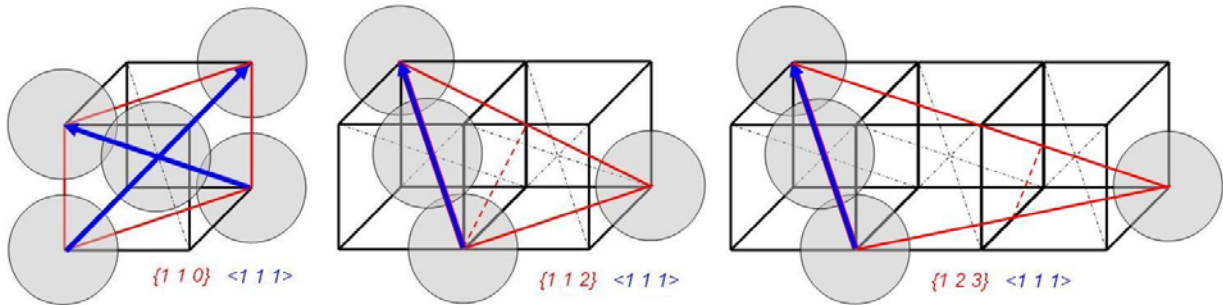
Tabulka 2.3. Skluzové systémy mřížek, KPC, KSC a HTU

Typ mřížky	Roviny skluzu	Počet rovin	Směry skluzu	Počet směrů v rovině	Celkový počet skluzových systémů	Kovy
KSC	$\{110\}$	6	$\langle 111 \rangle$	2	12	Fe, Cr, Mo, W, Na
	$\{112\}$	12		1	12	
	$\{123\}$	24		1	24	
KPC	$\{111\}$	4	$\langle 110 \rangle$	3	12	Fe, Al, Cu, Pb, Au, Ag, Ni
HTU	$\{0001\}$	1	$\langle 1120 \rangle$	3	3	Cd, Mg, Zn, Be, Ti

□ Skluzové systémy KSC mřížky

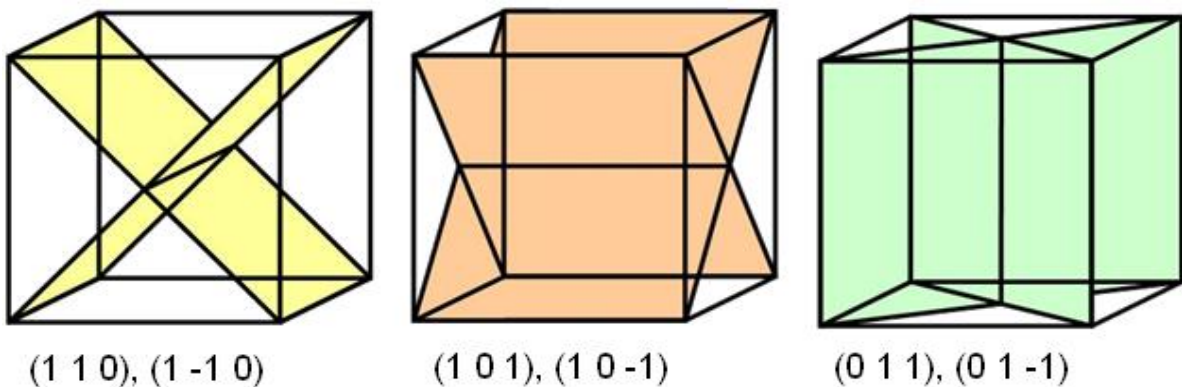
Rodiny rovin:  $\{110\}$ ;  $\{112\}$ ;  $\{123\}$ , rodina směrů  $\langle 111 \rangle$

Příslušné skluzové roviny jsou uvedeny na **obr. 2.22**. Zobrazeny jsou pouze atomy, které leží na příslušných rovinách. U rovin  $\{112\}$ ;  $\{123\}$  je zobrazena nejmenší periodicky se opakující část, obsahující nejhustěji obsazený směr  $\langle 111 \rangle$  (směr tělesové úhlopříčky krychle).



**Obr. 2.22.** Skluzové roviny a směr KSC mřížky

**Obr. 2.23.** ukazuje z jakých rovin se skládá rodina rovin  $\{110\}$ . Je jich celkem 6, jak uvádí tabulka skluzových systémů **tabulka 2.3**.

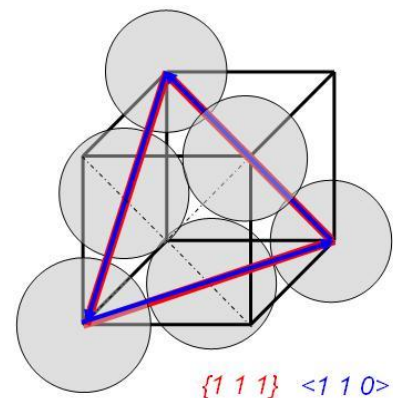


**Obr. 2.23.** Rodina rovin  $\{110\}$ .

□ Skluzové systémy KPC mřížky

Rodina rovin:  $\{111\}$ ; rodina směrů  $\langle 110 \rangle$

Příslušná skluzová rovina je uvedena na **obr. 2.24**. Zobrazeny jsou pouze atomy, které leží na dané rovině. Roviny rodiny  $\{111\}$  jsou uloženy shodně ze sekvencí ABCABC..., kde jsou jak A, B, tak i C rovinou  $\{111\}$ , srovnejte s obrázkem **obr. 2.14**.



**Obr. 2.24.** Skluzová rovina a směr KSC mřížky



### Řešený příklad

Aby byla daná rovina rovinou skluzovou, musí v ní ležet směr skluzu. Tento příklad Vám ukáže, jak je možno tuto podmínku ověřit.

Ověřte zda směr  $[1\ 1\ 0]$  leží v rovině  $(1\ -1\ 1)$ ,

Pokud směr  $[h\ k\ l]$  leží v rovině  $(u\ v\ w)$ , pak platí, že:

$$h.u + k.v + l.w = 0$$

v našem případě:

$$(1).(1) + (1).(-1) + (0).(1) = 0$$

Daný směr **leží** v rovině  $(1\ -1\ 1)$ .

### □ Deformace monokrystalu



#### CD-ROM 26 *Plastická deformace monokrystalu*

Animace znázorňuje deformaci vzorku z monokrystalu kovu při tahové zkoušce. Vzhledem k tomu, že se do skluzu postupně zapojí více rovin, jedná se o mřížku KPC nebo KSC (mřížka HTU má totiž pouze 1 rovinu skluzu). Vidíme rozdíl mezi elastickou (pružnou, vratnou) a plastickou (trvalou) deformací. Při elastické deformaci se zvětšuje vzdálenost mezi atomy, pokud přestane působit vnější síla, atomy se vrátí zpět do původní polohy. K vyvolání plastické deformace je zapotřebí dosáhnout určité hodnoty napětí, které se říká mez kluzu  $R_p$  (MPa). Poté po sobě jednotlivé bloky krystalu začnou klouzat a dochází k trvalé změně rozměrů zkušební tyče. Když už je průměr tyče příliš malý, dojde k přetržení vazeb mezi zbývajícími atomy a k porušení soudržnosti materiálu.

### Σ Shrnutí

Deformace v krystalických látkách probíhá nejčastěji skluzem vybraných krystalografických rovin. Napětí potřebné pro skluz těchto rovin je výrazně nižší, než ukazují teoretické výpočty, a to díky přítomnosti dislokací. Díky dislokacím se nemusí při skluzu přerušit vazebné síly v celé rovině najednou, ale jen v jedné řadě atomů.



### Otázky 2.3.

- 2.3.1) Co jsou a jak vznikají skluzové pásy?
- 2.3.2) Jaké platí zákony pro skluz?
- 2.3.3) Čím je určen skluzový systém?
- 2.3.4) Kolik skluzových systémů mají mřížky KPC KSC a HTU?
- 2.3.5) Jaký vliv má počet skluzových systémů na deformační odpor?



### Úlohy k řešení 2.3.

2.3.1) Ověřte, které směry leží v rovině (1 2 3).

- a) [1 1 1]
- b) [-1 -1 1]
- c) [1 -1 1]
- d) [-1 0 1]



### Korespondenční úkol

Stanovte hustotu atomů ( $\text{at}/\text{m}^2$ ) ve skluzových rovinách mřížek KPC a KSC. Jednotlivé roviny i s příslušnými atomy a směry zakreslete pomocí nástroje *Kreslení* textového editoru *Word*.

*Využijte výsledků z příkladů 2.1*

## 2.4. Základní veličiny ve tváření



**Čas ke studiu: 1,5 hodiny**



### Pojmy k zapamatování

Napětí, tlak, tah, deformace, stavy napjatosti a deformace, deformační rychlost, deformační tření, deformační odpor, přirozený deformační odpor, tváření za tepla a za studena, rekrytalizace, precipitace, intenzita napětí, intenzita deformace, intenzita smykového napětí.



### VÝKLAD

#### □ Napětí (Stress)

Napětí  $\sigma$  se definuje jako síla  $F$  působící na jednotku plochy  $S$ . Tedy:



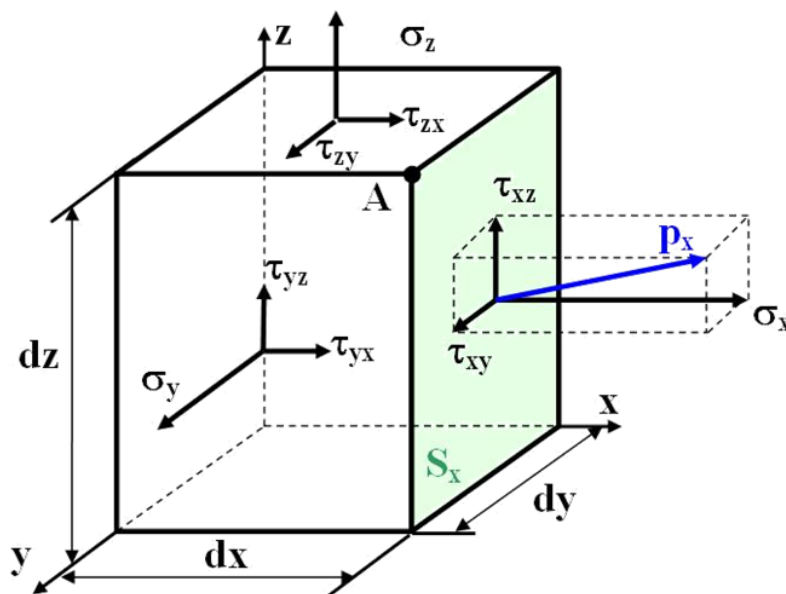
### Vzorec k zapamatování

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad [\text{MPa}, \text{N}/\text{mm}^2] \quad (2.1)$$

Normálové napětí je **kladné**, označujeme jej + jestliže je **tahové** a **záporné** (-), je-li **tlakové**.

### □ Stanovení složek napětí v hmotném bodě tvářeného tělesa

Na obr. 2.25. je naznačeno označování napětí v pravouhlém souřadnicovém systému. Napětí působící ve sledovaném bodě kolmo na sledovanou plochu nazýváme **normálovým napětím** a označujeme  $\sigma$ . Napětí působící ve sledovaném bodě ve směru sledované plochy nazýváme **smykovým (tangenciálním) napětím** a označujeme  $\tau$  (tau).



Obr. 2.25. Vyjádření stavu napjatosti v bodě A

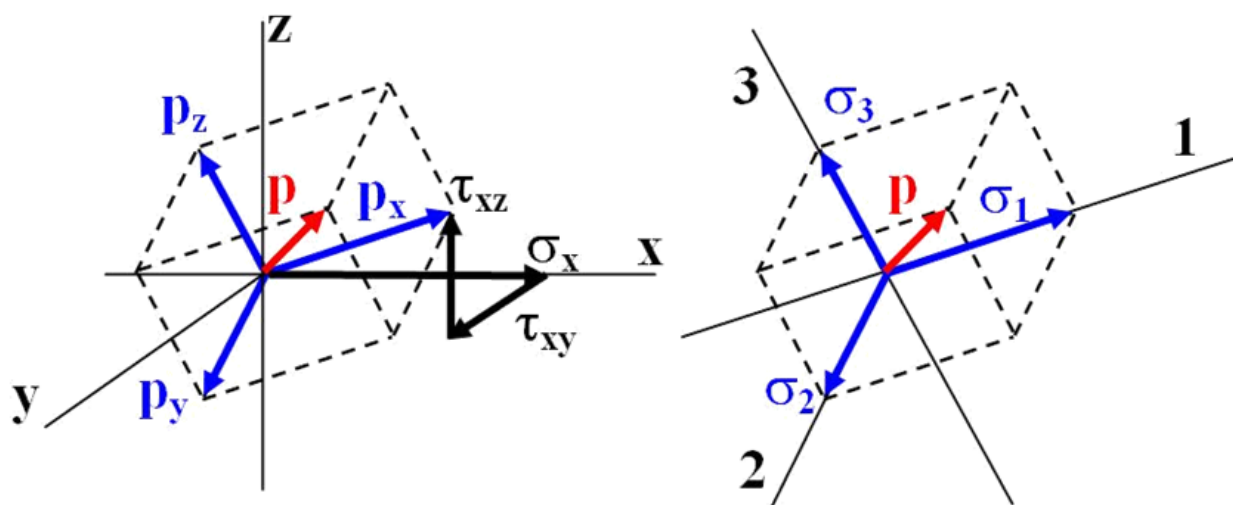
V pravouhlém souřadnicovém systému s osami  $x, y, z$  je obecný stav napjatosti na elementární krychli popsán třemi normálovými složkami a šesti smykovými složkami. Z momentové rovnováhy sil plyne že:

$$\tau_{xy} = \tau_{yx}; \quad \tau_{xz} = \tau_{zx}; \quad \tau_{zy} = \tau_{yz}; \quad (2.2; 2.3; 2.4)$$

### □ Systém hlavních os

Výslednici napětí působících na příslušné ploše, značíme  $P$  (např. na ploše  $S_x$  je výslednice  $P_x$ ) a stanovíme ji jako vektorový součet příslušných napětí.

Jestliže natočíme osy souřadného  $x, y, z$  tak, aby odpovídaly směrům působení výslednic  $P_x, P_y, P_z$ , získáme tzv. systém hlavních os (obr. 2.26.), kde jsou smykové složky napětí nulové. Pro zbývající 3 hlavní složky byla přijata dohoda:  $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$



Obr. 2.26. Systém hlavních os





## CD-ROM 27 Napětí

### □ Lineární napjatost

Na těleso působí ve směru osy  $x$  tahové napětí  $\sigma_x$ . Na obecně skloněnou rovinu  $S$  pak působí ve směru osy  $x$  napětí (**obr. 2.27.**):

$$\sigma_S = \sigma_x \cdot \cos \alpha \quad (2.5)$$

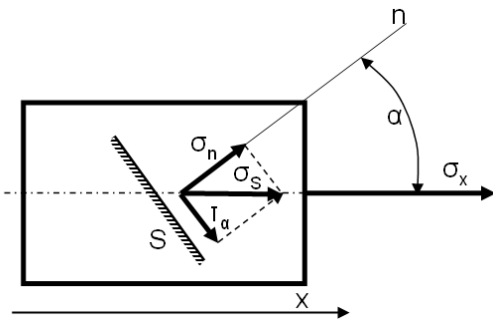
normálové napětí se pak vypočte z vyznačeného pravoúhlého trojúhelníka takto:

$$\sigma_n = \sigma_S \cdot \cos \alpha = \sigma_x \cdot \cos^2 \alpha \quad (2.6)$$

Tečné napětí má tento tvar:

$$\tau_\alpha = \sigma_S \cdot \sin \alpha = \sigma_x \cdot \cos \alpha \cdot \sin \alpha = \frac{1}{2} \cdot \sigma_x \cdot \sin 2\alpha \quad (2.7)$$

$$\tau_{\alpha, \max, \min} = \pm \frac{1}{2} \cdot \sigma_x \quad (2.8)$$



Obr. 2.27. Lineární napjatost

Největší tečné napětí dostaneme na ploše, která je vůči vnější působící síle skloněna o úhel  $45^\circ$ . Protože tečné napětí působí ve směru skluzu, je zodpovědné za probíhající plastickou deformaci.



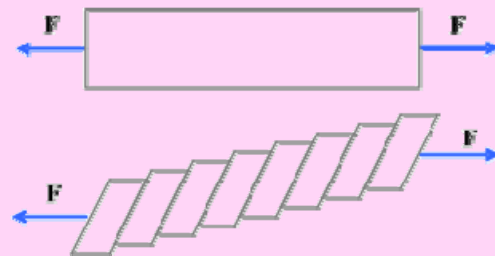
### Zajímavost

Již jsme se zmínili, že HTU mřížka má pouze jednu skluzovou rovinu. Pokud vypěstujeme monokrystal např. zinku a vyrobíme z něj vzorek pro tahovou zkoušku tak, že skluzová rovina  $\{0001\}$  bude orientována:

a) **pod úhlem  $45^\circ$  vůči působící síle**, při tahové zkoušce dojde k plastické deformaci skluzem, ale vzhledem k existenci jedné skluzové roviny bude výsledek vypadat jako na obrázku a schématu vpravo. Pověšimněte si výrazných stupňů na povrchu zkušební tyče

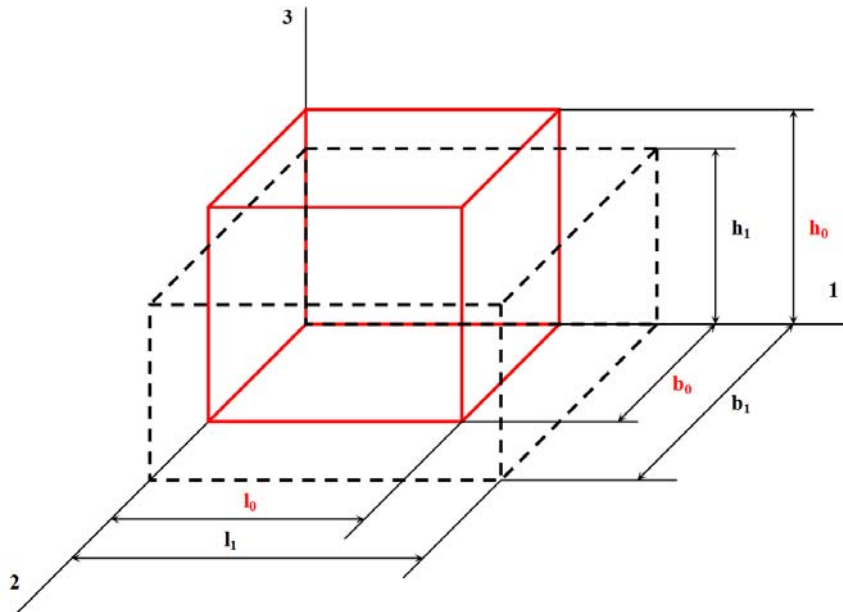


b) **kolmo na působící sílu**, nedojde při tahové zkoušce vůbec k plastické deformaci. Smyková složka napětí na skluzové rovině bude rovna 0, proto bude probíhat pružná deformace, dokud nedojde k překročení pevnosti materiálu a ke křehkému lomu.



### □ Deformace (strain)

Na **obr. 2.28.** je uveden způsob označování rozměrů tvářeného tělesa **před** a **po** deformaci.



**Obr. 2.28.** Způsob označování rozměrů tvářeného tělesa před a po deformaci

Výška  $h$ , délka  $l$  a šířka  $b$  mají před deformací index  $0$  a po  $1$ . úběru index  $1$ . pokud tváříme tělesa kruhového průřezu, vyjadřujeme délku  $l$  a průměr  $d$ . Pro rozměry tvářených polotovarů používáme malé písmenka, pro rozměry nástrojů používáme velká písmenka (např. průměr válce  $D$ ).

Máme celkem čtyři možnosti jak vyjádřit deformaci tělesa (viz. **tabulka 2.3.**).



## Vzorce k zapamatování

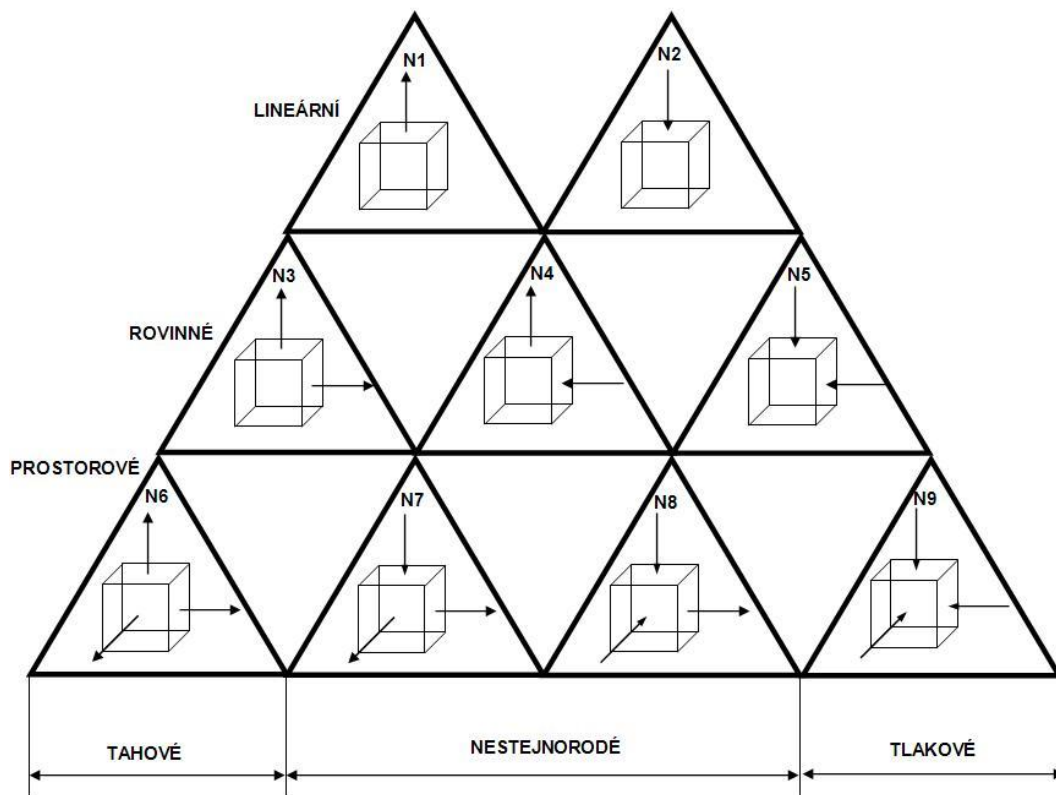
**Tabulka 2.3.** Vzorce pro výpočet deformace

rozměr	Absolutní deformace		Poměrná deformace	Součinitelé deformace	Skutečná (logaritmická) deformace
(mm)	(mm)		(-), (%)	(-)	(-)
$l$	prodloužení	$\Delta l = l_1 - l_0$ [mm]	$\varepsilon_l = \frac{l_1 - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0}$ [-]	$\lambda = \frac{l_1}{l_0}$ [-]	$e_l = \ln \lambda$ [-]
$b$	šířeni	$\Delta b = b_1 - b_0$ [mm]	$\varepsilon_b = \frac{b_1 - b_0}{b_0} = \frac{\Delta b}{b_0}$ [-]	$\beta = \frac{b_1}{b_0}$ [-]	$e_b = \ln \beta$ [-]
$h$	pěchování	$\Delta h = h_0 - h_1$ [mm]	$\varepsilon_h = \frac{h_0 - h_1}{h_0} = \frac{\Delta h}{h_0}$ [-] $\varepsilon_h = \frac{h_0 - h_1}{h_0} \cdot 100 = \frac{\Delta h}{h_0} \cdot 100$ [%]	$\gamma = \frac{h_1}{h_0}$ [-]	$e_h = \ln \gamma$ [-]

## □ Stav napjatosti

Stav napjatosti poskytuje názornou představu o přítomnosti a smyslu hlavních normálových napětí  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  a  $\sigma_3$ . Jak jsme si už ukázali, hmotný bod tělese, v němž se stav napjatosti zkoumá se, se pro názornější představu nahrazuje krychlí, z jejichž stěn vycházejí vektory, které představují směr a smysl hlavních napětí. S přihlédnutím k počtu možných vektorů, lze zapsat 9 schémat hlavních napětí (**obr. 2.29.**).

- 4 prostorové stavy: všestranný tlak (---) a roztažení (+++) a dva nestejnorodé stavy.
- 3 rovinné stavy: rovinný tah (++), tlak (--) a nestejnorodý stav (+-)
- 2 jednoosé stavy: tah (+) a tlak (-)

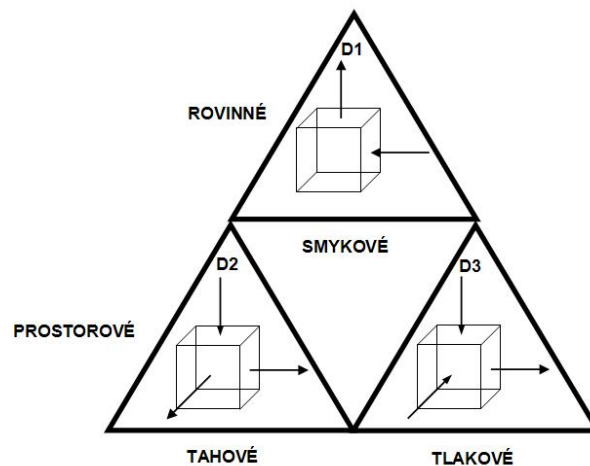


**Obr. 2.29.** Devět stavů napjatosti

Jen některé z nich však mají praktický význam v technologii tváření. Lineární stav se prakticky vůbec neuvažuje, rovinný stav se vyskytuje jen u příčného ohýbání plechů. Většina procesů tváření se uskutečňuje podle schématu N9 (válcování, protlačování, kování). V méně příznivém stavu N8 probíhá např. tažení drátů, nejméně příznivý stav N7 je typický pro kosé válcování trubek. Tváření podle N6 vždy vyústí ve vznik křehkého lomu.

## □ Stav deformace

Za předpokladu platnosti zákona zachování objemu, platí, že součet skutečných deformací musí být roven 0. Z tohoto důvodu se celkový teoretický možný počet stavů redukuje na 3, které uvádí **obr. 2.30.**

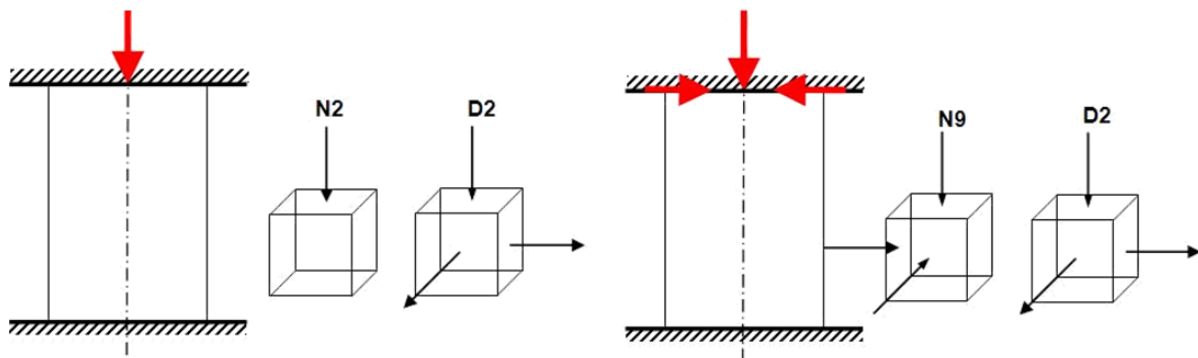


*Obr. 2.30. Tři stavy deformace*

Schéma D1 se vyskytuje nejčastěji při válcování plechů a širokých pásů, podle schématu D2 se přemísťují částice kovu při protlačování a tažení drátů, a nakonec nejrozšířenější schéma D3 se uplatňuje při válcování předvalků a tvarových vývalků a u většiny kovářských operací.

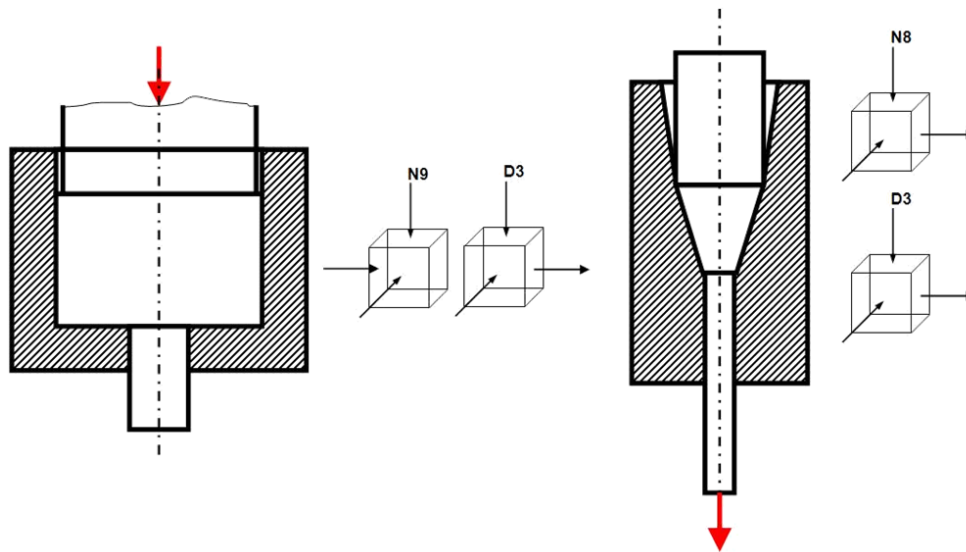
#### □ Stavy napjatosti a deformace - příklady

**Pěchování (obr. 2.31.)**, vlevo bez uvažování tření, vpravo s uvažováním tření. Vlivem tření přechází původně jednoosý tlakový stav napjatosti na prostorový stav tlakové napjatosti. Vlivem nehomogenní deformace se pak v tělese vyskytují i nestejnorodé stavy napjatosti. Stav deformace je pochopitelně v obou případech shodný.



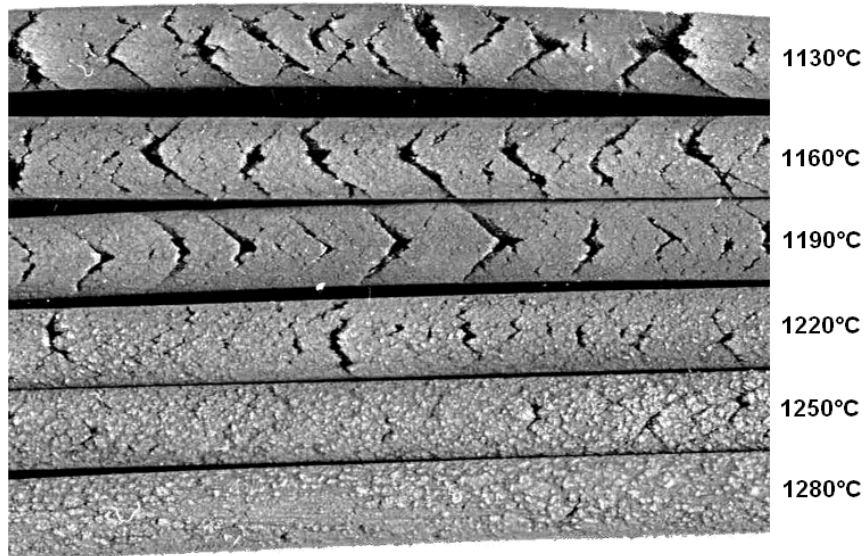
*Obr. 2.31. Stav napjatosti při pěchování*

Dvě technologie se stejným stavem deformace (**obr. 2.32.) protlačování** – vlevo, **tažení** – vpravo), ale rozdílným stavem napjatosti. Z hlediska technologické tvařitelnosti je výhodnější prostorový tlakový stav. Proto se protlačování hodí k tvářeni kovů s nižší metalurgickou tvařitelností, nebo k výrobě složitých profilů.



**Obr. 2.32.** Stejný stav deformace, rozdílný stav napjatosti: protlačování vs. tažení

Důsledky nepříznivé napjatosti a nízké teploty tvářeni (obr. 2.33.). Při válcování tenkých pásů a plechů dochází na jeho bocích, vlivem třecích sil a nerovnoměrnosti deformace ke změně stavu napjatosti N9 na N7. Důsledkem mohou být trhliny na bocích pásu, při válcování materiálu se sníženou metalurgickou tvařitelností. Metalurgická tvařitelnost materiálu se dále sníží při použití nižších tvářecích teplot.



**Obr. 2.33.** Pohled na boky válcovaného pásu při různých teplotách válcování



### CD-ROM 28 Klínová válcovací zkouška

Tato zkouška se používá pro hodnocení válcovatelnosti materiálu, pro větší citlivost na tahová pnutí na bocích vývalku je vzorek opatřen vruby.

#### □ Deformační rychlost

Mezi jednotlivými částicemi materiálu nastává relativní pohyb a časový průběh deformace při tvářeni se označuje jako deformační rychlost (strain rate)  $\dot{\epsilon}$  [ $s^{-1}$ ]. Není možné ji zaměňovat s rychlostí pohybu nástroje.

Platí:



## Vzorce k zapamatování

$$\dot{\varepsilon} = \frac{d\varepsilon}{dt} \quad [s^{-1}] \quad (2.9)$$

$$\text{Poměrnou výškovou deformaci vyjadřujeme: } \varepsilon = \frac{\Delta h}{h_0} \quad (2.10)$$

$$\text{V infinitním tvaru: } d\varepsilon = \frac{dh}{h} \quad (2.11)$$

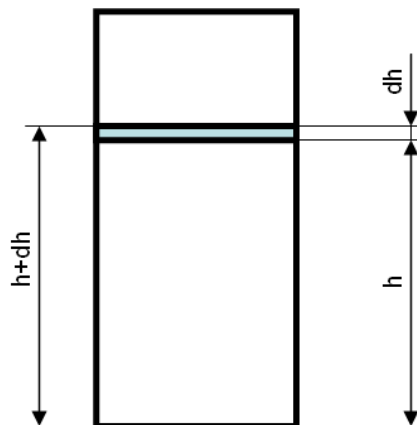
Vysvětlení: Infinitní = nekonečně malý. Rozdělíme-li si přírůstek deformace do nekonečně malých kroků  $dh$  (viz. **obr. 2.34.**), pak jej můžeme vyjádřit takto:

$$d\varepsilon = \frac{h + dh - h}{h} \quad (2.12)$$

Po spojení s rov (2.9) obdržíme:

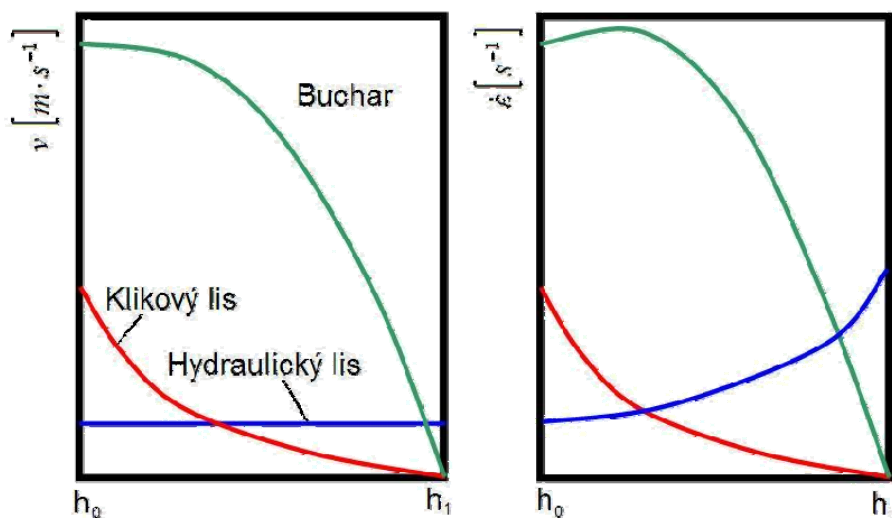
$$\dot{\varepsilon} = \frac{dh}{dt} \cdot \frac{1}{h} = \frac{v}{h} \quad [s^{-1}] \quad (2.13)$$

$$\frac{dh}{dt} \quad [m \cdot s^{-1}] \text{ Změna dráhy za čas = rychlost}$$



**Obr. 2.34.** Nekonečně malý přírůstek deformace

Na **obr. 2.34.** je grafické srovnání deformační rychlosti a rychlosti nástrojů u běžných strojů pro kování. Zvláště názorná je situace u **hydraulického lisu**, rychlost nástrojů je konstantní po celou délku zdvihu, ale výška  $h$  postupně klesá z  $h_0$  na  $h_1$  a to se projeví v hyperbolickém průběhu deformační rychlosti.



**Obr. 2.34.** Průběh rychlosti nástrojů a deformační rychlosti při kování v závislosti na okamžité výšce výkovku

**Tabulka 2.5.** prezentuje typické rychlosti pracovních nástrojů ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) a dosahované deformační rychlosti ( $\text{s}^{-1}$ ). Povšimněte si, že se deformační rychlost u běžných technologií pohybuje v rozsahu 7 řádů.

*Tabulka 2.5. Rychlost nástrojů a deformační rychlost při vybraných operacích tváření*

		Rychlost	Deformační rychlost
kování	Buchar	4 až 10	40 až 1 000
	Klikový lis	0,4 až 0,8	4 až 30
	Hydraulický lis	0,1 až 0,5	0,01 až 10
Válcování	Předváleků na blokovně	6	15
	Středních tvarových vývalků	10	65
	Jemných vývalků	35	650
	Drátů	100	3 000
	Širokých pásů za tepla	30	480
	Širokých pásů za studena	40	800

#### □ Deformační tření

Tváření kovů je založeno na působení nástroje na tvářený polotovár, při němž dochází k těsnému styku obou těles. Silovým účinkem nástroje kloužou přemísťované částice kovu po pracovní ploše nástroje, což vyvolává vznik třecích sil, které tento klouzavý pohyb brzdí, a tím nemálo ovlivňují průběh deformace v celém tvářeném tělese.

Zvláštnosti oproti tření dvou tuhých těles v mechanice:

- Nástroj se deformuje **pružně**, tvářené těleso **plasticky**.
- Povrch tvářeného tělesa se stává jeho **otiskem**.
- **Vysoký** tlak na stykové ploše (až 500 MPa ocel za tepla, až 2 500 MPa ocel za studena).
- Velikost stykové plochy není **stálá**, postupně se zvětšuje.

Deformační tření jako **pasivní činitel**:

Nepříznivě ovlivňuje stav napjatosti, energosilové podmínky tváření (deformační odpor a deformační práce), životnost nástrojů.

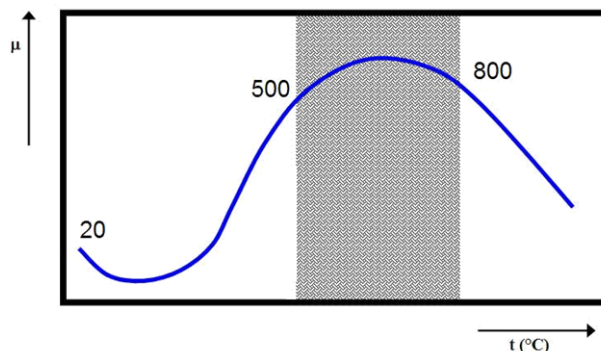
Deformační tření jako **aktivní činitel**:

Vůbec umožňuje uskutečnění tvářecího procesu (záběr válců při válcování).

Pro posouzení velikosti deformačního tření se zavádí  $\mu$  (součinitel tření).

Činitelé ovlivňující  $\mu$

- Povrchová jakost povrchu nástroje.
- Povrchová jakost tvářeného kovu (drsnot, přítomnost okují).
- Chemické složení tvářeného kovu (za studena).
- Tvářecí teplota.
- Pracovní rychlost nástroje.
- Mazivo.



**Obr. 2.36.** Závislost součinitele tření na tvářecí teplotě

Vliv teploty tváření na součinitel tření je v grafu na **obr. 2.36**. Maximum mezi teplotami 500 a 800 °C má souvislost s intenzívním vznikem okují FeO. Při teplotách nad 800 °C, se již teplotní závislost bere jako lineární. Okuje, které vznikají při těchto teplotách lze totiž poměrně snadno mechanicky odstranit a tak se projeví jen vliv klesajícího deformačního odporu.

Základní vzorce pro výpočet součinitele deformačního tření:



**Vzorce, které nejsou speciálně označeny, si pamatovat nemusíte. U zkoušky by jste ovšem měli umět na základě těchto vzorců nakreslit graf!**

Válcování za tepla:

$$\mu = k \cdot (1,05 - 0,0005 \cdot t) \quad (2.14)$$

Kde  $k$  je součinitel závislý na povrchové kvalitě válců ( $k = 1$  pro ocelové válce,  $k = 0,8$  pro litinové válce),  $t$  je teplota (°C). Vidíme, že vliv teploty je zde pouze lineární.

Vzorec uvažující vliv rychlosti nástrojů

$$\mu = k \cdot (1,1 - 0,0005 \cdot t - 0,0054 \cdot v) \quad (2.15)$$

Kde  $v$  je rychlost nástrojů (válců) ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )

Válcování za studena:

$$\mu = k \cdot \frac{0,07 - 0,1 \cdot v^2}{2 \cdot (1 + v) + 3 \cdot v^2} \quad (2.16)$$

kde  $v$  je rychlost nástrojů (válců) ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ),  $k$  je součinitel závislý na druhu maziva



Tabulka 2.6. Obvyklé hodnoty součinitele tření

Technologie	Koeficient tření
Kování bez maziva (volné)	0,35 – 0,5
Kování s mazivem (zápustkové)	0,1 – 0,3
Válcování za tepla (počátek)	0,3 – 0,6
Válcování za tepla (ustálený stav)	0,2 – 0,4
Válcování za studena (mazivo)	0,1 – 0,2
Tažení drátu (mazivo)	0,03 – 0,15

### □ Deformační odpor

Je projevem tlaku a reakcí kovu proti vnější síle, jež působí na těleso s cílem vyvolat změnu jeho stavu.

Značí se  $\sigma_d$  a odvozuje se od **přirozeného deformačního odporu**  $\sigma_p$ , je ale vyšší o vliv **přídavných odporů** charakterizujících danou technologickou operaci (deformační tření, stav napjatosti, atd.)



### Vzorec k zapamatování

$$\sigma_d = \beta \cdot \sigma_p + q \quad (2.17)$$

kde  $\beta$  je součinitel stavu napjatosti ( $\beta = 1$  při osově souměrné deformaci,  $\beta = 1,15$  je-li:

$$\sigma_2 = \left( \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} \right). \quad (2.18)$$

$q$  je nejmenší hlavní napětí ( $\sigma_3$ ) zahrnující vliv třecích sil.

Na třecí síly lze působit především těmito činiteli:

- Poměrnou stykovou plochou (viz. **obr. 2.37.**).
- Součinitel deformačního tření  $\mu$  (viz. **obr. 2.38.**)
- Tvarem nástrojů (viz. **obr. 2.39.**).

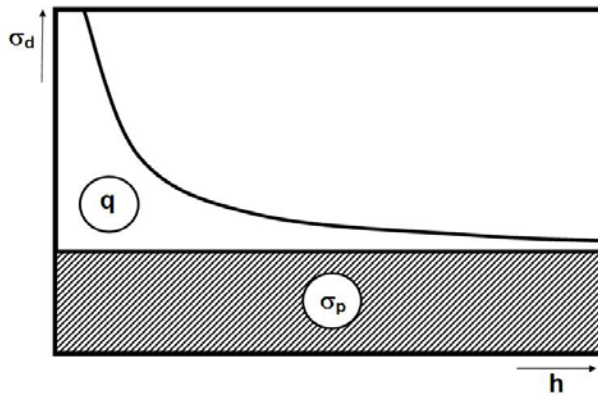
Jedna se zvláštností deformačního tření spočívá v tom, že jeho vliv nevyjadřují jen součinitel tření, ale i poměrná styková plocha  $S/V$ .

Platí, že:  $S/V = S/S \times h = 1/h$

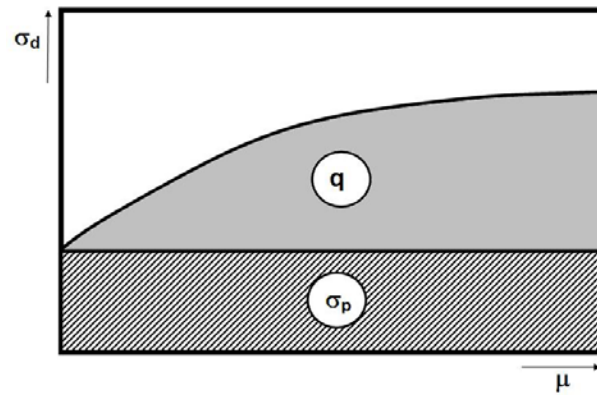
Což znamená, že růst poměru  $S/V$  při zmenšující se výšce  $h$  se řídí hyperbolickou závislostí.

Z výkladu v kapitole o deformačním tření vyplynulo, že s rostoucím součinitelem tření se zvyšuje deformační odpor.

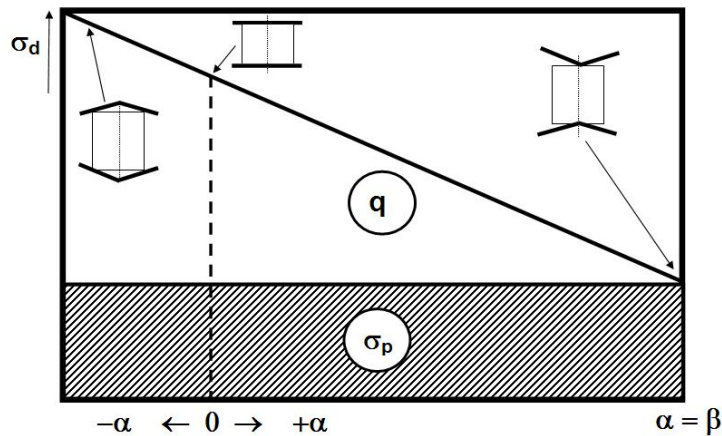
Na třecí síly působí i tvar nástroje. Rozlišujeme nástroje vypuklé, rovné a vyduté, a to podle velikosti úhlu  $\alpha$ . Je-li  $\alpha = \beta$ , což je třecí úhel  $\operatorname{tg}\beta = \mu$ , dojde k úplnému potlačení třecích sil a deformace probíhá v podmínkách blízkých rovnoměrné deformaci.



Obr. 2.37. Vliv velikosti stykové plochy na deformační odpor



Obr. 2.38. Vliv tření na deformační odpor



Obr. 2.39. Vliv tvaru nástroje na deformační odpor

#### □ Přirozený deformační odpor

Jedná se o materiálovou charakteristiku. Je to nejmenší napětí nutné k vyvolání plastické deformace za určitých **smluvních podmínek**. Zjišťuje se v podmínkách lineárního stavu napjatosti, tedy s vyloučením vlivu deformačního tření, a to nejčastěji tahovou zkouškou. Fyzikálně odpovídá intenzitě napětí (kumulovaný vliv všech hlavních napětí):

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{1}{2} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2]} \quad (2.19)$$

Ve zvláštním případě tváření za studena při lineárním stavu napjatosti  $\sigma_1 = R_e$ ,  $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$  z čehož vyplývá:  $\sigma_p = R_e$ .

Obecně přirozený deformační odpor vyjadřuje tato rovnice:



## Vzorec k zapamatování

$$\sigma_p = f(M, T, e, \dot{e}) \quad (2.20)$$

Kde  $M$  je metalurgický charakter kovu,  $T$  je teplota,  $e$  je deformace a  $\dot{e}$  je deformační rychlost

### Veličiny ovlivňující přirozený deformační odpor

#### Metalurgický charakter kovu $M$

##### *Chemické složení*

- Nejnižší  $\sigma_p$  mají čisté kovy.
- Interstiticky rozpuštěné prvky a těžkotavitelné kovy  $\sigma_p$  výrazně zvyšují.
- Precipitáty karbonitridů rovněž zvyšují  $\sigma_p$ .

##### *Struktura*

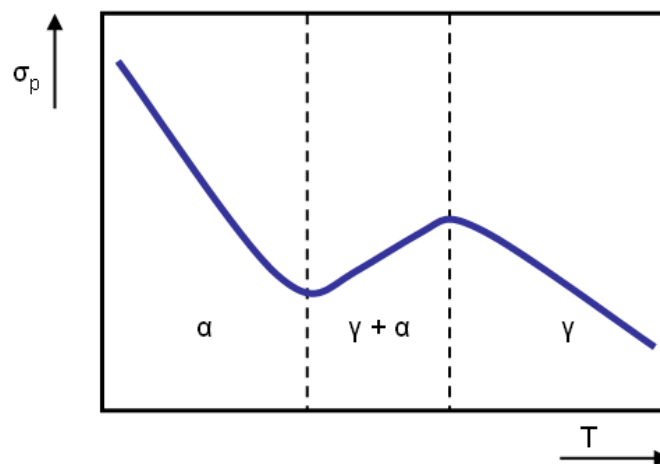
Stěžejní vliv má počet skluzových systémů. Např. oceli austenitické mají 4x až 5x vyšší  $\sigma_p$  než oceli feritické. Tedy platí, že  $\sigma_p$  se zvyšuje v závislosti na strukturním stavu v tomto pořadí: ferit → nelegovaný austenit → legovaný austenit → dvoufázová struktura → struktura s výskytem heterogenních útvarů.  $\sigma_p$  se zvyšuje se snižováním **velikosti zrna**.

##### *Čistota*

Nečistoty, zejména na hranicích zrn a na skluzových rovinách brzdí skluzový mechanismus.

#### Tvářecí teplota $T$

Se vzrůstající teplotou se  $\sigma_p$  postupně snižuje. V teplotním rozmezí 1 fáze se jedná o pokles monotónní (viz. **obr. 2.40**).



**Obr. 2.40.** Závislost přirozeného deformačního odporu na teplotě

## Deformace $e$

S postupující plastickou deformací dochází ke zvýšení hustoty dislokací. Dislokace se vzájemně protínají, dostávají se na hranice zrn a to má za následek tak zvané **zpevnění** materiálu. Pokud tváříme za studena nedochází k žádným uzdravovacím procesům, **křivka napětí-deformace** má monotónní průběh (viz. **obr. 2.41. vlevo**). Při tváření za tepla dochází po překročení kritické deformace k **uzdravovacím dějům (zotavení a rekrytalizace)**, křivka napětí-deformace vykazuje pík (viz. **obr. 2.41. vpravo**). Velikost **kritické deformace pro počátek dynamické rekrytalizace** je tím menší čím je větší teplota tváření a nižší rychlost deformace. Při určité velikosti deformace dojde k vyrovnání účinků zpevnění a odpevnění a křivka napětí vykazuje **ustálený stav**.

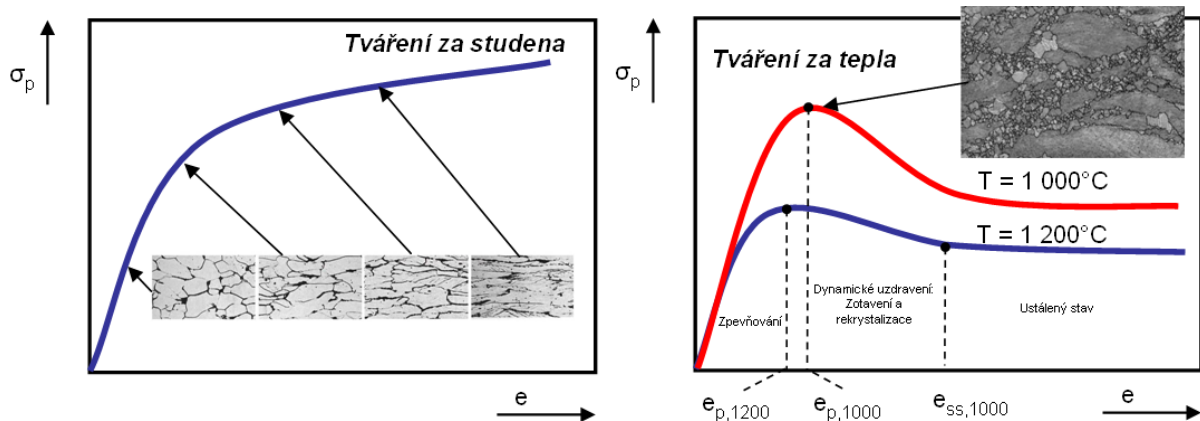
Tváření za studena

$$\sigma_p = K \cdot e^n \quad (2.21)$$

Tváření za tepla

$$\sigma_p = A \cdot e^B \cdot \exp\left(-B \cdot \frac{e}{e_p}\right) \quad (2.22)$$

Kde  $\exp\left(-B \cdot \frac{e}{e_p}\right)$  je **odpevňovací člen**



**Obr. 2.40.** Závislost přirozeného deformačního odporu na deformaci, vlevo tváření za studena, vpravo tváření za tepla,  $e_p$  – píková deformace,  $e_{ss}$  – deformace při ustáleném stavu (steady state)

## Deformační rychlost $\dot{\epsilon}$

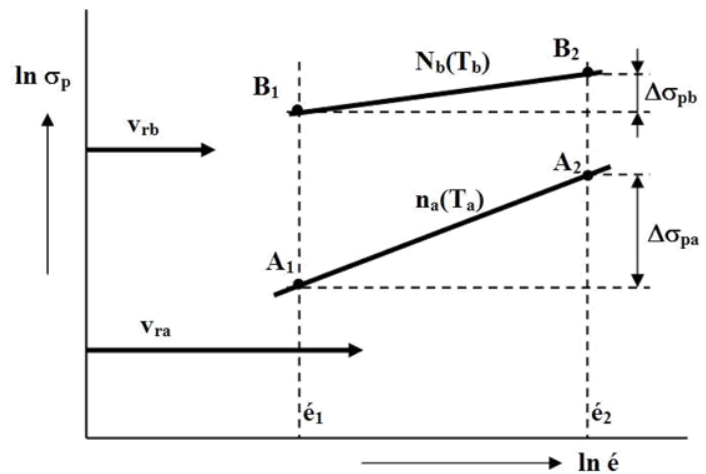
Zvýšení deformační rychlosti znamená:

- zvýšení počtu mřížkových poruch, a tím zvýšení deformační energie,
- zvýšení potenciální energie tělesa, což může vést i k výraznému zvýšení jeho teploty,
- zkrácení doby deformace, a tím omezení dějů probíhajících v závislosti na čase (dynamické uzdravení, deformační precipitace).

**Průběh a kinetika uzdravovacích procesů**

Za vyšších teplot se vliv deformační rychlosti projevuje výrazněji, přírůstek přirozeného deformačního odporu je větší. Příčinu je třeba hledat ve vzájemném vztahu deformační rychlosti a rychlosti dynamického uzdravení.

V grafu (viz. **obr. 2.42.**) jsou v logaritmických souřadnicích zakresleny body  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $B_1$ , a  $B_2$ , odpovídající deformačnímu odporu oceli při teplotách  $T_a$  a  $T_b$ , když platí:  $T_a > T_r$  (teplota rekrytalizace)  $> T_b$ , a deformačních rychlostech  $\dot{\epsilon}_1$  a  $\dot{\epsilon}_2$ , když platí  $\dot{\epsilon}_1 < \dot{\epsilon}_2$ . Deformační rychlost  $\dot{\epsilon}_2$  je větší než rychlost rekrytalizace  $v_{ra}$  i  $v_{rb}$  (rekrytalizace bude v obou případech zbrzděna). Výsledný rozdíl v hodnotách deformačního odporu při rychlosti  $\dot{\epsilon}_2$  je tedy dán vlivem teploty. Při tvářeni deformační rychlostí  $\dot{\epsilon}_1$  je při vyšší teplotě  $T_a$  rychlost rekrytalizace  $v_{ra}$  vyšší než deformační rychlost, v tomto případě dojde k uzdravení struktury a přirozený deformační odpor se sníží o hodnotu  $\Delta\sigma_{pa}$ , při nižší teplotě jsou uzdravovací děje stále blokovány, pokles přirozeného deformačního odporu bude pouze  $\Delta\sigma_{pb}$ .

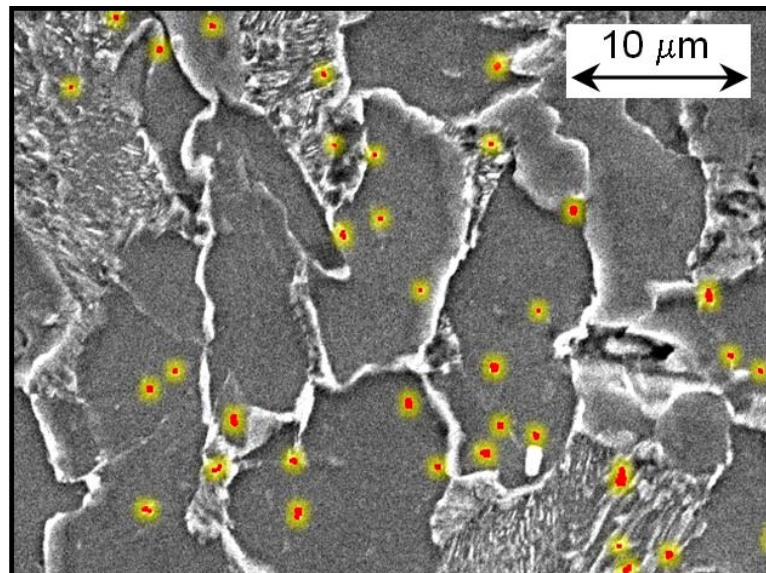


**Obr. 2.42.** Závislost přirozeného deformačního odporu na deformační rychlosti při dvou různých teplotách

**Deformační precipitace**

Princip je stejný jako v předchozím bodě, precipitace vyžaduje určitý čas (inkubace + samotný průběh), ale vliv precipitace na přirozený deformační odpor je opačný než u dynamického zotavení. Zvýšení  $\dot{\epsilon}$  vede k potlačení precipitace a tím ke snížení  $\sigma_p$ .

Precipitáty (viz. **obr. 2.43.**) totiž brzdí pohyb dislokací a tím zvyšují  $\sigma_p$ . Přičemž větší účinek má větší množství jemných precipitátů.



**Obr. 2.43.** Precipitáty v oceli



## Odměna a odpočinek

Teď jste obdrželi opravdu velké množství informací, které je třeba v klidu vstřebat. Udělejte si pauzu a pokud si chcete udělat představu jak je pro dislokaci těžké projít čistým kovem, kovem s malým množstvím velkých karbidů a kovem s velkým množstvím malých karbidů, udělejte si na svačinu tři pudinky. Jeden bude čistý, druhý bude např. s třešněmi a třetí bude s ovesnými vločkami, a nechte je hmotnost třešní a ovesných vloček stejná (třešně i vločky představují nekoherentní precipitáty, např. karbidy nebo nitridy). Až vám pudinky ztuhnou, pokuste se je rozřezat nití (ta tady představuje hranovou dislokaci). A teď odpovězte na tyto otázky: Který pudink vás bude stát největší úsilí (napětí)? Co se stane když nit' narazí na třešně? Kdo to teď bude jíst? Dobrou chuť!



## Shrnutí

Seznámili jste se se základními veličinami ve tváření. Víte, že napětí můžeme vyjádřit celkem 9 složkami, naštěstí jsme vzápětí vyjádření napjatosti zjednodušili na 3 složky hlavních napětí. Kombinací tří složek na třech různých úrovních – 0 + získáme 9 stavů napjatosti. Deformaci můžeme vyjádřit různě (absolutní, poměrná, skutečná deformace a součinitel deformace). Protože nemohou existovat stejnorodé stavy deformace, snížil se jejich počet oproti stavům napjatosti na 3. Víte co je deformační rychlost a umíte ji odlišit od rychlosti nástrojů, také umíte vysvětlit její poměrně zvláštní jednotku  $s^{-1}$ . Víte čím se liší tření ve tváření kovů od tření v mechanice a jak lze velikost tření vyjádřit. Víte co je deformační odpor a přirozený deformační odpor. Umíte vysvětlit čím se od sebe liší a čím je každý ovlivněn. Umíte nakreslit křivky napětí-deformace pro tváření za tepla i za studena.



## Otázky 2.4.

- 2.4.1) Proč má protlačování lepší technologickou tvařitelnost než tažení?
- 2.4.2) Proč dochází na bocích válcovaných pásů ke vzniku trhlin?
- 2.4.3) V jakých jednotkách se udává deformační rychlost? Odvoďte!
- 2.4.4) Nakreslete průběh deformační rychlosti při přechování na hydraulickém lise.
- 2.4.5) Čím se liší deformační tření od tření v mechanice?
- 2.4.6) Graficky vyjádřete závislost tření na teplotě při válcování podle rov (2.14).
- 2.4.7) Co je to deformační odpor?
- 2.4.8) Co je to přirozený deformační odpor?
- 2.4.9) Graficky vyjádřete vliv stykové plochy na deformační odpor.
- 2.4.10) Na čem závisí velikost přirozeného deformačního odporu?
- 2.4.11) Co je to metalurgický charakter kovu?
- 2.4.12) Jak struktura ovlivňuje přirozený deformační odpor?
- 2.4.13) Jak teplota ovlivňuje přirozený deformační odpor?
- 2.4.14) Čím se liší závislost přirozeného deformačního odporu na deformaci při tváření za tepla a za studena?



## Otázky 2.4.

2.4.15) Jak závisí piková deformace na teplotě?

2.4.16) Co se ustálí když na křivce napětí-deformace dosáhneme ustáleného stavu?

2.4.17) Vysvětlete vliv deformační rychlosti na přirozený deformační odpor.



## Korespondenční úkol

Mapy deformačních odporů – každý student dostane své zadání v excelu

## 2.5. Mezní stavy plastické deformace



Čas ke studiu: 1 hodina



## Pojmy k zapamatování

Intenzita napětí, intenzita deformace, intenzita smykového napětí, mezní stav pružnosti, mezní stav pevnosti, křehký a houževnatý lom,



## VÝKLAD

### □ Mezní stav pružnosti

Tento stav je označován jako podmínka plasticity, je charakterizován napěťovými faktory a vyznačuje se tím, že při jeho překročení vznikají v makroobjemu tvářeného tělesa první oblasti plastické deformace. Z praktického hlediska je nutno rozlišovat, zda se jedná o:

- prvotní podmínku plasticity (v historii zatěžování je mezního stavu pružnosti dosaženo poprvé, nebo když byl materiál po předchozí plastické deformaci plně rekrystalizován),
- následné podmínky plasticity (po dosažení plastického stavu a po odlehčení byl materiál opět zatěžován, aniž by byly odstraněny vlivy předchozí plastické deformace).

Existuje (historicky) několik hypotéz plasticity. Ukážeme si dvě nejpoužívanější.

### Hypotéza Guestova

K plastické deformaci dojde, jestliže polovina rozdílu hlavních napětí dosáhne meze kluzu:

$$\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \tau_{\max} = \sigma_k \quad (2.23)$$



**Pouze smykové napětí působí na dané skluzové rovině ve směru skluzu a může tak vyvolat plastickou deformaci.**

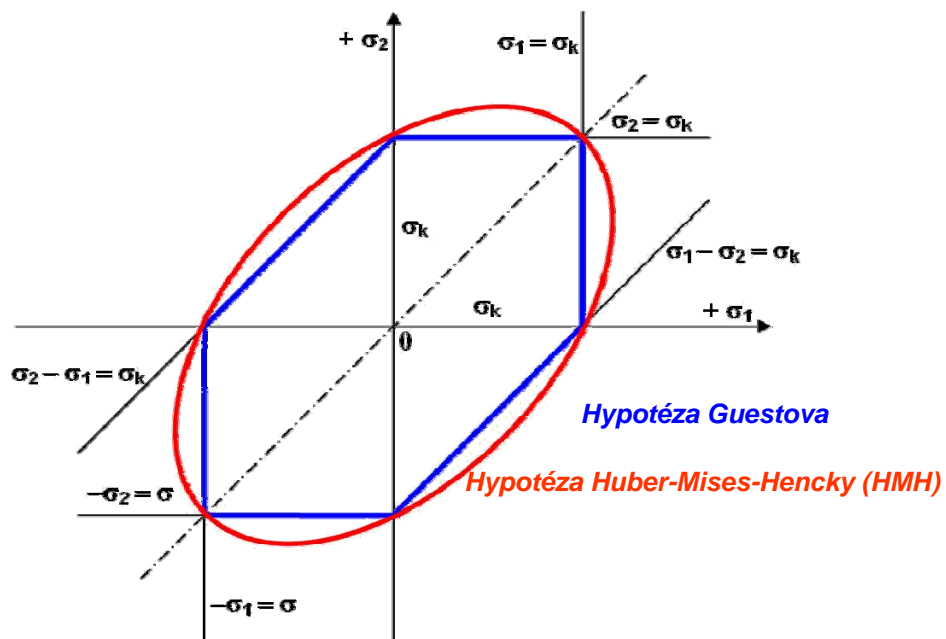
### Hypotéza Huber-Mises-Hencky (HMH, energetická)

Hypotéza předpokládá, že plastickou deformaci vyvolá taková smyková napjatost, jejíž intenzita  $S_\tau$  dosáhne konstanty plastičnosti:

$$S_\tau = \sqrt{\frac{1}{6} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2]} = \sigma_k \quad (2.24)$$

Přínosem této hypotézy je, že uvažuje vliv prostředního hlavního napětí  $\sigma_2$ .

Grafické vyjádření obou hypotéz najdete na **obr. 2.44**. Pokud výslednice napětí leží mimo vyznačené území, dojde k plastické deformaci.



Obr. 2.44. Grafické vyjádření mezních stavů pružnosti

### □ Mezní stav pevnosti

Označujeme tak stav kdy v zatěžovaném materiálu dojde ke vzniku kritické trhliny a k lomu.

#### Charakter lomu

Z hlediska stavu napjatosti rozeznáváme dva typy porušení soudržnosti kovů:

- porušení soudržnosti usmyknutím – **plastický lom** vyvolaný smykovým napětím,



- porušení soudržnosti odtržením – **křehký lom** vyvolaný tahovým normálovým napětím.

### Vliv stavu napjatosti na charakter lomu

Za působení nepříznivého stavu napjatosti se mohou i velmi plastické kovy chovat křehce. Při působení hydrostatického tahu  $+p$ , kdy:

$\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$  a **ukazatel stavu napjatosti**  $\frac{\sigma_8}{S_\sigma} = \infty$ , dojde ke **křehkému porušení** na mezi kluzu.

$$\text{Kde } \sigma_8 = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3} \text{ je hydrostatické (střední) napětí,} \quad (2.25)$$

$$S_\sigma = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2]} \text{ je intenzita napětí,} \quad (2.26)$$

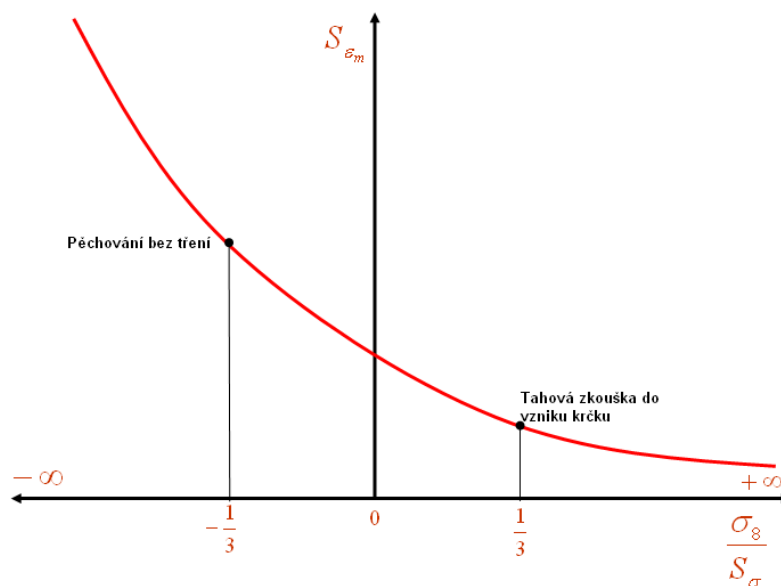
Při působení hydrostatického tlaku  $-p$ , kdy:

$-\sigma_1 = -\sigma_2 = -\sigma_3$  a  $\frac{\sigma_8}{S_\sigma} = -\infty$ , se mohou plasticky deformovat i velmi křehké materiály.

Z toho vyplývá, že stav napjatosti při  $\frac{\sigma_8}{S_\sigma} > 0$  bude nepříznivě působit na mezní plasticitu a naopak. Závislost mezní plasticity na stavu napjatosti můžeme vyjádřit křivkou na **obr. 2.45**.

$$\text{Kde } S_\varepsilon = \sqrt{\frac{2}{3}(\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 + \varepsilon_3^2)} \text{ je intenzita deformace,} \quad (2.27)$$

$S_{\varepsilon_m}$  je pak **mezní intenzita deformace** při které dojde k porušení soudržnosti.



**Obr. 2.45.** Závislost mezní plasticity na stavu napjatosti

## Σ Shrnutí

Rozeznáváme dva mezní stavy plastické deformace. Na počátku je to mezní stav pružnosti a na konci mezní stav pevnosti. Mezi těmito okamžiky probíhá plastická deformace. Přechod z pružného do plastického stavu závisí na velikosti smykových napětí. Po překročení pevnosti materiálu nastane lom, za příznivých (tlakových) napěťových podmínek to bude lom plastický, za nepříznivých podmínek pak lom křehký. Mezní plasticita (množství deformace, které materiál snese do porušení soudržnosti) tedy velmi výrazně závisí na stavu napjatosti (můžeme vyjádřit pomocí ukazatele stavu napjatosti).



### Otázky 2.5.

- 2.5.1) Co je podmínkou plasticity podle Guesta?
- 2.5.2) Jaký je rozdíl mezi hypotézou Guestovou a HMH?
- 2.5.3) Co je to intenzita napětí a deformace?
- 2.5.4) Jaké známe typy lomu, jakým napětím jsou vyvolány?
- 2.5.5) Co je to ukazatel stavu napjatosti?
- 2.5.6) Nakreslete diagram běžné tahové zkoušky a vyznačte oba mezní stavy.

## 2.6. Základní zákony plastické deformace



Čas ke studiu: 2 hodiny



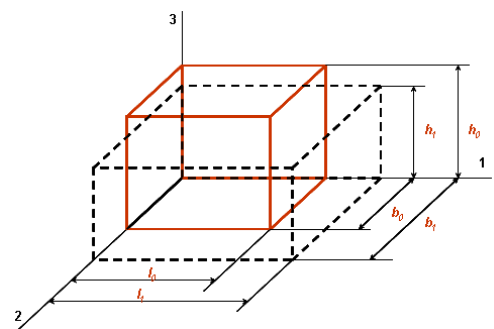
### Pojmy k zapamatování



#### VÝKLAD

##### □ Zákon zachování objemu

Základní rozměry tělesa ve tvaru kvádrů jsou  $h$  – výška (high),  $b$  – šířka (breadth),  $l$  – délka (length). Rozměry tělesa před deformací označujeme indexem 0. Po deformaci pak číslem (obecně  $n$ ), které říká kolika úběrům (postupným deformacím), bylo těleso v průběhu tváření vystaveno. Pokud proběhla pouze 1 deformace, budou mít rozměry index 1 (viz. **obr. 2.46.**).



**Obr. 2.46.** Rozměry před a po deformaci

Základní rovnici popisující zákon zachování objemu pak můžeme psát takto:



## Odvození k zapamatování

$$h_0 \cdot b_0 \cdot l_0 = V_0 = h_1 \cdot b_1 \cdot l_1 = V_1 \quad (2.28)$$

Po úpravě:

$$\frac{h_1}{h_0} \cdot \frac{b_1}{b_0} \cdot \frac{l_1}{l_0} = 1 \quad (2.29)$$

Zavedením součinitelů deformace  $\gamma$  – součinitel pětchování,  $\beta$  – součinitel šíření,  $\lambda$  – součinitel prodloužení, můžeme rovnici upravit:

$$\gamma \cdot \beta \cdot \lambda = 1 \quad (2.30)$$

Po zlogaritmování dostaneme:

$$\ln \gamma + \ln \beta + \ln \lambda = 0 \quad (2.31)$$

Kde  $\ln \gamma = e_h$  je skutečná (logaritmická) výšková deformace a obdobně  $\ln \beta = e_b$  je skutečná šířková deformace a  $\ln \lambda = e_l$  je skutečná šířková deformace.

$$e_h + e_b + e_l = 0 \quad (2.32)$$

Tato rovnice je tedy vyjádřením zákona zachování objemu pomocí skutečných deformací a říká, že součet skutečných deformací musí být roven 0.

**Pozn.** pro odlišení budeme dále používat pro označení základu přirozených logaritmů symbol **exp** místo běžnějšího **e**.

### Výjimky ze zákona zachování objemu

Z fyzikální hlediska je zákon o zachování objemu zjednodušením **zákona zachování hmotnosti**. Jako při každém zjednodušení (předpoklad, že hustota tělesa se nemění) i zde najdeme příklady kdy to přesně neplatí:

#### *Zvětšení objemu vlivem teplotní roztažnosti.*

Při ohřevu je polotovaru dodána vnější energie ve formě tepla, dojde ke zvětšení objemu podle následující rovnice:

$$V_t = [V_0 + \bar{\beta} \cdot (T - T_0)] \quad (2.33)$$

Znalost součinitele objemové teplotní roztažnosti je důležitá vzhledem k dosažení rozměrů požadovaných zákazníkem (ve studeném stavu) v rámci daného tolerančního pole.

#### *Tváření kovů v litém stavu*

Licí struktura je plná vad, ředin a bublin a má nižší hustotu než protvářená ocel. Konstantní je v tomto případě hmotnost tělesa, mění (zvyšuje) se jeho hustota.

Měrná hmotnost oceli v litém stavu  $\rho_1 = 6910 \text{ kg} \cdot \text{m}^3$

Měrná hmotnost oceli v protvářeném stavu  $\rho_2 = 7850 \text{ kg} \cdot \text{m}^3$

Z toho plyne:

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = 0,88 \quad (2.34)$$

### Změna objemu vyvolaná mřížkovými poruchami

Při deformaci dochází vlivem zvyšování hustoty dislokací ke snižování měrné hmotnosti materiálu. Jako konstantu musí brát opět hmotnost.

V **tabulce 2.6.** je uveden příklad tváření slitiny 95Cu-Al. Vidíme, že změna hustoty je v tomto případě velmi malá a v běžné provozní praxi ji můžeme na rozdíl od obou předchozích bodů zanedbat.

**Tabulka 2.6.** Změna hustoty při tváření slitiny 95 Cu-Al

Operace	Měrná hmotnost $\rho$ (kg/dm <sup>3</sup> )	Změna $\rho$
Žíhání: 800 °C/ 10 min	8,2366	
Tažení za studena na $d = 1 \text{ mm}$	8,2286	-0,008
Žíhání: 800 °C/ 10 min / vakuu	8,2386	0,0102
Tažení za studena na $d = 0,5 \text{ mm}$	8,2188	-0,020



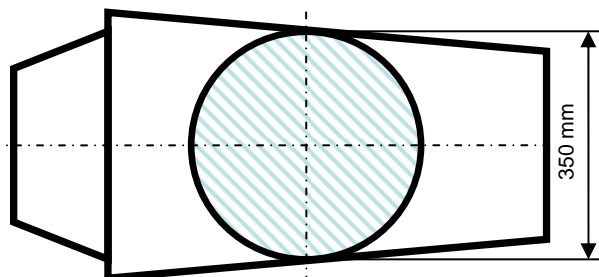
### Řešený příklad

Ingot o hmotnosti  $m = 955 \text{ kg}$  (hlava: 165 kg) a středním průřezu 350 mm byl v 13. průchodech válcován na blok o straně čtverce 80 mm. Stanovte střední součinitel prodloužení a konečnou délku bloku (měrná hmotnost oceli)

Pro pochopení příkladu je potřeba vysvětlit některé nové pojmy.

#### Ingot a jeho střední průřez

- jedná se o do kokil lity polotovar kruhového průřezu s označením OK 0,95. Tvar a střední průřez ingotu je patrný z obrázku. Hlava ingotu (vlevo) se dále při válcování nezpracovává (technologický odpad).



**Průchod** – jednotlivý úběr při válcování, při vratném válcování je obvykle počet průchodů liché číslo.

**Blok** - lity (nebo jako v tomto případě válcovaný) polotovar přibližně čtvercového průřezu (poměr stran max. 1:1,4)

Budeme vycházet ze zákona o zachování objemu. Prvním krokem bude výpočet objemu válcované části ingotu:

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{m_{\text{celý}} - m_{\text{hlava}}}{\rho_{\text{litá ocel}}} = \frac{955 - 165}{6910} = 0,11433 \quad [m^3]$$

Vypočteme počáteční a konečnou délku ingotu:

$$S_0 \cdot l_0 = V_0 \Rightarrow l_0 = \frac{V_0}{S_0} = \frac{4 \cdot 0,11433}{\pi \cdot 0,35^2} = 1,188 \quad [m]$$

Protože během tvářeni dojde ke zvýšení hustoty materiálu, použijeme opravný koeficient 0,88.

$$S_{13} \cdot l_{13} = V_0 \cdot 0,88 \Rightarrow l_{13} = \frac{V_0 \cdot 0,88}{S_{13}} = \frac{0,11433 \cdot 0,88}{0,08^2} = \underline{15,72} \quad [m]$$

Výpočet celkového součinitele prodloužení je již snadný:

$$\lambda_c = \frac{l_{13}}{l_0} = \frac{15,72}{1,188} = 13,232 \quad [-]$$

Střední součinitel prodloužení v jednom průchodu vypočteme takto:

$$\lambda_c = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \cdot \dots \cdot \lambda_{13} \quad [-] \text{ je-li } \lambda_{\text{stř}} = \lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = \dots = \lambda_{13} \quad [-] \text{ pak:}$$

$$\lambda_{\text{stř}} = \sqrt[13]{\lambda_c} = \underline{1,2198} \quad [-]$$

Po vyválnování 13. průchody se středním součinitelem prodloužení 1,22 bude mít blok délku 15,72 m.



## Korespondenční úkol

Zákon zachování objemu – vyhodnocení výsledků laboratorního válcování



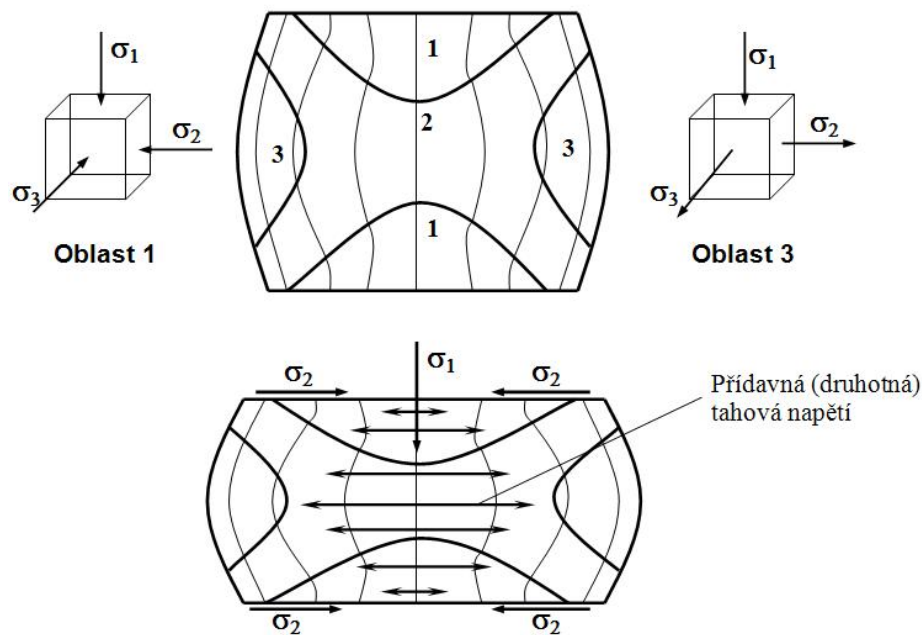
## CD-ROM 29 Laboratorní válcování – Zákon zachování objemu



## VÝKLAD

### □ Zákon doplňkových (přídavných) napětí a nerovnoměrnosti deformace

Při pýchování (stlačování) probíhá následkem třecích sil na stykových plochách mezi kovádem a kovem nerovnoměrná deformace po výšce tělesa (vzniká soudkovitost). Třecí síly brzdi pohyb částecek kovu na stykových plochách a vlivem vnitřního třeni i v přiléhajících vrstvách. Vznikají tak zvané třecí kužely se ztíženou deformační schopností. Na **obr. 2.47.** vidíme řez soudkem po pýchování. **Oblast 1** pak odpovídá nejnižší deformaci, **oblast 3** střední



**Obr. 2.47.** Nerovnoměrná deformace a přídavná napětí při pěchování

deformaci a **oblast 2** největší deformaci. Velikost deformace (např. výškové) v libovolné části výkovku můžeme zapsat touto rovnicí:

$$\varepsilon_{h,xyz} \begin{cases} < \\ > \end{cases} \varepsilon_h = \frac{\Delta h}{h_0} \quad (2.35)$$

Což znamená, že deformace v libovolném místě výkovku může být větší, rovna nebo menší než deformace průměrná, vypočítaná ze změny rozměrů výkovku.

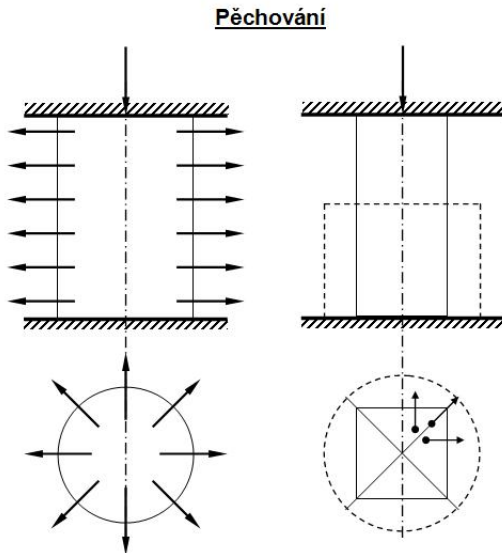
Nerovnoměrná deformace vytváří doplňková tahová napětí. Vznikem těchto napětí se napětíový stav mění na nestejnorodý, přičemž střední a nejmenší hlavní napětí se stávají tahovými. Tento stav je z hlediska možnosti porušení kovu při tváření méně příznivý.

#### □ Zákon toku kovu cestou nejmenšího odporu

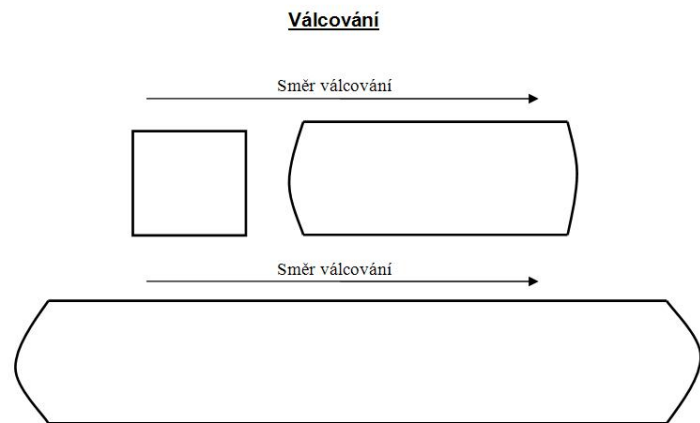
V průběhu plastické deformace se jednotlivé částice materiálu pohybují v tom směru, ve kterém se setkávají s nejmenším odporem. Jedná se o směr normály (kolmice) k volnému povrchu.

Na **obr. 2.48. vpravo** vidíme pěchování válečku, na **obr. 2.48. vlevo** je pak znázorněno pěchování hranolu. Při pěchování válečku má každý bod tělesa pouze jediný směr, který je kolmý k nejbližšímu povrchu, výsledkem tak bude opět váleček. Při pěchování hranolu však body ležící na úhlopříčkách mají dva nejbližší povrchy, důsledkem je nerovnoměrné šíření a při dostatečně velké deformaci vznikne opět váleček. Budeme-li uvažovat **tření** situace bude o něco komplikovanější.

Válcujeme-li těleso jehož počáteční půdorys je čtverec, dojde vlivem třecích sil vyvolaných otáčením válců přednostnímu toku kovu ve směru otáčení válců (**prodloužení**). V závislosti na technologických podmínkách se pak část celkové deformace bude realizovat i ve směru **šíření** (viz. **obr. 2.49**).



**Obr. 2.48.** Tok kovu při pěchování, nahoře pohled z boku, dole pohled shora, vlevo pěchování válečku, vpravo pěchování hranolu čtvercového průřezu



**Obr. 2.49.** Tok kovu při válcování (pohled na válcovanou brámu shora), dochází k výraznému prodloužení a malému našíření.

### □ Zákon podobnosti

Tento zákon umožňuje na základě studia tvářecího pochodu v modelových podmínkách usuzovat na energosilové parametry při skutečných podmínkách.

#### Geometrická podobnost

Poměry objemů se rovnají třetí mocnině poměrů lineárních rozměrů ( $a$ ), poměry ploch se rovnají druhé mocnině poměrů lineárních rozměrů ( $a$ ).

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{h_2}{h_1} \cdot \frac{b_2}{b_1} \cdot \frac{l_2}{l_1} = a \cdot a \cdot a = a^3 \quad (2.36)$$

$$\frac{S_0}{S_1} = \frac{h_0}{h_1} \cdot \frac{b_0}{b_1} = a \cdot a = a^2 \quad (2.37)$$

#### Mechanická podobnost

Znamená, že tváření probíhá při stejném stavu napjatosti a velikosti napětí a stejných skutečných deformacích.

#### Fyzikálně - chemická podobnost

Stejné chemické složení, stejná struktura, stejný průběh zpevňovacích a uzdravovacích procesů při stejných velikostech přetvárných odporů.

$$\frac{F_0}{F_1} = \frac{S_0}{S_1} = a^2 \quad (2.38)$$

Na základě laboratorního válcování můžeme vypočítat skutečnou válcovací sílu takto:

$$F_1 = \frac{F_0}{S_0} \cdot S_1 = p \cdot S_1 \quad (2.39)$$

Kde  $p$  je měrný tlak (MPa)

### Teplotní podobnost

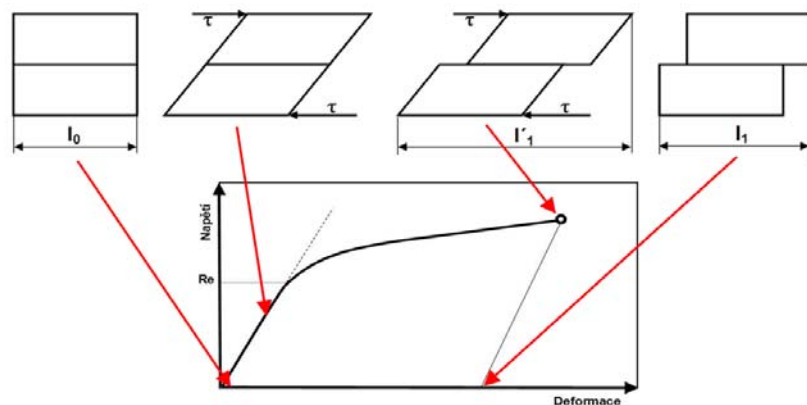
U rozměrově malých modelů je poměr povrchu k objemu větší než u skutečného tělesa. Musíme zajistit shodný poměr vnitřního a vnějšího tepelného odporu (charakterizovaný Biotovým kritériem):

$$Bi = \frac{\alpha}{\lambda} \cdot s \quad (2.40)$$

Kde  $s$  je charakteristický rozměr,  $\alpha$  je součinitel přestupu tepla [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ ],  $\lambda$  je součinitel tepelné vodivosti [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ].

### □ Zákon o přítomnosti pružných napětí při plastické deformaci

Každá plastická deformace tělesa je vždy doprovázena pružnou deformací. Její závislost na napětí je určována Hookovým zákonem. Uplatňuje se hlavně při tváření za studena. Přítomnost pružných deformací způsobuje, že rozměry a tvar výrobku po deformaci se nebudou přesně křít s rozměry nástroje. Nepřesnost rozměrů dále zvyšují pružné deformace tvářecích nástrojů (válcovací stolice, válce, atd.).



**Obr. 2.50.** Vyjádření zákona o přítomnosti pružných napětí při plastické deformaci

Na **obr. 2.50.** vidíte průběh deformace mřížky (nahore, vidíme jen zjednodušené zobrazení – hranice oblasti a skluzová rovina) v závislosti na průběhu zatěžování zkušební tyče o počáteční délce  $l_0$  při spojitě zkoušce tahem. V oblasti platnosti Hookova zákona je závislost napětí na deformaci lineární, probíhá pouze pružná deformace (vychylování všech atomů kovu ze svých původních poloh). Po překročení meze kluzu  $R_e$  dojde k plastické deformaci pomocí skluzového mechanismu. Atomy kovu jsou však i nadále vychylovány ze svých pozic, tj. pružná deformace je v kovu stále přítomna, délka tělesa je  $l_1$ . Po přerušení deformace, pružná deformace mizí a délka tělesa se zkrátí na konečnou délku po deformaci  $l_1$ .



### □ Zákon o zbytkových pnutích

Zbytková pnutí vznikají v tělese vždy, když určité částice mnění svoje rozměry v určitém směru nerovnoměrně (ohřev, ochlazování, krystalizace, fázové přeměny apod.).

Zbytková pnutí snižují chemickou odolnost a často způsobují zkřivení součástek.

Na snížení pnutí se používá:

- žíhání pro odstranění pnutí,
- vyvolání napětí opačného znaménka,
- působením střídavých opačných plastických deformací.

## Σ Shrnutí

Máme 6 základních zákonů plastické deformace. Zákon zachování objemu nám říká, že se objem kovu v průběhu tváření, až na výjimky, nemění. Tento zákon se hojně využívá při základních technologických výpočtech. Další zákon říká, že při tváření je těleso vystaveno nerovnoměrné deformaci (např. z důvodu třené) a díky tomu se ve tvářeném tělese objevují přídavná napětí, která mohou vést ke vzniku trhlin. Zákon o toku kovu cestou nejmenšího odporu je jeden z nejdůležitějších, pokud nám záleží na konečném tvaru výrobky. V praxi tohoto zákona hojně využíváme, tak abychom donutili téct kov tam kam chceme. Zákon podobnosti nám říká, že pokud v laboratorních podmínkách budeme chtít napodobit provozní tváření, nikdy se nám to úplně nepodaří. Další zákon je velmi důležitý zvláště pro tváření za studena. Při plastické deformaci probíhá také pružná deformace, takže když přestane působit vnější síla, rozměry výrobku se zdatelně vrátí zpět. Poslední zákon nám říká, že pokud něco probíhá nerovnoměrně (deformace, ohřev, ...) tak důsledkem jsou vždy vnitřní pnutí.



### Otázky 2.6.

- 2.6.1) Jaký vztah musí platit mezi hlavními skutečnými deformacemi (na základě zákona o zachování objemu)?
- 2.6.2) Jaké znáte výjimky zákona o zachování objemu? Seřadte je podle vlivu na výpočet deformace při tváření?
- 2.6.3) Kdy bude mít za studena válcovaný pás vyšší hustotu, po válcování nebo po rekrystalizačním žíhání?
- 2.6.4) Jakému stavu napjatosti bude vystaven váleček při pýchování?
- 2.6.5) Může při pýchování dojít k porušení soudržnosti materiálu? Proč?
- 2.6.6) Co jsou to přídavná napětí a jak vznikají?
- 2.6.7) Proč dochází při tváření k nerovnoměrné deformaci?
- 2.6.8) Jaká bude trajektorie hmotného bodu při pýchování válečku a hranolu?
- 2.6.9) Uvedte praktické důsledky zákona o toku kovu cestou nejmenšího odporu.

**Otázky 2.6.**

- 2.6.10) Jak v laboratorních podmínkách zajistíte geometrickou podobnost s reálným procesem?
- 2.6.11) Jak v laboratorních podmínkách zajistíte mechanickou podobnost s reálným procesem?
- 2.6.12) Jak v laboratorních podmínkách zajistíte fyzikálně-chemickou podobnost s reálným procesem?
- 2.6.13) Co je to Biotovo kritérium?
- 2.6.14) Co popisuje Hookův zákon?
- 2.6.15) Jaké jsou praktické důsledky zákona o přítomnosti pružných napětí při plastické deformaci při tváření za studena a za tepla?
- 2.3.6) Čím mohou být vyvolána zbytková pnutí? Jak je můžeme eliminovat?

**Úlohy k řešení 2.6.**

- 2.6.1) Poměrné stlačení při válcování plechu činilo 15 % v jednom průchodu. Stanovte součinitel stlačení a součinitel prodloužení, je-li  $b = 1$ .
- 2.6.2) Spojitá válcovna drátu válcuje drát o průměru  $d = 5,6$  mm ze sochoru o straně čtverce  $a = 80$  mm. Stanovte celkový součinitel prodloužení.
- 2.6.3) Sestavte kalibrační tabulku pro válcování bramy o rozměrech 55x100x180 mm na konečnou výšku 20 mm. Poměrná deformace může být maximálně: 15 %. Šíření zanedbejte.
- 2.6.4) Stanovte vztah mezi součinitelem prodloužení a poměrným prodloužením.
- 2.6.5) Drát o výchozím průměru 6 mm se táhne na průměr 3 mm. Stanovte velikost skutečných deformací v podélném a příčném směru.
- 2.6.6) Ingot o hmotnosti  $m = 9800$  kg a středním průřezu 780 x 780 mm byl v 13. průchodech válcován na blok o straně čtverce 220 mm. Stanovte střední součinitel prodloužení a konečnou délku bloku (měrná hmotnost oceli v protvářeném stavu:  $\rho = 7,85 \cdot 10^3$  k.g.m<sup>-3</sup>).
- 2.6.7) Na trati pro válcování tlustých plechů válcujeme bramu o výchozí výšce  $h_0 = 180$  mm s konstantním poměrným úběrem  $\varepsilon_h = 0,14$ . Jaká bude výška plechu po 6. průchodech ( $h_6$ )?
- 2.6.8) Tyč o finálním průřezu 40x5 mm se válcuje 10 úběry s konstantním koeficientem přechování  $\gamma_i = 0,85$ . Určete počáteční průřez sochoru, je-li  $\lambda_c = 4,84$
- 2.6.9) Trubka o výchozím vnějším průměru  $d_{0,out} = 8$  mm a tloušťce stěny 2 mm se táhne na trubku s vnějším průměrem  $d_{1,out} = 3$  mm a vnitřním průměrem  $d_{1,in} = 2$  mm. Stanovte velikost skutečných deformací v podélném a příčném směru.

### 3. METALURGICKÁ TVAŘITELNOST OCELÍ



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

- Vysvětlit postatu strukturotvorných procesů při tváření kovů
- Definovat faktory ovlivňující tvařitelnost
- Vypočítat základní parametry kinetiky rekystalizace
- Aplikovat poznatky z předchozí kapitoly na problematiku řízeného tváření



#### Obsah kapitoly

3.1. Deformační zpevňování (strain hardening).....	83
3.2. Uzdravovací procesy (softening) .....	86
<input type="checkbox"/> Dynamické uzdravování (probíhá během vlastní deformace).....	86
<input type="checkbox"/> Deformační odpor při tváření ocelí za tepla.....	87
<input type="checkbox"/> Statické uzdravovací procesy.....	89
3.3. Faktory působící na tvařitelnost za tepla.....	93
<input type="checkbox"/> Vliv uzdravovacích procesů na tvařitelnost .....	93
<input type="checkbox"/> Vliv vlastností zrna na tvařitelnost .....	93
<input type="checkbox"/> Vliv teploty .....	94
<input type="checkbox"/> Vliv přerušované deformace .....	96
<input type="checkbox"/> Vliv stavu napjatosti .....	96
<input type="checkbox"/> Vliv deformační rychlosti .....	96
<input type="checkbox"/> Vliv strukturního stavu .....	96
<input type="checkbox"/> Vliv chemického složení.....	98
<input type="checkbox"/> Řízené tváření .....	103

#### 3.1. Deformační zpevňování (strain hardening)



**Čas ke studiu:** 1 hodina



#### Pojmy k zapamatování

Zpevnění, jednoduchý skluz, složitý skluz, dislokace, Frank-Readův zdroj dislokací, anihilace, polygonizace, příčný skluz

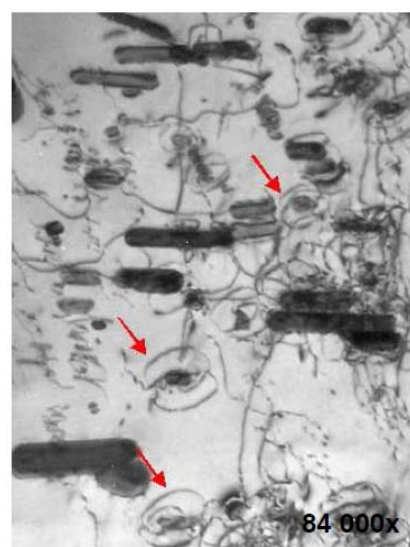
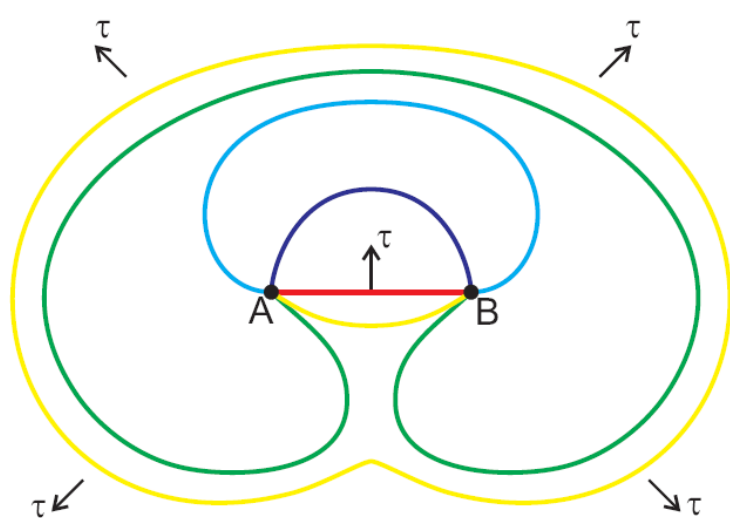


#### VÝKLAD

Během tváření se jednotlivá zrna protahují ve směru hlavní deformace - mění se tedy jejich tvar, nikoli však objem. Vlastním tvářením nedochází k žádoucí změně velikosti zrna (jeho zjemňování)! K tomu musíte v tvářeném materiálu vyvolat jistý strukturotvorný proces. Pro jeho zahájení je třeba překročit jistou míru vnitřní energie, která se v materiálu kumuluje. Tvářením materiál **zpevňuje**. V počáteční fázi plastické deformace nejprve probíhá tzv. **jednoduchý skluz**, kdy jsou v činnosti pouze dislokace v primárních kluzných systémech a nedochází k jejich vzájemné interakci (viz. **obr. 3.1.**).

Počet dislokací v materiálu není konstantní; při deformaci materiálu mohou dislokace a vakance vznikat (např. Frank–Readův zdroj dislokací) nebo zanikat (anihilací).

**Frank–Readův zdroj dislokací** (viz. obr. 3.2.). Při pohybu materiálem se mohou dislokace zachytit na dalších poruchách (precipitáty, trhlinky, ...) – vzniknou tak nepohyblivé (zakotvené) dislokace. V nezátíženém stavu je dislokační čára mezi oběma kotvícími body A a B přímková. Vlivem působícího smykového napětí  $\tau$  má dislokace snahu se pohybovat, ale nemůže se pohnout ze zakotvení. Proto se jen prohýbá a zmenšuje svůj poloměr zakřivení. Může dojít až k uzavření smyčky; ta se může opět dále pohybovat materiálem. Původní dislokace však zůstává zachycena na kotvících bodech. Působí-li i nadále smykové napětí, je zdrojem dalších pohybujících se dislokací (jeden Frank-Readův zdroj může emitovat až několik set dislokačních smyček).

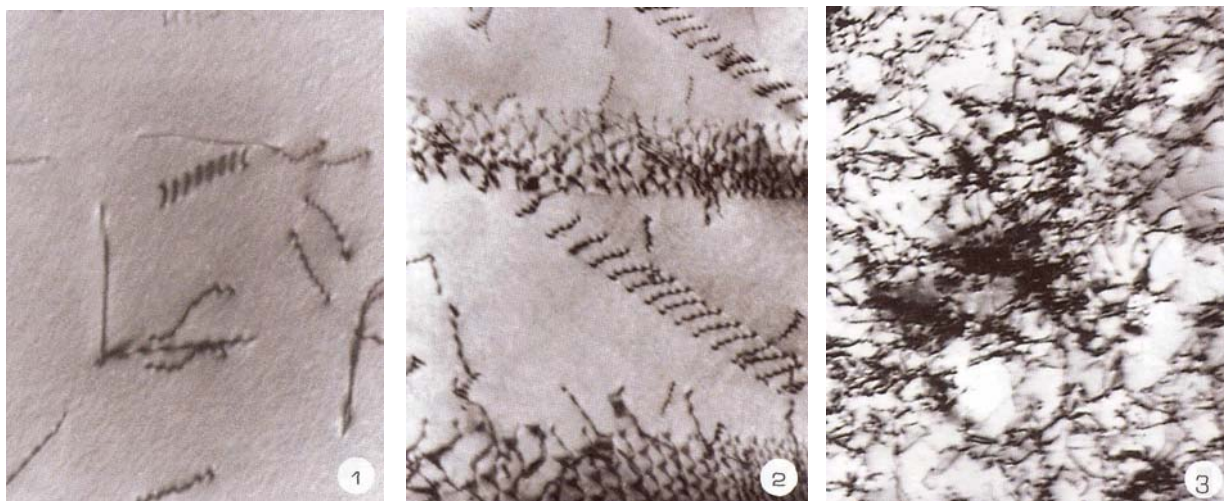


**Obr. 3.3.** vlevo: schéma Frank-Readova zdroje dislokací, vpravo: polygonizovaná dislokační substruktura slitiny AlSi12MgCuNi po tváření, šipky ukazují Frank-Readův zdroj dislokací tvořící se na karbidických částicích



**CD-ROM** 30 Frank-Readův zdroj dislokací

S rostoucím počtem dislokací klesá volná dráha jejich pohybu – dislokace na sebe narážejí a reagují spolu, také dochází ke značnému nakupení dislokací na hranicích zrna (viz. obr. 3.3.). K jejich dalšímu pohybu je třeba vyšší smykové napětí. V činnost se uvádějí další skluzové systémy. Tato fáze se nazývá **složitý skluz** a dochází k ní ke značnému zpevnování vlivem zvýšení hustoty dislokací a jejich vzájemné interakci, vznikající dislokace si vzájemně začnou překážet (viz. obr. 3.4.).



**Obr.3.1.** Dislokace v austenitu před deformací (SEM)

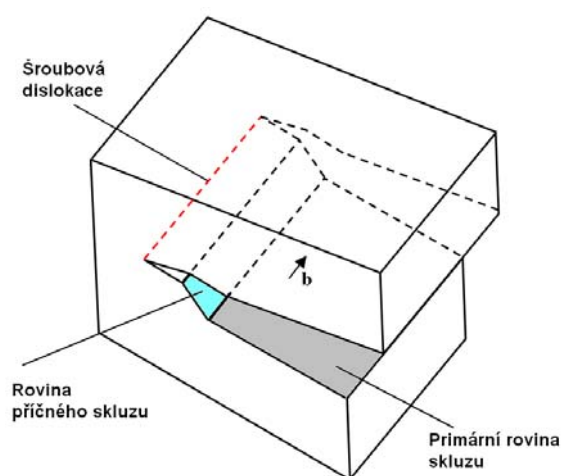
**Obr. 3.3.** Protínání dislokací na hranici zrna (rovina 111) (SEM)

**Obr. 3.4.** Zvýšení hustoty dislokací a protínání dislokací (SEM)

V konečné fázi zpevňování plasticky tvářených kovů se intenzita zpevňování mírně snižuje, neboť vysoká hodnota  $\tau_{kr}$  umožňuje příčný skluz šroubových dislokací (viz. **obr. 3.5.**) a značná hustota dislokací jejich větší anihilaci.

Při tváření ocelí za studena intenzivněji zpevňuje austenitická struktura v porovnání s feritickou, což je dáno menším počtem skluzových systémů, nižší energií vrstevné chyby a také možným vznikem deformací indukovaného martenzitu v austenitické struktuře (tzv. TRIP efekt).

Dislokační zpevňování ocelí tvářených za studena i za tepla vede obecně k růstu deformačního napětí a tvářecích sil a současně k poklesu tvařitelnosti, projevuje se to růstem pevnostních vlastností (pevnost, mez kluzu, tvrdost) a poklesem plastických vlastností (tažnost, kontrakce) tvářených ocelí.



**Obr. 3.5.** Příčný skluz šroubové dislokace

## Σ Shrnutí

Tvářením materiál zpevňuje, na pokračující plastickou deformaci je potřeba stále většího napětí. Je to dáno jednak vyčerpáváním nejlépe natočených skluzových systémů a jednak zvýšením hustoty dislokací (např. pomocí Frank-Readova zdroje), dislokace tak na sebe narážejí a reagují spolu. Je-li již smykové napětí příliš velké, mohou šroubové dislokace obcházet překážky příčným skluzem. Na intenzitu zpevňování má vliv typ mřížky, KPC zpevňuje rychleji než KSC. Dislokační zpevňování vede k růstu pevnostních a k poklesu plastických vlastností materiálu.



### Otázky 3.1.

- 3.1.1) Co se děje ve struktuře při zpevňování?
- 3.1.2) Jak se mění hustota materiálu při plastické deformaci?
- 3.1.3) Co způsobí rostoucí hustota dislokací?
- 3.1.4) Co je to anihilace dislokací?
- 3.1.5) Proč se během deformace spouštějí další skluzové systémy?
- 3.1.6) Proč se v konečné fázi snižuje intenzita zpevňování?
- 3.1.7) Která fáze (austenit, ferit) zpevňuje intenzivněji a proč?
- 3.1.8) Jak se mění mechanické vlastnosti kovů při tváření za studena?

### 3.2. Uzdravovací procesy (softening)



**Čas ke studiu: 1 hodina**



### Pojmy k zapamatování

Uzdravovací procesy, rekrystalizace, zotavení, energie vrstevné chyby, anihilace dislokací, polygonizace, dynamická rekrystalizace, kritická hodnota deformace pro vznik dynamické rekrystalizace, přirozený deformační odpor, Zener-Hollomonův parametr, píkovaná deformace, ustálený stav, statická rekrystalizace, podíl rekrystalizované struktury, čas pro uzdravení 50% struktury, kritická hodnota deformace pro vznik statické rekrystalizace, metadynamická rekrystalizace,



### VÝKLAD

Pokud materiálu dodáme příliš mnoho deformace, začne se dalšímu zpevňování bránit některým ze strukturotvorných procesů, jež nazýváme **uzdravovací** (synonyma: odpevňovací, změkčovací). Nejběžnějším z nich je **rekrystalizace** (RK, RX), při níž na energeticky nejvýhodnějších místech (zejména na hranicích deformovaných zrn) vznikají zárodky zrn nových, která následně rostou na úkor deformovaného okolí. Takto rekrystalizovaná zrna už nemají protažený tvar - jsou rovnoosá a hlavně menší než zrna výchozí. Uzdravovací procesy se dělí takto:

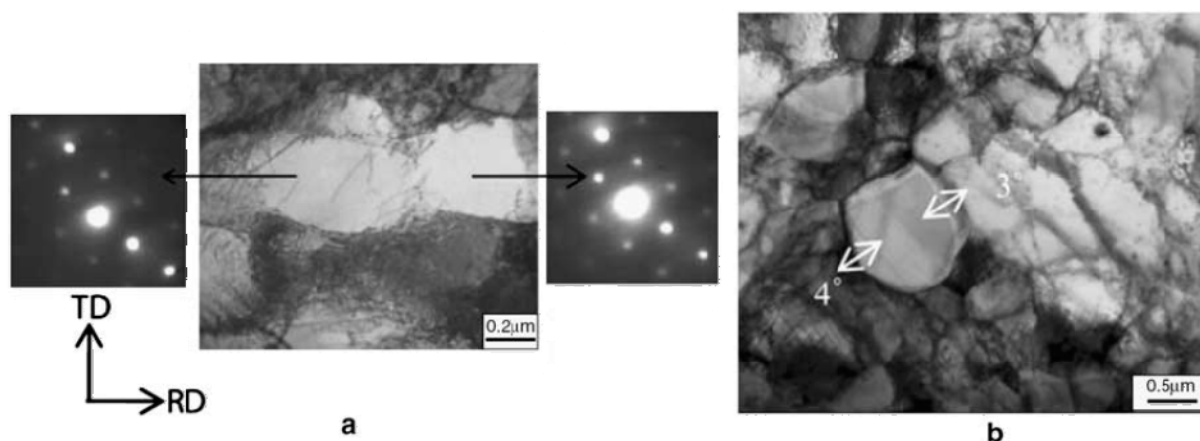
#### □ Dynamické uzdravování (probíhá během vlastní deformace)

##### Dynamické zotavení (dynamic recovery, DRV)

Uplatňuje se při malých velikostech deformace nebo při nízkých tvářecích teplotách. Je převládajícím mechanismem u kovů s KSC mřížkou (**vysoká energie vrstevných chyb**). U

těchto kovů je vysoká pohyblivost dislokací příčným kluzem a šplhem. Během plastické deformace mohou jak hranové tak šroubové dislokace opustit kluzné roviny, setkat se s dislokacemi opačného znaménka a **anihilovat**.

Při dynamickém zotavení nevznikají nová zrna, ke změkčování dochází rovnoměrně ve všech částech matrice za vzniku polygonizované dislokační substruktury (**obr. 3.6**). Hustota dislokací se změní jen částečně, proto ani zpevnění se zcela neodstraní.



**Obr. 3.6.** Vznik polygonizované substruktury (maloúhlové hranice) (SEM a RTG difrakce)



### CD-ROM 31 Simulace zotavení

Dislokace jsou značeny takto: Kladná dislokace – vložená atomová rovina leží nad rovinou dislokace  $\perp$  a záporná dislokace – vložená atomová rovina leží pod rovinou dislokace  $\nabla$ , které odpovídají tomu samému symbolu na **obr. 2.16**. a značí hranu zasunuté poloroviny. Při simulaci vidíte, že dochází k anihilaci dislokací s opačnou orientací  $\nabla \perp$  a ke vzniku polygonizované substruktury, pokud je umožněn šplh dislokací (dislokace se mohou pohybovat nahoru a dolů) je celý proces výrazně rychlejší a konečný počet dislokací je nižší.

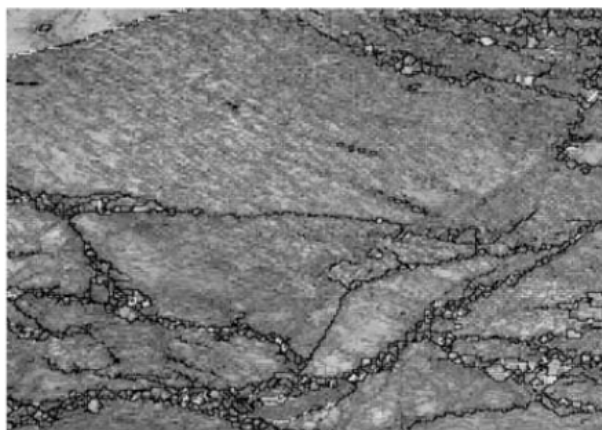
**Zdroj:** HUMPHREYS, F.J., HATHERLY, M. *Recrystallization and Related Annealing Phenomena, Second Edition, ISBN 978-0080441641*

### Dynamická rekrytalizace (dynamic recrystallization, DRX)

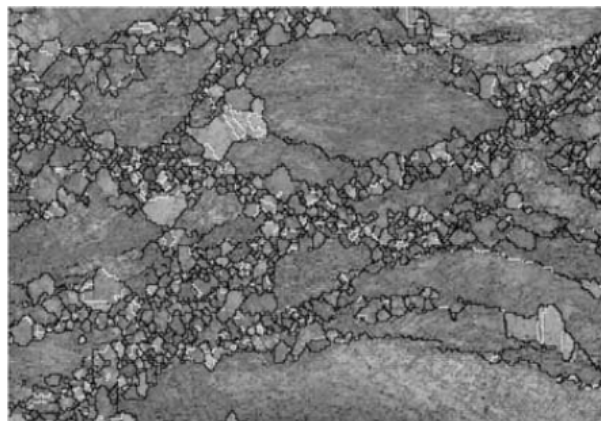
U kovů a nízkou energií vrstevné chyby je dislokační síťová pro dislokace nepropustné. Rozhodujícím mechanismem změkčování je DRX. Základním předpokladem pro vznik DRX je dosažení **kritického stupně deformace**  $e_{c,DRX}$ . Rekrytalizační proces obsahuje nukleaci zárodků (viz. **obr. 3.7.**), a jejich růst (viz. **obr. 3.8.**). Určujícím faktorem pro DRX je rychlost tvorby zárodků. DRX je charakterizována nepřetržitou nukleací a omezeným růstem zrna. Výsledkem je velmi jemné zrna (viz. **obr. 3.9.**).

#### □ Deformační odpor při tváření ocelí za tepla

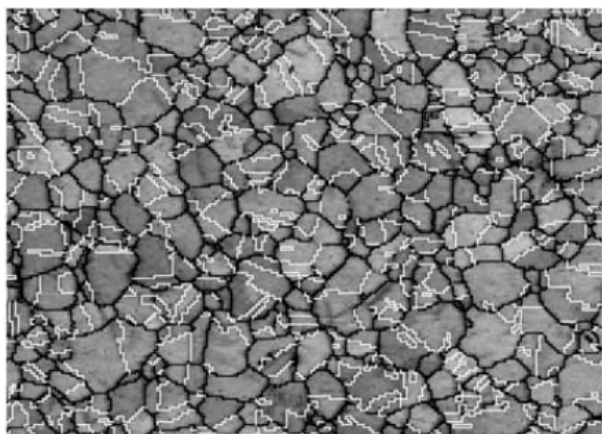
**Kritická deformace nutná pro zahájení DRX** (leží těsně před napětovým **píkem**) je větší než kritická deformace pro zahájení statické rekrytalizace SRX. Při běžných procesech tváření (s posloupností mnoha nevelkých úběrů střídajících se s prodlevami, při nichž materiál relativně snadno odpevňuje) převládá SRX.



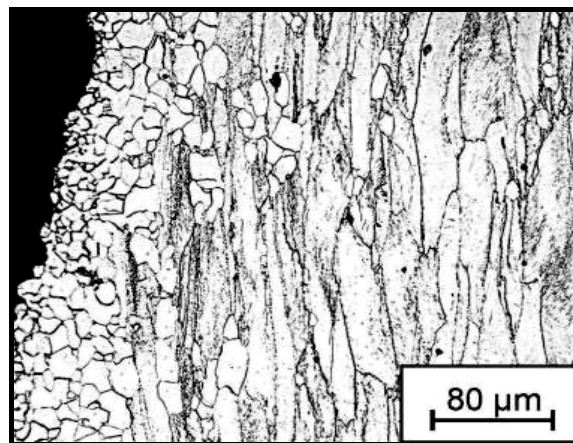
Obr. 3.7. DRX - Nukleace zárodků



Obr. 3.8. DRX – Růst zárodků



Obr. 3.9. Výrazně jemnější struktura po DRX



Obr. 3.10. Nerovnoměrný průběh DRX na povrchu válcovaného pásu

Tvar spojité křivky napětí-deformace (**obr. 3.11.**) závisí mimo jiné na probíhajícím typu dynamických uzdravovacích procesů a na termomechanických podmínkách tváření. Ty jsou souhrnně definovány **Zenerovým-Hollomonovým parametrem**  $Z$  [ $s^{-1}$ ], který odpovídá teplotně kompenzované rychlosti deformace:



### Vzorec k zapamatování

$$Z = \dot{\epsilon} \cdot \exp\left(\frac{Q}{R \cdot T}\right) \quad (3.1)$$

Aktivační energie při tváření za tepla  $Q$  [ $\text{KJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ ] vnáší do veličiny  $Z$  materiálový faktor. Vyšší hodnota parametru  $Z$  posune napěťový pík směrem k vyšším deformacím (oddálení DRX) i k vyšším napětím (roste deformační odpor). Deformace do píku  $e_p$  se vypočte takto:

$$e_p = U \cdot Z^W \quad (3.2)$$

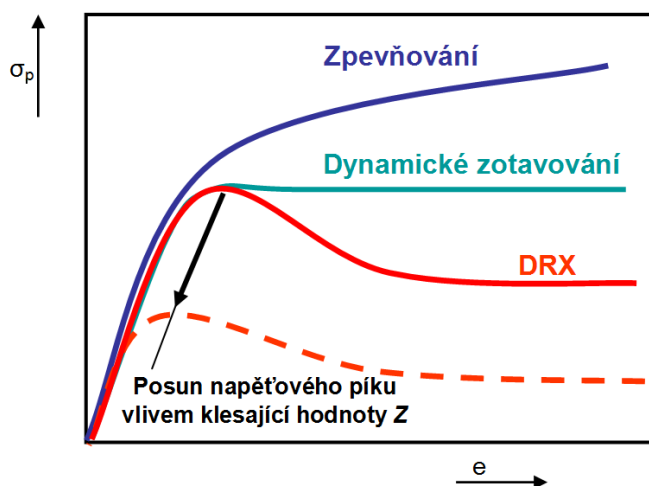
Kde  $U$  a  $W$  jsou materiálové konstanty.



Pro popis deformačního odporu při tváření za tepla v závislosti na termomechanických parametrech lze pak využít následující rovnici (3.3):

$$\sigma_p = A \cdot e^B \cdot \exp\left(-B \cdot \frac{e}{e_p}\right) \cdot \dot{e}^m \cdot \exp(-G \cdot T)$$

Kde  $A$ ,  $B$ ,  $m$  a  $G$  jsou materiálové konstanty.



Obr. 3.11. Křivky napětí-deformace, jen zpevňování, jen zotavení, DRX+zotavení

#### □ Statické uzdravovací procesy

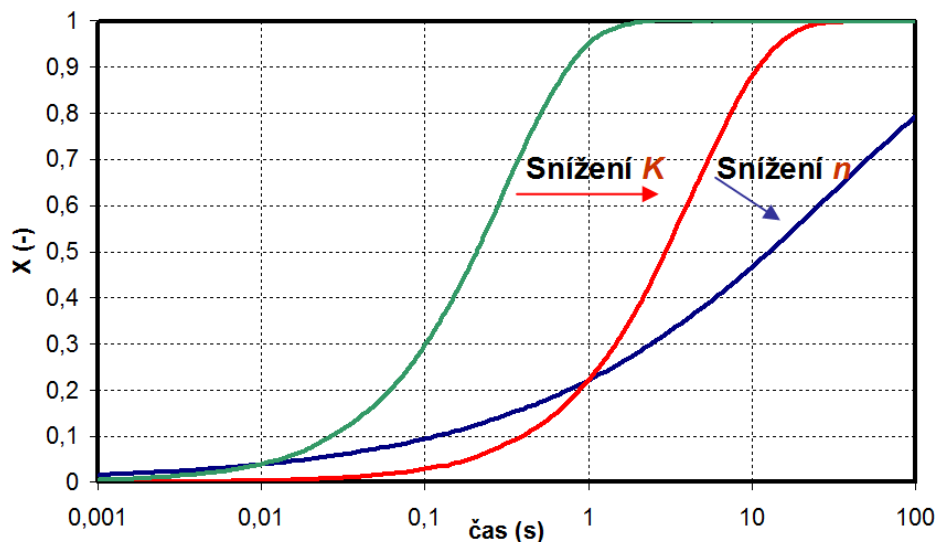
Přechod dynamické rovnováhy do stacionárních podmínek bez působení vnějšího napětí, závisí především na:

- konečném stavu dislokací po tváření,
- charakteru struktury,
- teplotě,
- ochlazovací rychlosti.

**Avramiho rovnice (obr. 3.12.)** popisuje jak se změkčený (zrekrytalizovaný) podíl  $X$  ve struktuře mění při izotermickém žhání s jeho dobou:

$$X = 1 - \exp(-K \cdot t^n) \quad (3.4)$$

Kde  $n$  je kinetický exponent a  $K$  vyjadřuje vliv termomechanických podmínek tváření.



Obr. 3.12. Grafické vyjádření Avramiho rovnice

Jiné vyjádření Avramiho rovnice s využitím času pro uzdravení 50% struktury  $t_{0,5}$ .

$$X = 1 - \exp\left[-0,693 \cdot \left(\frac{t}{t_{0,5}}\right)^n\right] \quad (3.5)$$

$$t_{0,5} = A \cdot \varepsilon^b \cdot d_0^2 \exp\left(\frac{Q}{RT}\right) \quad (3.6)$$

Kde  $d_0$  je počáteční velikost zrna,  $t_{0,5}$  čas pro uzdravení 50 % (poloviny) struktury.

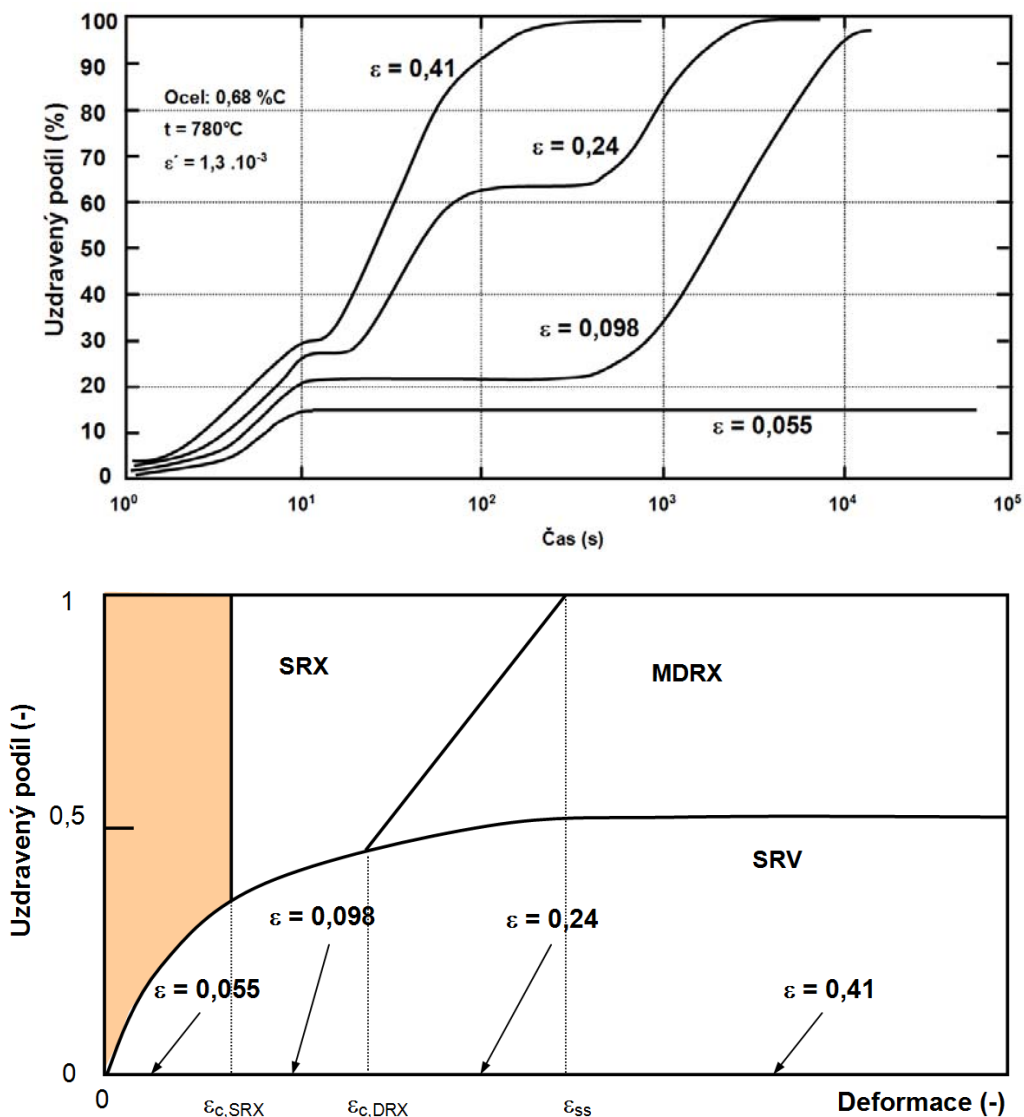
Rovnice (3.5) je mnohem praktičtější. Všimněte si, že čas pro uzdravení poloviny struktury popsany rovnicí (3.6) závisí na materiálu (konstanty  $A$ ,  $Q$ ), s rostoucí teplotou se čas  $t_{0,5}$  exponenciálně zkracuje (díky rychlejší kinetice difuze), s rostoucím zrnem se naopak čas  $t_{0,5}$  prodlužuje (s rostoucí velikostí zrna se zmenšuje celková plocha hranic zrn – potenciálních míst pro tvorbu rekrystalizačních zárodků), vliv deformace je opačný (konstanta  $b$  totiž nabývá záporných hodnot (viz. rov (3.6), která platí pro Mn-C oceli). Čím větší deformaci materiál vystavíme, tím více skluzových pásů budou zrna obsahovat. A skluzové pásy stejně jako hranice zrna, jsou ideálními místy pro tvorbu rekrystalizačních zárodků.

$$t_{0,5} = 1,57 \cdot 10^{-14} \cdot \varepsilon^{-2,9} \cdot d_0^2 \exp\left(\frac{271000}{RT}\right) \quad (3.6)$$

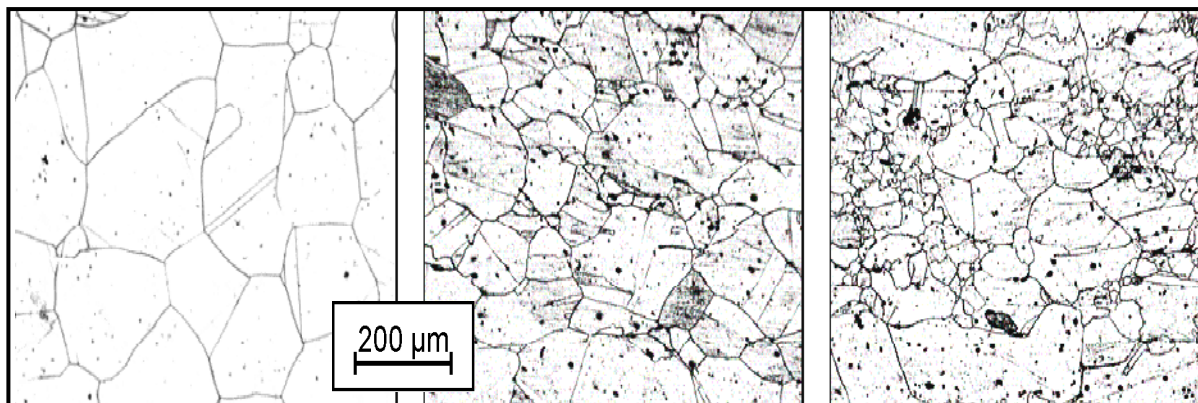
Změkčování může mít až třístupňový charakter (**obr. 3.13. nahoře**) (rozhodující je velikost deformace):

- statické zotavení (SRV),
- metadynamickou rekrystalizaci (MDRX)
- statickou rekrystalizaci (SRX).

Souhrnně lze všechny mechanizmy postdynamických uzdravovacích procesů v závislosti na velikosti deformace vyjádřit jako na **obr. 3.13. dole**. Pokud velikost deformace nepřekročí **kritickou hodnotu pro začátek SRX** ( $\varepsilon_{c,SRX}$ ) bude probíhat jenom statické zotavení, jak již bylo řečeno dříve zotavením nedojde k úplnému uzdravení struktury (šedá oblast v grafu). Pokud velikost předchozí deformace bude mezi  $\varepsilon_{c,SRX}$  a  $\varepsilon_{c,DRX}$  (**kritická deformace pro iniciaci DRX**), proběhne v pauze po deformaci nejprve do určité míry zotavení, následované SRX, bude-li pauza mezi úběry dostatečně dlouhá, může dojít k úplnému uzdravení struktury (pokud bude pauza ještě delší bude docházet k nežádoucímu hrubnutí zrna (viz. **obr. 3.14.**). Pokud je předchozí deformace větší než  $\varepsilon_{c,DRX}$  znamená to, že v materiálu začala probíhat DRX ta se po ukončení deformace dokončí jako MDRX+SRX nebo při velké vložené deformaci (větší než  $\varepsilon_{ss}$ ) jako pouze MDRX.



**Obr. 3.13.** Více stupňový průběh postdynamických uzdravovacích procesů, **nahoře:** každý stupeň na jednotlivých křivkách reprezentuje jeden z procesů (SRV, SRX, MDRX), **dole:** vliv velikosti deformace na míru a mechanismus uzdravení



**Obr. 3.14.** zleva do prava: Počáteční stav po ohřevu, Výdrž 10s, částečné zjemnění zrna SRX, Výdrž 100 s, hrubnutí zrna, heterogenní struktura

**CD-ROM** 32 Hrubnutí zrna**Σ Shrnutí**

Pokud je materiál vystaven příliš velké deformaci, začne se dalšímu zpevnování bránit nějakým uzdravovacím procesem. Těch je celkem 5. Dva dynamické (tzn., že k nim dochází ještě během deformace) – dynamické zotavení a dynamická rekrytalizace a tři postdynamické (tzn., že k nim dochází buď v pauze mezi úběry při tváření za tepla, nebo při rekrytalizačním žhání po tváření za studena) – statické zotavení, statická a metadynamická rekrytalizace. Při zotavení dochází částečnému odpevnění díky anihilaci dislokací a vytvoření polygonizované substruktury. Při rekrytalizaci dochází k úplnému odpevnění díky nukleaci a růstu zrna s původní hustotou dislokací. Po DRX dostaneme jemnější zrno s menším sklonem k hrubnutí než po SRX. Pro popis odpevnění vlivem DRX se hodí rovnice deformačního odporu, které mají odpevnovací člen a díky tomu má grafická závislost napětí-deformace pík. Pro popis odpevnění vlivem SRX se používá Avramiho rovnice. Pomocí této rovnice můžeme zobrazit závislost uzdraveného podílu na čase.

**Otázky 3.2.**

- 3.2.1) Jak se materiál brání dalšímu zpevnování při tváření za tepla?
- 3.2.2) Jaké znáte strukturotvorné procesy?
- 3.2.3) Jak vypadá rekrytalizované zrno? (srovnejte se zrnem deformovaným)
- 3.2.4) Za jakých termomechanických podmínek probíhá zotavení?
- 3.2.5) Jakým mechanismem zotavení způsobuje uzdravení struktury?
- 3.2.6) Co je nutnou podmínkou pro vznik dynamické rekrytalizace?
- 3.2.7) Z čeho se skládá rekrytalizační proces?
- 3.2.8) Proč je zrno po DRX velmi jemné?
- 3.2.9) Vyjádřete Zener-Hollomonův parametr.
- 3.2.10) Jaký je vliv teploty a deformační rychlosti na polohu napět'ového píku na křivce napětí-deformace?
- 3.2.11) Co vyjadřuje Avramiho rovnice?
- 3.2.12) Proč má závislost podílu uzdravené struktury na čase podobu S křivky?
- 3.2.13) Co, v **rov. (3.5.)** reprezentuje číslo -0,693?
- 3.2.14) Jak závisí čas pro uzdravení 50 % struktury na velikosti zrna po deformaci? Vysvětlete.
- 3.2.15) Za jakých okolností bude mít závislost podílu uzdravené struktury na čase 3 stupňový charakter?
- 3.2.16) Lze statickým zotavením zcela uzdravit strukturu?
- 3.2.17) Pokud je pauza mezi úběry při válcování delší než čas potřebný pro uzdravení 95 % struktury, k čemu dojde?



## Úlohy k řešení 3.2.

3.2.1) Máte k dispozici tabulku naměřených hodnot. Vyneste je do grafu a stanovte parametry  $K$  a  $n$  Avramiho rovnice. (Nápověda: zkuste rovnici (3.4) zlogaritmovat).

$t$ (s)	0,1	0,4	1	5	10	20	100
$X$ (-)	0,1	0,15	0,22	0,37	0,46	0,6	0,79

## 3.3. Faktory působící na tvařitelnost za tepla



**Čas ke studiu: 2 hodiny**



### Pojmy k zapamatování

Interkrystalický lom, hrubé zrno, křehkost za modrého, červeného bílého žáru, vměstky, litý stav, precipitace, řízené tváření.



### VÝKLAD

#### □ Vliv uzdravovacích procesů na tvařitelnost

S rostoucí rychlostí uzdravování (hlavně rekrytalizace) se zlepšuje tvařitelnost materiálu. Při tváření mohou vznikat na hranicích zrna mikrotrhliny – jejich intergranulární (po hranici zrna) šíření je energeticky snadné. Rekrytalizace změní hranice zrn a dostane tyto trhliny do nových poloh – jejich šíření v objemu zrna je méně pravděpodobné. Snižuje se tak nebezpečí **křehkého interkrystalického lomu**.

#### □ Vliv vlastností zrna na tvařitelnost

**Hrubé zrno** je náchylnější k interkrystalickému lomu. Ke zhrubnutí zrna dochází vlivem nesprávně vedeného ohřevu (hnací silou je snížení volné energie na hranicích zrna). Obzvláště nebezpečný je vznik **nerovnoměrně velkých zrn** jako důsledek chemické a strukturní nehomogenity, nerovnoměrné deformace (hlavně u tvarově složitých výrobků), nebo nerovnoměrné rekrytalizace.

**Hranice zrn** jsou přirozenou bariérou pro pohyb dislokací. Zde se dislokace hromadí, dochází tak ke zpevnění hranic a k nerovnoměrné deformaci. Pevnost hranic zrn (znečištěných prvky nebo vměstky s nižší teplotou tání) klesá s rostoucí teplotou rychleji než pevnost uvnitř zrna.

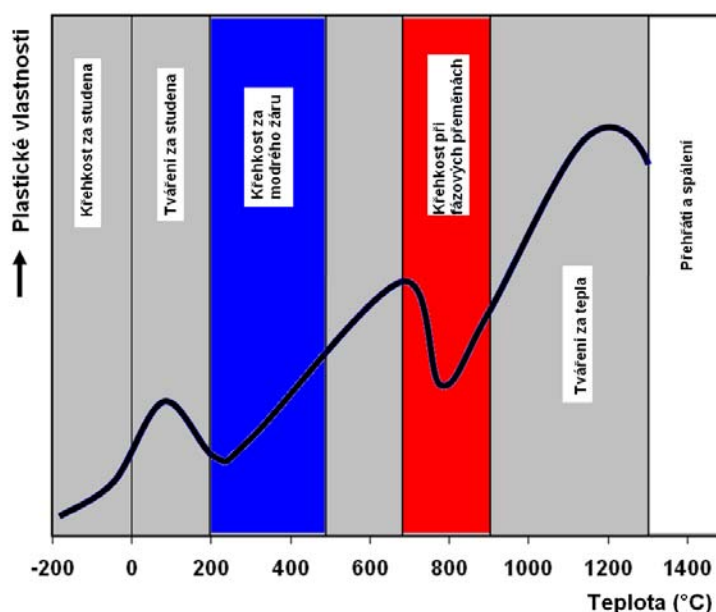
Velikost zrna při ohřevu lze vypočítat podle této rovnice:

$$d^2 = A \cdot t \cdot \exp\left(\frac{-Q_{gg}}{R \cdot T}\right) \quad (3.7)$$

Kde  $d$  je velikost zrna [mm],  $Q_{gg}$  je aktivační energie růstu zrna (grain growth) [KJ.mol<sup>-1</sup>],  $t$  je doba ohřevu [mm].

### □ Vliv teploty

Za velmi nízkých teplot se ocel stává křehkou. Teplota přechodu z houževnatého do křehkého stavu se nazývá tranzitní a stanovuje se jako inflexní bod na křivce závislosti vrubové houževnatosti na teplotě. Význam to má pro ocelové výrobky pracující za snížených teplot (např. kolejnice pro stavbu kolejí na Sibiři musí mít tranzitní teplotu = -50°C). Při pokojové teplotě však již ocel vykazuje lokální maximum tvařitelnosti (oblast tváření za studena). Při dalším zvýšení teploty (např. ohřevem materiálu deformačním nebo třecím teplem) může dojít ke zhoršení tvařitelnosti vlivem deformačního stárnutí (křehkost za modrého žáru). To je způsobeno převážně precipitací dusíku, kdy vzniklé nitridy zablokují pohyb dislokací. Se stoupající teplotou roste pohyblivost atomů (difúze) a dislokací, zrychluje se uzdravování. Po překročení optimálních teplot nastává zrychlený růst zrna až natavování jejich hranic při současném prudkém poklesu plasticity (lámavost za bílého žáru) (**přehřátí, spálení**). Fázové transformace (lámavost za červeného žáru), oblasti precipitace, zkřehávání (lámavost za modrého žáru) – komplikují vliv teploty na tvařitelnost (viz. obr. 3.15).



Obr. 3.15. Změna plastických vlastností oceli v závislosti na teplotě



### Odměna a odpočinek

Cítím, že množství vzorců a suchých faktů dosáhlo únosné míry. Podívejme se na chvíli na problematiku křehkosti kovů za studena očima filmových tvůrců. Tento fenomén se objevil ve více filmech, ale jedna scéna se zapsala do srdcí diváků víc než ostatní. Hovořím zde o filmu Terminátor 2: Soudný den a scéně, kdy zlý terminátor T1000, ukradne cisternu s kapalným dusíkem, aby s ní vzápětí havaroval s očekávanými důsledky. Připomeňme, že T1000 (R. Patrick) byl tvořen tekutými krystaly blíže nespecifikované polymetalické slitiny a po kontaktu s tekutým dusíkem, ho reakce vlastního těla poněkud zaskočila.



Toho, že jeho sok se dočasně nachází ve velmi křehkém stavu, využil hodný terminátor (A. Schwarzenegger) a pistolí ho rozstřelil na tisíce kousků.



Následuje scéna, která ve své době byla vrcholem trikařského umění, kdy T1000 roztává a ztéká se zpátky do původní podoby.



### □ Vliv přerušované deformace

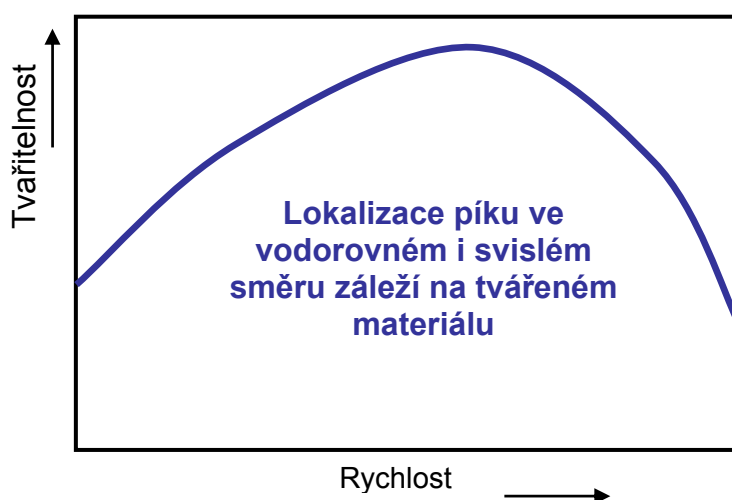
Většina zkoušek tvařitelnosti (tahová, tlaková a zkouška krutová) se realizuje spojitou deformací do lomu. V praxi je ale běžnější opakování menších úběrů s prodlevami, při nichž se materiál postdynamicky uzdravuje. Pro tvařitelnost je nejlepší, dojde-li mezi dvěma po sobě následujícími úběry k úplnému uzdravení dříve deformované struktury (důležitým faktorem je čas). Kinetiku uzdravování lze u daného materiálu regulovat podmínkami tváření – hlavně teplotou a velikostí dílčích úběrů.

### □ Vliv stavu napjatosti

Tahová napětí zvyšují pravděpodobnost křehkého interkrystalického lomu, zhoršují tedy technologickou tvařitelnost.

### □ Vliv deformační rychlosti

S rostoucí deformační rychlostí většinou tvařitelnost stoupá do určitého maxima a pak zase klesá (viz. **obr. 3.16**).



*Obr. 3.16. Vliv deformační rychlosti na tvařitelnost*

### □ Vliv strukturního stavu

Nejvyšší tvařitelnost mají **čisté kovy** (čistota hranic zrn a kluzných rovin, malý počet překážek pro pohyb dislokací, rychlé uzdravování). Kovy s KPC mřížkou mívají v závislosti na teplotě monotónní průběh tvařitelnosti, kovy typu KSC mají za nižších teplot sklon ke křehkosti. Deformační chování slitin s monofázovou strukturou (neomezená rozpustnost přísadového prvku v matici) je ovlivněno vlastnostmi a množstvím přísadového prvku.

Výskytem **dvoufázové struktury** (např. ferit + austenit) se tvařitelnost výrazně snižuje. Důvodem jsou rozdílné mechanické vlastnosti obou složek (koncentrace napětí na rozhraní různě se deformujících složek), snížená kinetika rekrytalizace (menší povrchová energie na



mezifázovém rozhraní, menší počet kritických zárodků), rozdílné rozpustnosti dalších prvků (hlavně vznik precipitátů).

Ve slitinách s **heterogenními strukturami** se vyskytují i chemické sloučeniny (např. vměstky), eutektika, nerozpuštěné prvky (hlavně Pb, Cu, Sn aj). To vše blokuje kluzový mechanismus plastické deformace, snižuje kinetiku uzdravování a většinou i zeslabuje kohezní pevnost hranic zrn, čímž se drasticky zhoršuje tvařitelnost. Nejnebezpečnější je snadno natavitelné síťoví po hranicích zrn.

### Tvařitelnost vměstků

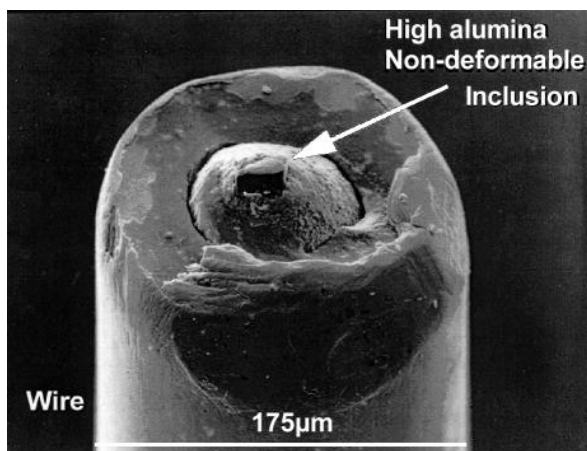
Hlavně sulfidy, oxidy a jejich směsi. Důvody nepříznivého vlivu vměstků:

- malá soudržnost s matricí,
- odlišné mechanické vlastnosti,
- iniciují vznik trhlin (viz. **obr. 3.17.**),
- lehkotající vměstky tvoří síťoví po hranici zrna a způsobují křehkost za tepla.

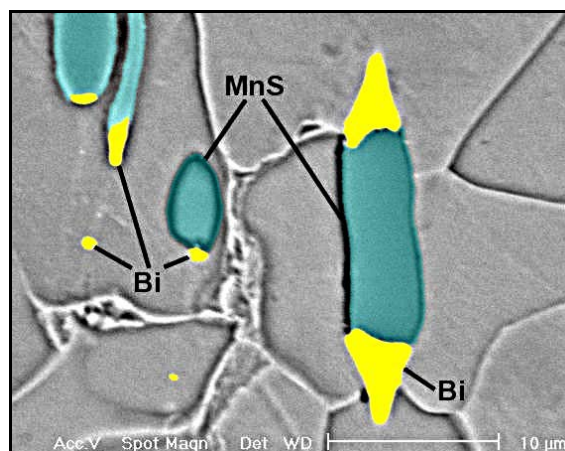
**Vměstky vždy zhoršují tvařitelnost**, při řádkovitém uspořádání zvyšují anisotropii mechanických vlastností. Jejich vliv závisí na chemickém složení, množství, morfologii a způsobu výskytu.

Nejméně škodlivé jsou globulitické vměstky s vysokou teplotou tání, rovnoměrně rozptýlené v matrici. Nejškodlivější jsou vměstky nízkotající, vyloučené ve formě síťoví po hranicích zrn (křehký interkrystalický lom).

Index tvařitelnosti vměstku vyjadřuje poměr deformace vměstku a matrice (hodnota 1 - optimum). V běžných ocelích je většina síry vázána na vměstek MnS s nízkým podílem FeS, FeO a MnO. Index tvařitelnosti MnS roste s klesající teplotou nad hodnotu 1 (nižší teplota dovalcování způsobuje protahování částic a anisotropii vlastností (viz. **obr. 3.18.**). Oxidické vměstky (např. silikáty) bývají většinou tvrdé, tvárné jsou až za vyšších teplot.



**Obr. 3.17.** Nedeformovatelný Al vměstek v taženém drátě jako příčina křehkého porušení



**Obr. 3.18.** Bi brání v protahování vměstku MnS → lepší isotropie

### Tvařitelnost oceli v litém stavu

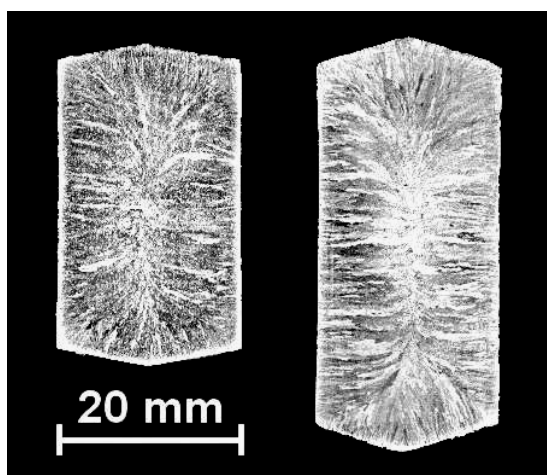
V zásadě nižší oproti stavu již dříve přetvářenému, záleží však na parametrech lití, tuhnutí (lití do kokil vs. plynulé lití, rozměry odlitku) a získané struktuře (velikost zrna, segregace, licí vady aj.).

Hlavní příčiny nevýhodnosti litého stavu:

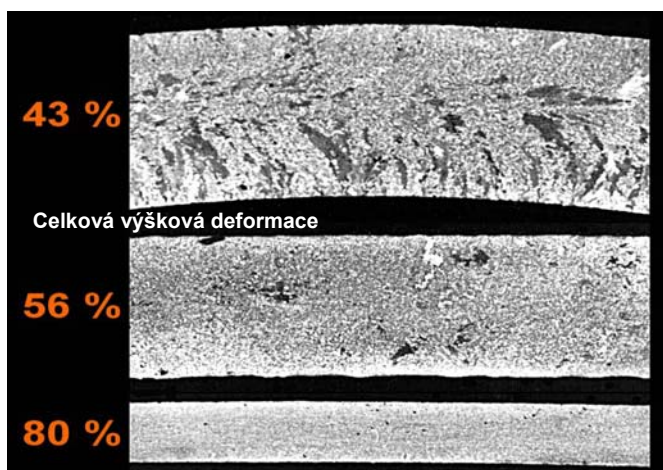
- hrubozrnná a nepříznivě orientovaná makrostruktura (pásmo kolumnárních krystalů,
- chemická a strukturní nehomogenita (vodorovná vzdálenost mezi křivkou likvidu a solidu, legování, lokální porušení strukturní stability),
- zeslabení hranic zrn,
- vnitřní pnutí (smršťování, fázové změny),
- licí vady (hloubka uložení podpovrchových bublin u neuklidněných ocelí).

**Kontislitky** (plynule lité polotovary, PLP) mívají menší průřez, jsou rychleji ochlazovány - proto snížená chemická i strukturní nehomogenita a lepší tvařitelnost (je ovšem třeba tvářením svařit středové řediny).

Nahrazení nevyhovující licí struktury strukturou tvářenou s výrazně lepšími pevnostními i plastickými vlastnostmi je prvořadým cílem tváření materiálu. Na **obr. 3.19.** vidíte makrostrukturu v laboratorních podmínkách lité branky (lze krásně pozorovat rovnoosé sloupcovité krystaly). Následující **obr. 3.20.** potom zachycuje proměnu licí struktury na přitvářenou v závislosti na velikosti deformace při válcování za tepla.



**Obr. 3.19.** Makrostruktura lité branky



**Obr. 3.20.** Přeměna lité makrostruktury na strukturu protvářenou v závislosti na velikosti deformace.

#### □ Vliv chemického složení

Legující a příměsové prvky je třeba posuzovat z těchto hledisek:

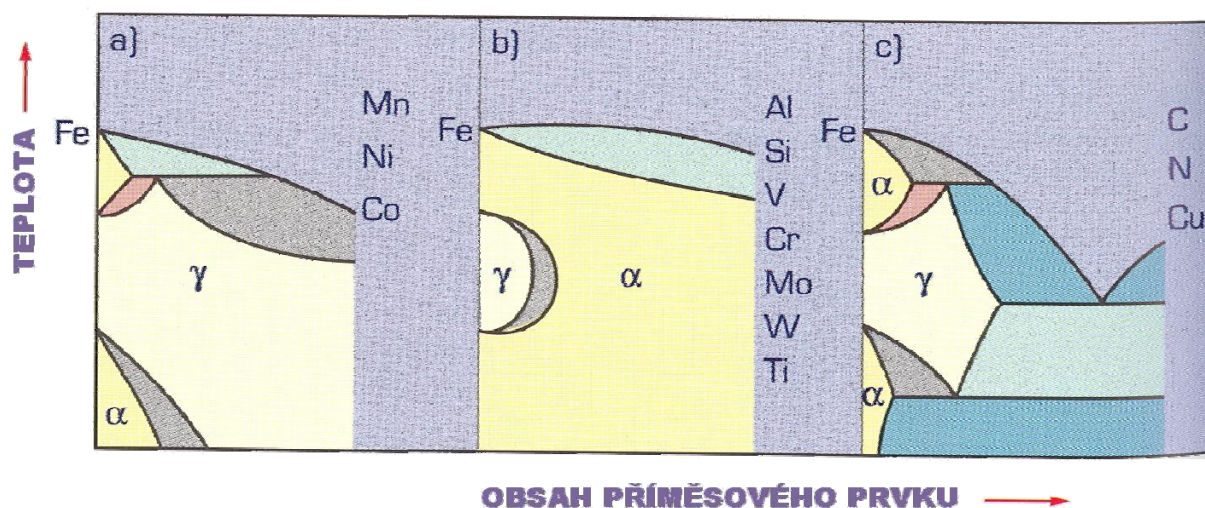
- Ovlivňování teplot fázových přeměn a strukturního stavu.

- Rozpustnost a způsob výskytu nerozpustných směsí.
- Afinita k C, N, O, S aj., vlastnosti sloučenin.
- Ovlivnění kinetiky tepelně aktivovaných dějů (rekrytalizace).
- Rozdílnost ve velikosti atomů (zpevňování tuhého roztoku).
- Vliv na technologické parametry ohřevu (tepelná vodivost, roztažnost).

Podle vlivu na velikost oblastí austenitu v diagramu Fe-Fe<sub>3</sub>C (viz. **obr. 3.21.** a **obr. 3.22**) rozdělujeme prvky takto:

- Austenitotvorné prvky\*: C, Mn, Ni, Co, N
- Feritotvorné prvky\*: Al, Si, V, Cr, Mo, W, Ti
- Karbidotvorné prvky: Cr, W, Mo, V, Ti, Nb, B

*\*Pozn.: Jen pokud jsou rozpuštěny v tuhém roztoku!*

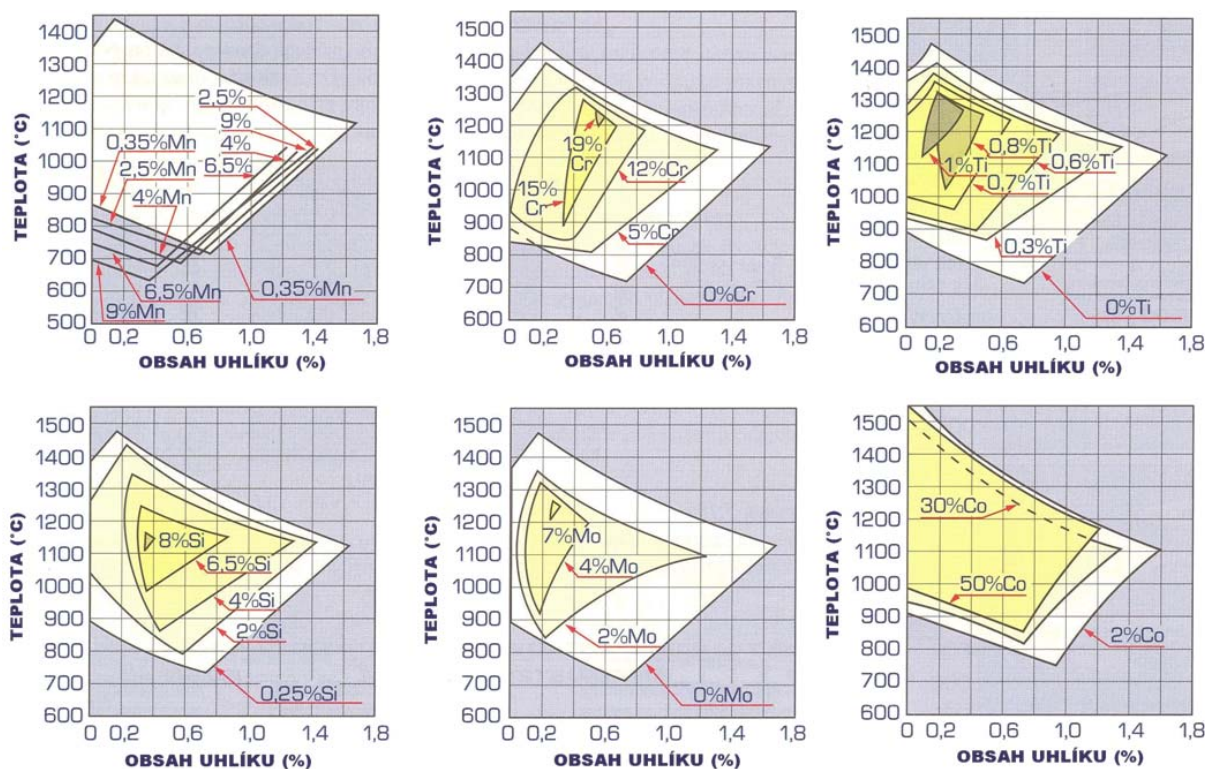


**Obr. 3.21.** Vliv příměsových prvků na diagram Fe-Fe<sub>3</sub>C

### Vliv uhlíku

- v Fe se rozpouští interstiticky,
- tvoří karbidy (cementit),
- ovlivňuje teploty solidu,
- ovlivňuje strukturní stav (např. vliv perlitu).

Rozmezí uhlíku v běžných ocelích, které se tváří, je 0,04 až 1,2 hm. %. Pro zvláštní účely, např. transformátorové plechy, se používají i nižší obsahy uhlíku. Tyto oceli pak vykazují zhoršenou tvařitelnost za teplot 800 až 1000 °C. Uhlík snižuje interval tvářecích teplot tím, že snižuje teplotu solidu. Nejvyšší tvařitelností se vyznačují oceli s obsahem uhlíku 0,2 až 0,25 hm. %. Při vyšším obsahu se tavitelnost zhoršuje vlivem stoupající náchylnosti přehřátí (oceli mají vyšší sklon k růstu zrna), při nižším obsahu hrozí nebezpečí vyššího obsahu kyslíku v oceli, což se projeví zvýšenou křehkostí za tepla.



Obr. 3.22. Vliv vybraných prvků na oblast austenitu

### Vliv manganu

Pomáhá odstraňovat křehkost za tepla (dezoxidace, vazba síry na MnS s vysokou teplotou tání), snižuje však tepelnou vodivost, zvyšuje šíření a sklon k přehřátí oceli.

$$k = \frac{Mn + 0,048}{S + 0,13 \cdot O_2} \quad \text{Při hodnotě ukazatele } k > 6,6 \text{ nevzniká lámavost za tepla} \quad (3.8)$$

### Vliv křemíku

- feritotvorný, podporuje růst zrna, snižuje tvařitelnost (nejvíc při obsahu kolem 2,5 hm. %),
- používá se jako běžné dezoxidovadlo.

### Vliv chromu

Cr je feritotvorný, zvyšuje korozivzdornost (je-li v tuhém roztoku), zvyšuje odolnost proti tečení (karbidy), zpevňuje (vyšší deformační odpor), snižuje rekrytalizační schopnost oceli. Nebezpečí vzniku nízkotajícího  $Cr_2O_3$ .

### Vliv niklu

Ni má neomezenou rozpustnost v železe, podobné vlastnosti jako Fe, proto v tuhém roztoku neovlivňuje tvařitelnost. V austenitických antikoročních ocelích eliminuje

feritotvornost Cr. Nebezpečí vzniku nízkotajícího NiS. Napomáhá pohlcování plynů (vodíková křehkost).

### **Vliv molybdenu**

feritotvorný, rozšiřováním oblasti dvoufázových struktur snižuje plasticitu, zužuje interval tvářecích teplot, zvyšuje deformační odpory, brzdí DRX. Eutektika obsahující MoS<sub>2</sub> vytvářejí nízkoteplotní síťoví po hranicích zrn. Jeho karbidy se často vyskytují v nástrojových a žárovečných ocelích.

### **Vliv fosforu**

feritotvorný, v tuhém roztoku neovlivňuje tvařitelnost, nebezpečný lokálním vznikem feritu v základní austenitické  $\gamma$ -strukturu, za studena zpevňuje v tuhém roztoku → zkřehávání

### **Vliv síry**

lámavost za tepla vlivem vazby na nízkotající sulfidy, oxisulfidy a eutektika.

*Lámavost za bílého žáru (1 200°C):* natavování FeS a sírou obohacených hranic zrn

*Lámavost za červeného žáru (900-1 000°C):* vylučování sulfidů po hranicích zrn => oslabení soudržnosti hranic zrn (zesilující účinek kyslíku).

Možnost zmírnění lámavosti za tepla:

- dostatečně vysoký poměr Mn/S,
- co nejdokonalejší dezoxidace,
- vyvázání síry na sulfidy z co největší teplotou tání.

### **Vliv plynů**

**Vodík** - za tepla nepodstatný, po tváření nebezpečí vloček (trhliny v důsledku neoddifundovaného plynu při ochlazování)

**Kyslík** - ve formě oxidů, samotné oxidy mají vysokou teplotu tání, složitějších sloučenin a eutektika mají nižší teplotu tání, způsobuje lámavost za červeného žáru

**Dusík** - austenitotvorný, tvoří nitridy (V, Al, Ti, Nb), které zjemňují zrno, ale i precipitačně zpevňují, precipitace brzdí rekrytalizaci což vede ke snížení tvařitelnosti.

### **Mikrolegující prvky**

- karbidotvorné a nitridotvorné Nb, Ti a V (obsah v setinách až desetinách hm.%),
- stabilizace korozivzdorných ocelí (brání vazbě intersticiálů na Cr),
- zpevňování a řízení rekrytalizačních procesů vysokopevných nízkolegovaných ocelí (HSLA).

Informativní přehled o vlivu hlavních nečistot v oceli ukazuje **tabulka 3.1**. I když objemem výroby jsou nelegované uhlíkové oceli nejdůležitějším konstrukčním materiálem, jsou neméně významné i oceli legované dalšími přísadovými prvky, jejichž množství je od několika setin procenta do desítek procent. Přísada takových prvků umožňuje dosáhnout často zcela specifických vlastností fyzikálních, mechanických nebo chemické odolnosti, které nemohou být dosaženy uhlíkovými oceli (**tabulka 3.2**)

**Tabulka 3.1.** Vliv škodlivých doprovodných prvků na vlastnosti oceli

C. (hm. %)	Fosfor	Síra	Dusík	Kyslík	Vodík
0,01			Ocel ze SM pecí Ocel z el. pecí		Zhoršení mechanických vlastností již při obsahu 1,5 až 2 ppm
0,02	Od tohoto obsahu se zvyšuje citlivost k popouštění křehkosti a praskání svarů		Uklidněná ocel Thomaská ocel		
0,03	Hranice pro svař. dráty			Kyslík ve zdravé oceli	
0,04	Horní hranice pro ušlechtilé ocelí		Horní hranice v dobrých obloukových svarech		
0,05	Horní hranice kotlových ocelí				
0,06	Horní hranice u běžných uhlíkových ocelí				
0,08	Křehkost za studena	Křehkost za červeného žáru			
0,10	Přísada ke zvýšení obrobitelnosti				
0,20					
0,30		Přísada ke zvýšení obrobitelnosti	Přísada ke zjemnění zrna Cr-ocelí a pro stabilizaci austenitu		

**Tabulka 3.2.** Přehled hlavních slitinových prvků a jejich vliv na vlastnosti oceli

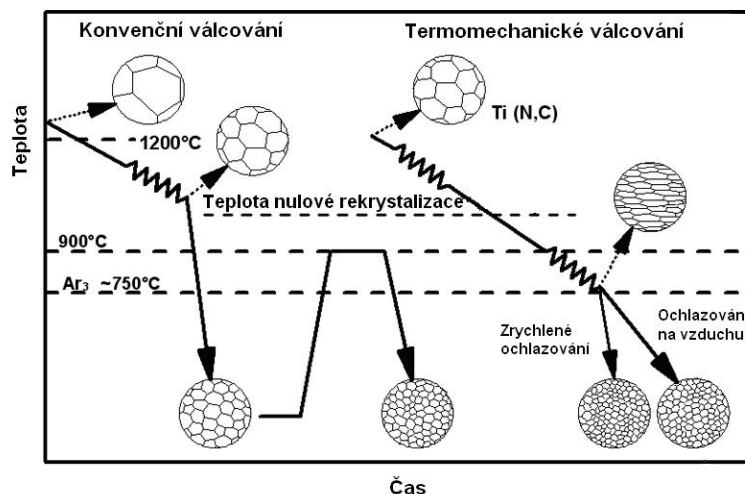
C. (hm. %)	Chrom	Nikl	Mangan
0,1			
0,2		0,2 hm. %	odstranění křehkosti za červeného žáru
0,3	0,3 hm. %		
0,4	nízko legované konstr. oceli (obvykle + Mo, V) zvýšení prokalitelnosti, zvýšení mechanických vlastností,	nízko legované konstr. oceli (obvykle + Mo, V) zvýšení houževnatosti, zlepšení prokalitelnosti	odsíření, částečná dezoxidace
0,6	zlepšení žárovevnosti, zvýšení odolnosti proti opotřebení.		0,9 hm. %
1	Počátek odolnosti proti H odolné proti H (Cr + Mo, V, W, Ti)		nízko legované konstr. oceli (obvykle + Si, Cr) zvýšení prokalitelnosti, zvýšení mechanických vlastností
2	Počátek zlepšování žárovzdornosti	Oceli Mn-Ni a ocelí dvoufázové	austenitické korozivzdorné Cr Mn Ni N
4	Počátek korozivzdornosti (pasivace)	Chromniklové, korozivzdorné, žárovzdorné, žáropevné	austenitické Mn, MnN oceli odolné proti opotřebení
8	Korozivzdorné Cr		austenitické oceli MnCr MnCrN korozivzdorné, žárovevné
12	Žárovzdorné Cr		
16			
20			
40		austenitické CrNi oceli odporové	

Tabulka 3.2. Přehled hlavních slitinových prvků a jejich vliv na vlastnosti oceli (pokračování)

C. (hm. %)	Křemík	Molybden	Wolfram	Vanad
0,1		zvýšení žárovevnosti nízkoleg. ocelí (obvykle +Cr, V)		zjemnění zrna
0,2	zvýšení žárovzdornosti a odolnosti austenitických Cr-Ni ocelí ve vysoce oxidačním prostředí	zvýšení popuštěcích teplot, odstranění popuštěcí křehkosti konstr. ocelí		zvýšení žárovevnosti, zvýšení tvrdosti, zvýšení popuštěcí stálosti
0,4			zvýšení žárovevnosti nízkoleg. ocelí (obvykle +Cr, V, Mo)	
0,6	nízkolegované konstr. oceli, pružinové (obvykle + Mn, Cr)			
1	zvýšení pevnosti, meze pružnosti, prokalitelnosti	zvýšení odolnosti korozivzdorných ocelí Cr-Ni v aktivním i pasivním stavu	zvýšení tvrdosti a stálosti ostří za tepla nástrojových ocelí (obvykle + Cr, V)	rychlořezné oceli (obvykle + W, Cr)
2	zlepšení mag. vlastností elektroplechů	zvýšení odolnosti austenitických ocelí proti bodové korozi	rychlořezné oceli (obvykle + Cr, V)	
4				
8				
12				
16				

### □ Řízené tváření

- ovládání celkových výrobních podmínek s cílem dosažení požadované struktury a tím i kombinace mechanických vlastností,
- dosažení malé velikosti konečného zrna – kladný vliv na pevnost i plastičnost,
- mikrolegury: brání hrubnutí zrna při ohřevu,
- brzdí rekrytalizaci při doválcování,
- precipitační zpevnění.



Obr. 3.23. Princip řízeného tváření

**Obr. 3.23.** vysvětluje princip řízeného tváření. Vidíte srovnání vývoje mikrostruktury při konvenčním válcování a při termomechanickém (řízeném) válcování. Dosažení jemnozrné struktury je zajištěno doválcováním pod teplotou nulové rekrytalizace, získáme tak deformované austenitické zrna, které se následně při fázové transformaci přemění na jemnozrný ferit.

**CD-ROM** 33 Řízené tvářeni**Σ** **Shrnutí**

Tvařitelnost je ovlivňována mnoha faktory. Příznivě působí rekrystalizace (pomáhá přesunout trhlínky z místa na hranici zrna dovnitř zrna), teplota (z teplotou tvařitelnost roste až k teplotě solidu, při určitých teplotách se však může tvařitelnost prudce zhoršit), jemné zrno (potenciální trhlínka potřebuje více energie na své šíření k povrchu materiálu), tlakový stav napjatosti, optimální deformační rychlost. Přítomnost vměstků (zvláště těch nedeformovatelných) podstatně zhoršuje tvařitelnost, nízkou tvařitelnost vykazuje také ocel v litém stavu. Velmi komplikovaný je vliv chemického složení. Jednotlivé prvky se posuzují z různých hledisek: vliv na fázové přeměny a strukturní stav, rozpustnost v Fe a vytváření nerozpustných směsí, afinita k C, N, O, S a vlastnosti případných sloučenin, zpevňování tuhého roztoku vliv na teploty ohřevu. Rozlišujeme prvky feritotvorné, austenitotvorné a karbidotvorné.

**Otázky 3.3.**

- 3.3.1) Jaký vliv má rekrystalizace na tvařitelnost?
- 3.3.2) Proč je hrubé zrno náchylnější na interkrystalický lom?
- 3.3.3) Proč s rostoucí teplotou klesá pevnost hranic zrn rychleji než pevnost zrn?
- 3.3.4) Jak závisí velikost zrna na teplotě?
- 3.3.5) Jak teplota ovlivňuje tvařitelnost? Co způsobuje křehkost za modrého, červeného a bílého žáru?
- 3.3.6) Jak lze při tvářeni ovlivňovat kinetiku uzdravování?
- 3.3.7) Jak ovlivňuje stav napjatosti tvařitelnost?
- 3.3.8) Proč dvoufázová struktura zhoršuje tvařitelnost? Uveďte příklady dvoufázových struktur při tvářeni oceli za tepla i za studena?
- 3.3.9) Co jsou a proč mají vměstky nepříznivý vliv na tvařitelnost?
- 3.3.10) Co je to index tvařitelnosti vměstku?
- 3.3.11) Proč má ocel v litém stavu horší tvařitelnost?
- 3.3.12) Z jakých hledisek se posuzují příměsové prvky?
- 3.3.13) V jaké podobě mohou být legury přítomny v materiálu?
- 3.3.14) Chrom je feritotvorný prvek, co to znamená?
- 3.3.15) Jak ovlivňuje uhlík tvařitelnost ocelí?
- 3.3.16) Jak ovlivňuje síra tvařitelnost ocelí? Jak lze její vliv omezit?
- 3.3.17) Co se rozumí pojmem řízené tvářeni?
- 3.3.18) Jak můžeme dosáhnout jemnozrnné struktury po válcování? Jakou roli zde hrají mikrolegury?
- 3.3.19) Proč je řízené tvářeni výhodnější než normalizační žhání?



## 4. OHŘEV KOVŮ



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

- Definovat tvářecí teploty.
- Navrhnou horní a dolní tvářecí teploty ocelí.
- Objasnit vliv tepelných vlastností ocelí na technologii ohřevu.
- Vysvětlí procesy, které vedou k nežádoucím průvodním jevům ohřevu.
- Poskytnout přehled o způsobech ohřevu.
- Diskutovat o výhodách a nevýhodách běžně používaných typů pecí.



### Obsah kapitoly

4.1. Úvod.....	105
4.2. Tvářecí teploty .....	106
<input type="checkbox"/> Horní tvářecí teplota HTT.....	106
<input type="checkbox"/> Dolní tvářecí teplota DTT.....	106
4.3. Fyzikální základy ohřevu.....	109
<input type="checkbox"/> Součinitel tepelné vodivosti.....	110
<input type="checkbox"/> Měrná tepelná kapacita .....	111
<input type="checkbox"/> Hustota.....	111
<input type="checkbox"/> Součinitel teplotní vodivosti .....	112
<input type="checkbox"/> Teplotní roztažnost .....	112
<input type="checkbox"/> Tepelná pnutí .....	113
<input type="checkbox"/> Rychlost ohřevu.....	114
<input type="checkbox"/> Doba ohřevu.....	114
<input type="checkbox"/> Způsoby ohřevu .....	115
4.4. Průvodní jevy ohřevu.....	117
<input type="checkbox"/> Opal .....	118
<input type="checkbox"/> Oduhličení .....	118
<input type="checkbox"/> Přehřátí a spálení.....	119
4.5. Způsoby ohřevu .....	121
<input type="checkbox"/> Plynový ohřev .....	121
<input type="checkbox"/> Ohřev elektrickým proudem .....	121
<input type="checkbox"/> Rychlostní ohřev .....	124
<input type="checkbox"/> Ohřev v ochranném prostředí.....	124
4.6. Ohřívací pece .....	125
<input type="checkbox"/> Ohřívací pece ve válcovnách .....	125
<input type="checkbox"/> Ohřívací pece ve válcovnách trubek .....	128
<input type="checkbox"/> Ohřívací pece v kovárnách .....	129

### 4.1. Úvod



#### VÝKLAD

Ohřevem se v nejkratším možném čase dosahuje tvářecí teploty, a to bez ohrožení povrchové a vnitřní jakosti ohřívaného tělesa při omezení, popř. úplném potlačení průvodních jevů ohřevu v podobě opálu a oduhličení.

Ohřevem se zvyšuje **tvářitelnost** a snižuje **deformační odpor**, což má příznivý vliv na energetickou náročnost tváření, životnost tvářecích nástrojů a produktivitu tváření.

Zvyšováním teploty se rozbíhají i **difúzní pochody** (homogenizace licí struktury, rozpouštění precipitátů), jimiž, se zlepšuje jakost ohřívaného kovu. Snižuje se i hustota mřížkových poruch, což má příznivý vliv na jakost hranic zrn.

## 4.2. Tvářecí teploty



**Čas ke studiu: 1 hodina**



### Pojmy k zapamatování

**Tvářecí teplota (TT)** – obecná teplota, při níž je polotovar tvářen

**Horní tvářecí teplota (HTT)** – nejvyšší teplota, měřená v peci, na niž lze polotovar ohřát

**Počáteční tvářecí teplota (PTT)** – teplota, při níž se polotovar začíná tvářet

**Dolní tvářecí teplota (DTT)** – nejnižší přípustná teplota tvářeni

**Dotvářecí teplota (DT)** – skutečná teplota polotovaru na konci tvářeni.

**Teoretický interval tvářecích teplot (TITT)**  $\langle DTT, HTT \rangle$

**Skutečný interval tvářecích teplot (SITT)**  $\langle DT, PTT \rangle$



### VÝKLAD

#### □ Horní tvářecí teplota HTT

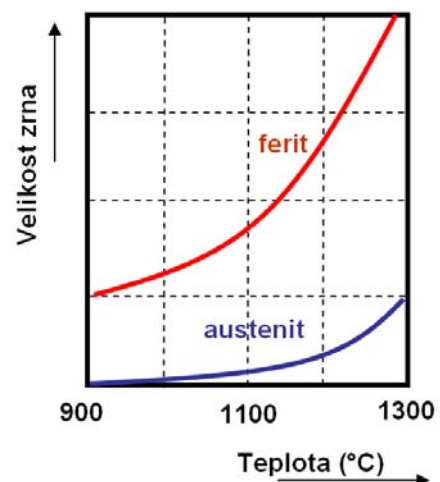
Při jejím stanovení je třeba zvážit dva protichůdné jevy:

- s rostoucí teplotou se zlepšuje tvařitelnost a klesá deformační odpor,
- s rostoucí teplotou se zintenzivňuje oxidace a oduhličení povrchových vrstev a roste náchylnost k růstu zrna (rozdílnou náchylnost k růstu zrna u austenitických a feritických ocelí znázorňuje **obr. 4.1.**), přehřátí a spálení oceli

HTT kopíruje křivku solidu v takové vzdálenosti, aby bylo zaručeno, že za žádných okolností nedojde k jejímu překročení

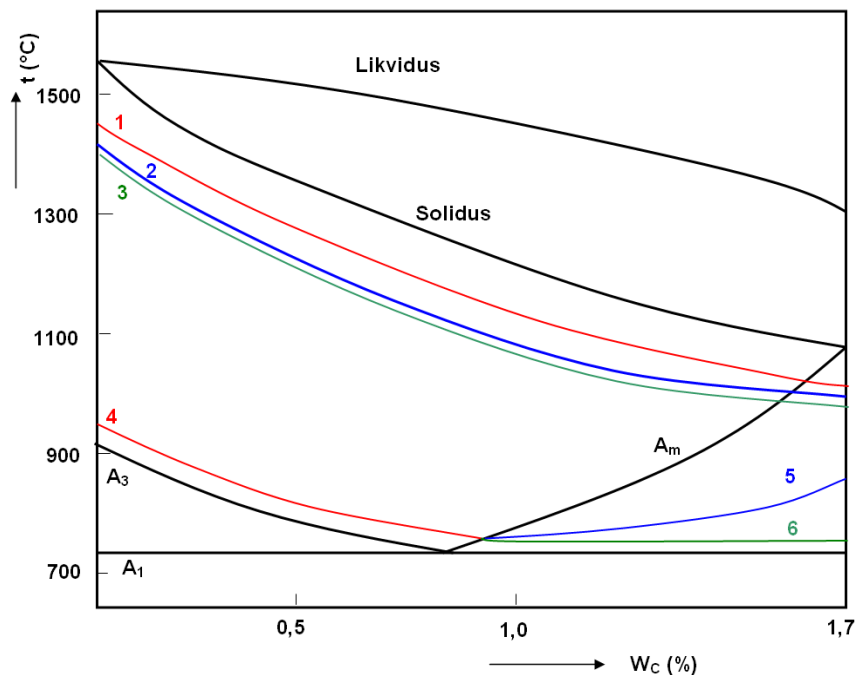
#### □ Dolní tvářecí teplota DTT

DTT se volí podle těchto zásad:



**Obr. 4.1.** Vliv teploty ohřevu na velikost zrna

- Ocel musí vykazovat dostatečnou tvařitelnost.
- Deformační odpor musí být v souladu s energosilovými veličinami tvářecího stroje.



**Obr.4.4.** Zjednodušená část diagramu Fe-Fe<sub>3</sub>C s vyznačenými horními a dolními tvářecími teplotami. 1 - rychlostní ohřev; 2 - polotovary s lici strukturou; 3 - polotovary s tvářenou strukturou; 4 - podeutektoidní oceli; 5 - nadeutektoidní oceli s nižší tvařitelností; 6 - nadeutektoidní oceli s vyšší tvařitelností

Je třeba si uvědomit, že vlastnosti tvářené oceli jsou výsledkem kombinace DTT, velikosti deformace v posledním úběru  $e_n$  nebo velikosti kumulované deformace  $e_k$ , pokud již mezi úběry nedochází k úplné rekrytalizaci, a následného ochlazování. Zvláště přesné dodržení dolní tvářecí teploty vyžadují jednofázové oceli a tlustší polotovary, u nichž je tváření jediným postupem k dosažení požadovaných vlastností v konečném výrobku. Vzhledem k rozdílným vlastnostem feritu a cementitu se určuje zvláště pro oceli podeutektoidní a zvláště pro oceli nadeutektoidní.

### ***Podutektoidní oceli***

Ukončení tváření vysoko nad  $A_{r3}$  vede k úplné rekrytalizaci a k následnému hrubnutí zrna.

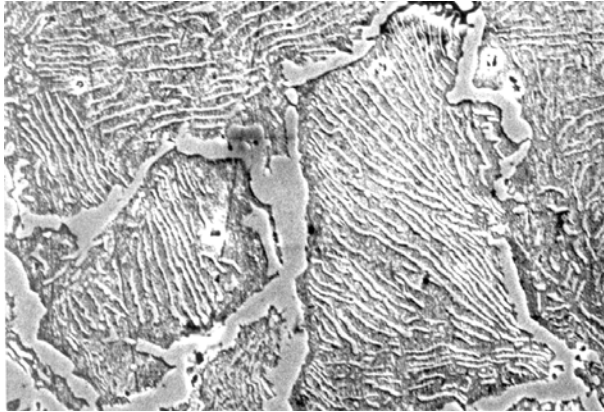
Tváření mezi  $A_{r3}$  a  $A_{r1}$  nelze doporučit kvůli dvoufázové struktuře ( $\alpha + \gamma$ ), což kromě zhoršené tvařitelnosti vede k řádkovitosti a zvýrazňuje anizotropii mechanických vlastností. Výjimkou jsou pružinové oceli, kde se dotvářením pod teplotou  $A_{r3}$  zlepšuje mez pružnosti a mez kluzu. Doporučení:  $A_{r3} < DTT < (A_{r3} + 50)$  (°C)

### ***Nadeutektoidní oceli***

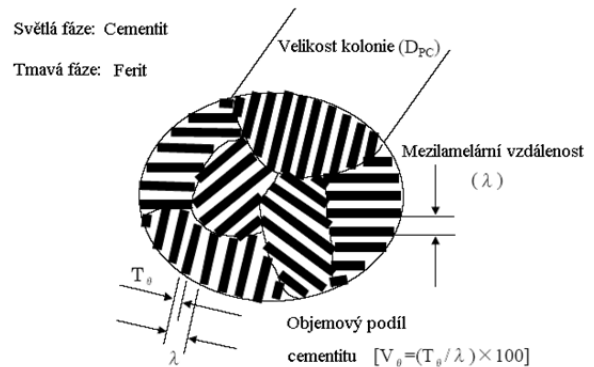
Nelze tvářet pouze v homogenní oblasti austenitu  $\gamma$ , a to z těchto důvodů:

- úzký interval tvářecích teplot znemožňuje tváření v jednofázové oblasti (austenit),
- vysoké DT vedou ke vzniku hrubozrnné struktury,

- deformačním účinkem nerušené ochlazování by vedlo k vyloučení cementitu na hranicích původních austenitických zrn v podobě nežádoucího síťoví (viz. obr. 4.3.),
- pod teplotou  $A_{r1}$  se hrubozrnný austenit mění na hrubělamelární perlit (viz. obr. 4.4.).



**Obr.4.3.** Perlit a proeutektoidní cementit na hranici původních austenitických zrn



**Obr.4.4.** Mikrostrukturní faktory perlitu

## Σ Shrnutí

Horní tvářecí teplotu volíme tak, abychom zajistili nízký deformační odpor a dobrou tvařitelnost oceli, aniž by došlo k nadměrnému opalu, oduhličení či k přehřátí a spálení oceli. Prakticky HTT kopíruje křivku solidu, více se k ní můžeme přiblížit při ohřevu oceli v litém stavu a při rychloohřevu. Dolní tvářecí teplota: u podeutektoidních ocelí se volí tak, aby tváření neprobíhalo ve dvoufázové oblasti ferit + austenit. U nadeutektoidních ocelí to však nejde zajisti a jsme nuceni tvářet dvoufázovou strukturu tvořenou austenitem a sekundárním cementitem. Pokud nám to deformační odpor oceli dovolí, tváříme těsně nad teplotou  $A_1$ . Pokud je deformační odpor příliš vysoký, musíme dokončit tváření za vyšších teplot. K zabránění vzniku nežádoucího cementitického síťoví po hranici původního austenitického zrna je vhodné aplikovat zrychlené ochlazování.



## Otázky 4.2.

- 4.2.1) Které protichůdné jevy musíme uvážit při stanovení horní tvářecí teploty?
- 4.2.2) Jak ovlivňuje obsah uhlíku horní tvářecí teplotu?
- 4.2.3) Jak ovlivňuje obsah uhlíku interval tvářecích teplot?
- 4.2.4) Podle jakých zásad se volí dolní tvářecí teplota?
- 4.2.5) Proč vysoká dotvářecí teplota vede ke vzniku hrubého zrna?
- 4.2.6) Jak se liší dolní tvářecí teplota u podeutektoidních a nadeutektoidních ocelí?
- 4.2.7) Nadeutektoidní oceli se tváří ve dvoufázové oblasti, jaké? Jak tato skutečnost ovlivňuje tvařitelnost?



## Otázky 4.2.

- 4.2.8) Jak zamezíme tvorbě hrubělamelárního perlitu při doválcování při vysokých teplotách?
- 4.2.9) Definujte mikrostrukturní faktory perlitu.
- 4.2.10) Zamyslete se, proč je na snímku na **obr. 4.3.** cementit v perlitu bílý. Jak vlastně dojde ke zviditelnění mikrostruktury?

## 4.3. Fyzikální základy ohřevu



**Čas ke studiu: 2 hodiny**



## Pojmy k zapamatování

Sdílení tepla vedením, prouděním a zářením, hustota tepelného toku, součinitel tepelné vodivosti, měrná tepelná kapacita, hustota, součinitel teplotní vodivosti, teplotní roztažnost, tepelná pnutí, rychlost ohřevu, doba ohřevu



## VÝKLAD

Fyzikální základy ohřevu tvoří soubor vybraných fyzikálních veličin a vlastností kovů, které rozhodují o zdárném průběhu ohřevu, a jejich teplotní závislosti.

Přenos energie z oblastí o vyšší teplotě do oblastí chladnějších se označuje jako **sdílení tepla**. Rozlišujeme tři základní způsoby, a to sdílení tepla vedením (kondukcí), prouděním (konvekcí) a zářením (radiací).

**Sdílení tepla vedením** souvisí s tepelným pohybem a vzájemným energetickým působením molekul, iontů a elektronů. Teplo se přenáší vedením nejen v tuhých, ale i v kapalných a plynných látkách, ovšem u tuhých neprůzračných těles je jediným mechanismem sdílení tepla.

**Sdílení tepla prouděním** je možné pouze v proudícím prostředí. Pohybující se tekutina při tom předává nebo odebírá teplo z povrchu okolních těles (tuhých i kapalných).

**Sdílení tepla zářením** se uskutečňuje elektromagnetickým vlněním. Tepelná energie tělesa se mění na elektromagnetické vlnění, které se šíří prostorem, je pohlcováno povrchy jiných těles, kde se opět promění v energii.

**OHŘEV: sálání, proudění, vedení**  $\rightarrow f(\lambda, \rho, c)$ ,

Fourierova rovnice vedení tepla

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \cdot \left( \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) + \frac{q_v}{c \cdot \rho} \quad [K \cdot s^{-1}] \quad (4.1)$$

kde  $a$  je součinitel teplotní vodivosti [ $m^2 \cdot s^{-1}$ ],

$t$  je teplota [K],

$\tau$  je čas [s],

$x, y, z$  jsou souřadnice [m].

$q_v$  je hustota tepelného toku vnitřního zdroje (např. teplo vzniklé vedením el. proudu, nebo ve tváření obvyklejší **deformační teplo**, nebo teplo vzniklé fázovou transformací).

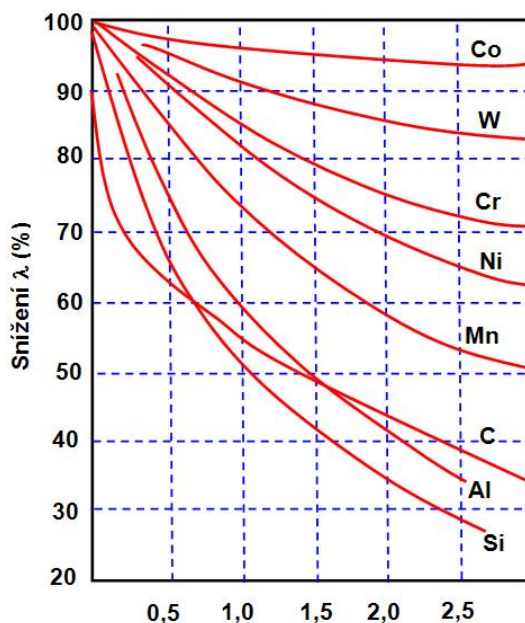
#### □ Součinitel tepelné vodivosti $\lambda$ [ $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ ]

Představuje množství tepla v Joulech, které projde mezi body vzdálenými 1 metr za 1 s, je-li rozdíl jejich teplot 1 Kelvin.

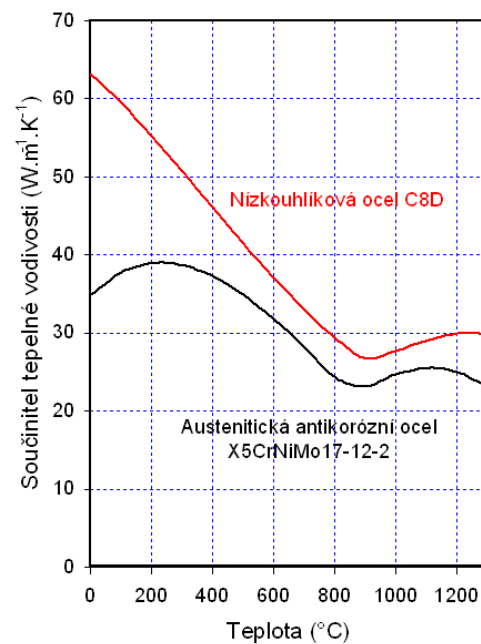
Charakteristickou vlastností kovů je dobrá vodivost tepla a elektřiny. Vedení elektřiny se uskutečňuje pomocí elektronů. Na vedení tepla se podílí jak elektrony, tak vlastní mřížka kmitáním atomů. Protože kmitající atomy jsou vzájemně spojeny vazebnými silami, ovlivňuje kmitání jednoho atomu atomy v jeho okolí, což se navenek projeví jako vedení tepla.

Tepelná vodivost je u čistých kovů nejvyšší (u železa  $\lambda \approx 75 W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ ), kdežto přísadovými prvky se snižuje (viz. **obr. 4.5**). Pro součinitel tepelné vodivosti oceli feritických ( $\lambda_f$ ), perlitických ( $\lambda_p$ ), martenzitických ( $\lambda_m$ ) a austenitických ( $\lambda_a$ ) platí, že:

$$\lambda_f > \lambda_p > \lambda_m > \lambda_a$$



**Obr.4.5.** Vliv přísadových prvků na snížení součinitele tepelné vodivosti



**Obr.4.6.** Závislost součinitele tepelné vodivosti na teplotě nízkouhlíkové a legované oceli

Obecně platí:  $\lambda = f(M, t)$

Součinitel tepelné vodivosti se snižuje zhuštěním mřížkových poruch, jímž se vyznačuje struktura litá, tvářená za studena či zakalená. Pozoruhodný je vliv teploty, podle něhož se oceli rozdělují do tří skupin, v nichž se součinitel tepelné vodivosti se vzrůstající teplotou:

- výrazně snižuje (nizkouhlikové a nizkolegované oceli) (viz. **obr. 4.6.** červená čára),
- snižuje nevýrazně nebo se vůbec nemění (středně legované oceli),
- mírně zvyšuje (vysokolegované oceli) (viz. **obr. 4.6.** černá čára).

Nad teplotou 900 °C se součinitel tepelné vodivosti všech druhů ocelí ustaluje na hodnotě 25 W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>.

Vliv  $\lambda$  na ohřev

$\uparrow \lambda \Rightarrow \downarrow \tau, \Delta t$

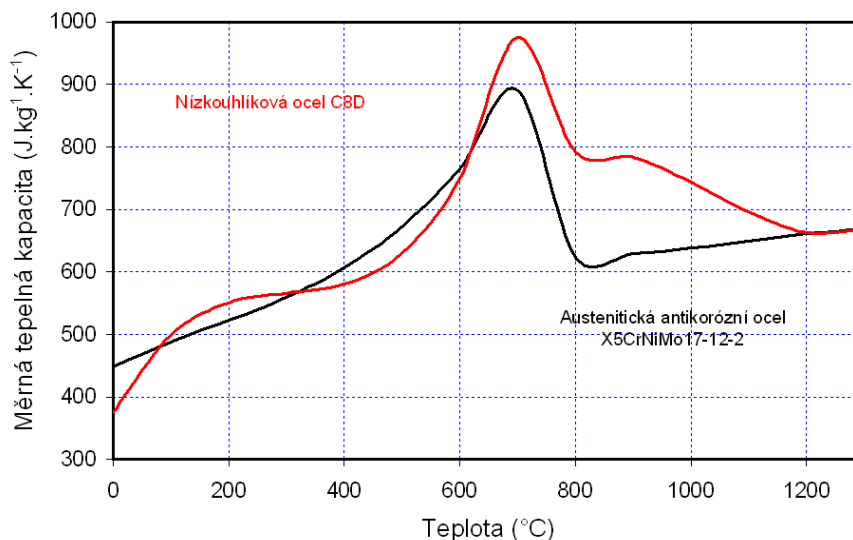
Větší součinitel tepelné vodivosti znamená menší teplotní spád mezi povrchem a jádrem zahřívávaného tělesa, tím i menší tepelná pnutí a kratší dobu ohřevu.

#### □ Měrná tepelná kapacita $c$ [J.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>]

Množství tepla v J, které je potřeba dodat látce o hmotnosti 1 kg, aby se ohřála o 1 K.

$c = f(t)$   $\uparrow c \Rightarrow \uparrow \tau$

Vliv chemického složení je nepatrný, s teplotou měrná tepelná kapacita stoupá až k maximu, které je při teplotě přeměny  $\alpha \rightarrow \gamma$  (viz. **obr. 4.7.**). Větší měrná tepelná kapacita prodlužuje dobu ohřevu a zvyšuje tak jeho energetickou náročnost.



**Obr.4.7.** Závislost měrné tepelné kapacity na teplotě nizkouhlikové a legované oceli

#### □ Hustota $\rho$ [kg.m<sup>-3</sup>]

Hustota je nejnižší u čistých kovů, např. pro železo  $\rho = 7\,880$  kg.m<sup>-3</sup>.

$\rho = f(M, t)$   $\uparrow \rho \Rightarrow \uparrow \tau$

Větší hustota prodlužuje dobu ohřevu a zvyšuje jeho energetickou náročnost.

Závislost na chemickém složení lze popsat takto:

$$\rho_0 = 7876 - 40C - 16Mn - 73Si - 164S - 117P + 11Cu + 4Ni + Cr + 95W - 120Al \quad (4.2)$$

Pro uhlíkové oceli  $\rho = 7800$  až  $7850 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , u vysokolegovaných ocelí, zejména s větším obsahem wolframu, až  $8690 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Hustota dále závisí na struktuře podle vztahu:

$\rho_{\text{austenitu}} > \rho_{\text{bainitu}} > \rho_{\text{perlitu}} > \rho_{\text{martenzitu}}$  a na teplotě podle vztahu:

$$\rho_t = \frac{\rho_0}{(1 - \beta \cdot t)} \quad (4.3)$$

Kde  $\rho_0$  je hustota při teplotě  $0^\circ\text{C}$  a  $\beta$  je teplotní objemová roztažnost ( $\text{K}^{-1}$ ).

#### □ Součinitel teplotní vodivosti $a$ [ $\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ ]

Změna teploty s časem, ke které dochází v teplotním poli ve výrobku při nestacionárním vedení tepla je přímo úměrná tepelné vodivosti  $\lambda$ , ale nepřímo úměrná měrné tepelné kapacitě  $c$  a hustotě  $\rho$ . Proto se zavádí veličina, která charakterizuje rychlost změn teploty při ohřevu nebo při ochlazování výrobku. Je to součinitel teplotní vodivosti nebo prostě teplotní vodivost:



#### Vzorec k zapamatování

$$a = \frac{\lambda}{c \cdot \rho} \quad \uparrow a \Rightarrow \downarrow \tau, \downarrow \Delta t, \downarrow \sigma_{\text{tep}} \quad (4.4)$$

Větší součinitel teplotní roztažnosti zkracuje dobu ohřevu a snižuje jeho energetickou náročnost. Z toho plyne vyšší teplotní gradient mezi povrchem a středem polotovaru a z toho plyne vyšší hodnota tepelného pnutí  $\sigma_{\text{tep}}$ .

#### □ Teplotní roztažnost

Za stálého tlaku se s rostoucí teplotou zvětšují délkové rozměry i objem tuhých těles. Poměrná změna délky je charakterizována izobarickým součinitelem délkové roztažnosti, který je funkcí teploty:

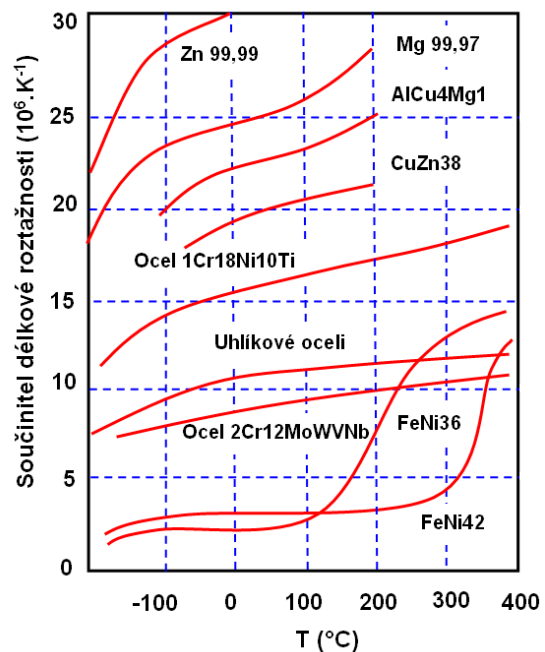
Délková roztažnost

$$l_t = [l_0 + \bar{\alpha} \cdot (T - T_0)] \quad (4.5)$$

Objemová roztažnost

$$V_t = [V_0 + \bar{\beta} \cdot (T - T_0)] \quad (4.6)$$

Tato roztažnost je nejnižší u čistých kovů, např. u železa při teplotě  $0^\circ\text{C}$  je teplotní délková roztažnost  $\alpha = 11,7 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ . Vliv uhlíku je sotva znatelný. Největší teplotní roztažnost,  $\alpha = 16$  až  $20 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ , je příznačným rysem austenitických ocelí. Při ohřevu se teplotní délková roztažnost zvětšuje až na maximum při



Obr. 4.8. Závislost součinitele délkové roztažnosti na teplotě



teplotě překrystalizace, a poté se zmenšuje následkem menšího objemu nové fáze.

Větší teplotní roztažnost vyvolává větší tepelná pnutí, čelí se tomu snížením rychlosti ohřevu, což je však spojeno se zvýšením energetické náročnosti ohřevu.

#### □ Tepelná pnutí

Tepelná pnutí vznikají při ohřevu tělesa následkem objemových změn, které jsou důsledkem nerovnoměrného rozdělení teploty v ohřívaném tělese. Pro vznik a důsledky pnutí je obzvláště nebezpečná oblast nízkých teplot (do 550 °C), kdy je ocel v pružném stavu a vznikající pnutí nemůže být eliminováno plastickou deformací. V počáteční fázi ohřevu jsou povrchové vrstvy zahřáté na vyšší teplotu, zvětší svůj objem, jádrové oblasti však tomuto zvětšení brání. Na povrchu tak vzniknou tlaková napětí, v jádrových oblastech tahová.

Pokud se k tomu přidá zbytkové tahové pnutí po předchozím ochlazení, případně v průběhu ohřevu pnutí překrystalizační (hlavně legované oceli), může dojít k porušení soudržnosti materiálu.

Maximální přípustný teplotní rozdíl v tělese se stanoví takto:

$$\Delta T_{\max} = \frac{k \cdot \sigma_D}{\alpha \cdot E} \quad (4.7)$$

Kde  $k$  je tvarový součinitel, deska  $k = 1,05$ , válec  $k = 1,4$ ,

$\alpha$  je teplotní délková roztažnost,

$E$  je modul pružnosti v tahu,

$\sigma_D$  je dovolené napětí.

Podle velikosti tepelných pnutí se ohřívané polotovary dělí na:

- tenké ( $\Delta T \rightarrow 0$ ), kdy je možno tepelná pnutí zanedbat,
- tlusté ( $\Delta T > \Delta T_{\max}$ ), u nichž vznikají nebezpečná tepelná pnutí.

O zařazení tělesa rozhoduje Biotovo kritérium:

$$Bi = \frac{\alpha \cdot s}{\lambda} \quad (4.8)$$

Kde  $\alpha$  je součinitel přestupu tepla [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ ]

$s$  je charakteristický rozměr,

$\lambda$  je tepelná vodivost [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ]

Pro tenká tělesa je  $Bi < 0,25$ , pro tlustá pak  $Bi > 0,5$ .

Význam Biotova kritéria spočívá v charakterizování vnějšího a vnitřního sdílení tepla v ohřívaném výrobku. Teplotní rozdíl v tělese není dán pouze tloušťkou ohřívaného výrobku, ale i jeho tepelnou vodivostí a rychlostí ohřevu. Těleso velkých rozměrů se tedy může chovat

při pomalém ohřevu jako tenké (bez význačného teplotního spádu), naopak těleso malých rozměrů při značných ohřivacích rychlostech jako těleso masivní (tlusté).

#### □ Rychlost ohřevu $v$ [ $K \cdot h^{-1}$ ]

Rychlost ohřevu závisí především na teplotní vodivosti a dále na vlastnostech ohřivaného materiálu a rozměrech polotovarů. Čím větší je rychlost ohřevu, tím kratší je doba ohřevu, ale tím větší jsou tepelná pnutí v ohřivaném tělese.

Přípustná rychlost ohřevu se počítá ze vztahu

$$v = \frac{k \cdot a \cdot \Delta T_{\max}}{s^2} \quad (4.9)$$

Kde  $a$  je součinitel teplotní vodivosti [ $m^2 \cdot s^{-1}$ ]

$\Delta T_{\max}$  je maximální přípustný teplotní rozdíl v tělese (rov. (4.7))

$s$  je charakteristický rozměr,

$k$  je tvarový součinitel, deska  $k = 2,1$ , válec  $k = 5,6$ ,

Aby se tepelná pnutí udržela v přípustných mezích, doporučuje se zařadit do vstupní fáze ohřivacího režimu tlustých polotovarů předehřátí v peci se sníženou sázecí teplotou, přičemž se rychlost ohřevu omezuje vztahem (rov. (4.9)).

#### □ Doba ohřevu $t$ [h]

Stanovuje se tak, aby se dosáhlo:

- požadované tvářecí teploty,
- nejmenšího tepelného pnutí,
- rovnoměrného prohřátí ( $\Delta T < 50$  K),
- nízké energetické náročnosti procesu,
- co nejnižší oxidace a oduhličení,
- požadované strukturní změny,
- rozpuštění karbonitridů.

Doba ohřevu v komorových pecích se stanoví ze vztahu:

$$\tau = k_1 \cdot k_2 \cdot s^{1,5} \quad (4.10)$$

Kde  $k_1$  je materiálový součinitel, konstrukční nízkouhlíkové oceli  $k_1 = 10$ , legované oceli  $k_1 = 20$ ,

$k_2$  je součinitel zohledňující způsob uložení polotovaru v peci (viz. **tabulka 4.1**),

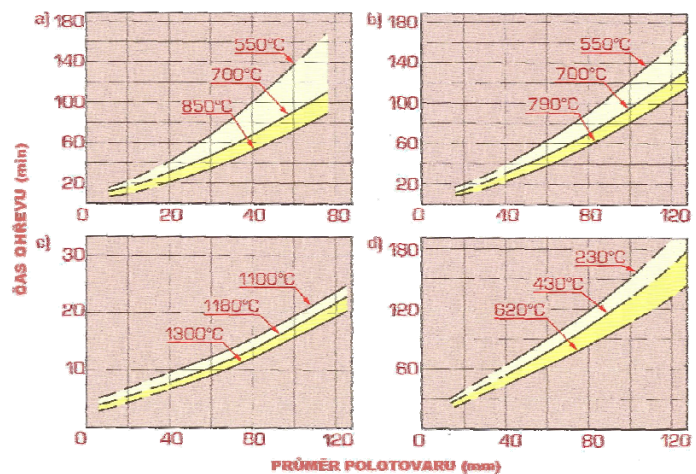
$s$  je charakteristický rozměr.

Tabulka 4.1 Hodnoty součinitele zohledňující způsob uložení polotovaru v peci  $k_2$ 

$k_2$	Způsob uložení v peci	$k_2$	Způsob uložení v peci	$k_2$	Způsob uložení v peci	$k_2$	Způsob uložení v peci
1		1		1.4		2.2	
1		1.4		1.3		2	
2		4		1.7		1.8	

Ke stanovení doby ohřevu tenkých těles se s výhodou používají grafy (obr. 4.9.) nebo tabulky.

Mnohem náročnější a odpovědnější je stanovení doby ohřevu tlustých těles, k nimž patří především ingoty, a to zejména ve studeném stavu ( $t < 550\text{ °C}$ ). V takových případech se celý ohřev rozčleňuje do několika na sebe navazujících úseků, z nichž první se vyznačuje sníženou sázečí teplotou pece, čímž se zamezuje vzniku velkých tepelných pnutí v první fázi ohřevu, kdy je ocel v pružném stavu.



Obr. 4.9. Diagram pro stanovení doby ohřevu v závislosti na teplotě pece a průměru polotovaru.

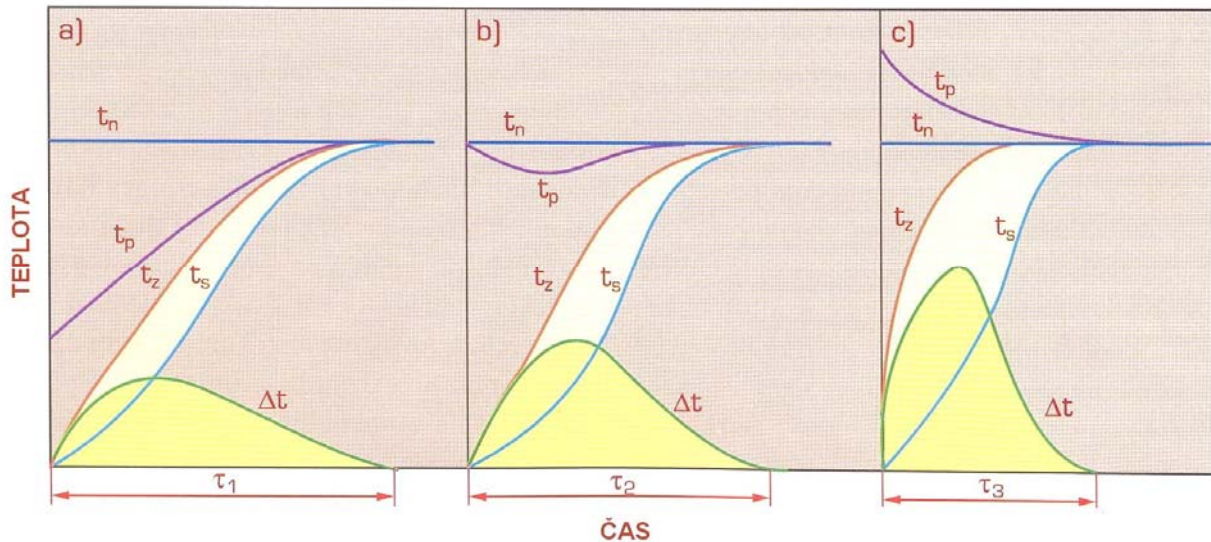
## □ Způsoby ohřevu

Při tepelném zpracování se vlastní ohřev výrobku uskutečňuje v pecních zařízeních různými způsoby. Obvykle se celkový ohřev skládá z více fází, jelikož je nutno měnit rychlost ohřevu nebo vyrovnávací fáze během ohřívacího procesu. V podstatě je možno režimy ohřevu výrobků rozdělit do pěti skupin:

1. **pomalý (obr. 4.10. a)** - vsázka je vložena do studené pece a postupně ohřívána. Rychlost ohřevu je malá, vznikají malé rozdíly teplot mezi povrchem a jádrem výrobku. Výrobnost pece je však nízká.

2. **normální (obr. 4.10. b)** - vsázka je vložena do pece vyhřáté na předepsanou teplotu ohřevu, popř. teplotu částečně vyšší. Teplotní spád ve výrobku je vyšší a tím i vyšší teplotní pnutí. Tento způsob je nejvíce využíván v komorových pecích a solných lázních. Zvyšuje se výkon pece.

3. **zrychlený** (intenzivní) (**obr. 4.10. c**) - využívá část tepelné kapacity pece vyhřáté na teplotu podstatně vyšší než je předepsaná teplota ohřevu výrobku. Po vložení vsázky do pece vznikají velké teplotní rozdíly mezi jádrem a povrchem výrobku.



**Obr. 4.10.** Teplota pece  $t_p$ , teplota povrchu tělesa  $t_z$ , teplota středu tělesa  $t_s$  a rozdíl teplot mezi povrchem a středem  $\Delta t$  v závislosti na čase při ohřevu polotovaru na teplotu  $t_n$  a) pomalý ohřev b) normální ohřev c) zrychlený ohřev

4. **rychlý** - pec je nepřetržitě vyhřívána na teplotu podstatně vyšší, než je teplota požadovaná. Vsázka se vyjímá z pece po dosažení předepsané teploty. Při tomto režimu se dosahuje nejvyšších hodnot vnitřních pnutí, ale také nejvyšší výrobnosti pece.

5. **stupňovitý** - vsázka se předeheje v jednom prostředí (agregátu) a potom přemístí do dalšího prostředí s vyšší teplotou. Ohřev je možno uskutečnit i ve více stupních. Stupňovitý ohřev umožňuje snížit napětí při ohřevu na minimum a tím zamezit deformacím, příp. praskání i u materiálů s nízkou tepelnou vodivostí (vysokolegované ocele).

## Σ Shrnutí

Vedení tepla se řídí Fourierovou rovnicí. Na způsob ohřevu mají vliv základní tepelné veličiny: součinitel tepelné vodivosti  $\lambda$ , měrná tepelná kapacita  $c$  a hustota  $\rho$ . Snížená hodnota  $\lambda$  a zvýšené hodnoty  $c$  a  $\rho$  vedou k velkým rozdílům teplot mezi povrchem a středem polotovaru. Tento rozdíl v kombinaci s teplotní roztažností způsobuje tepelná pnutí. Nejnebezpečnější jsou tepelná pnutí do teplot  $550^\circ\text{C}$ , kdy díky velké hodnotě modulu pružnosti v tahu  $E$  probíhá pružná deformace a tepelné pnutí tak zůstává přítomno v materiálu. Nejhorší varianta nastane po rychlém ochlazení a následném rychlém ohřevu, kdy se sečtou kladná vnitřní pnutí a může dojít ke vzniku trhliny. Aby se zabránilo vzniku kritických vnitřních pnutí, zavádí se v praxi výpočty rychlosti ohřevu a doby ohřevu, které zohledňují materiál, tvar a rozměry polotovaru a způsob uložení v peci. Z toho nakonec vznikají různé způsoby ohřevu: normální, pomalé, zrychlené, rychlé a stupňovité.



### Otázky 4.3.

- 4.3.1) Jaké znáte způsoby vedení tepla? Které z nich se uplatňují při ohřevu před tvářením?
- 4.3.2) Co jsou vnitřní zdroje tepla? Uveďte příklady.
- 4.3.3) Definujte součinitel tepelné vodivosti? Vysvětlete jednotku.
- 4.3.4) Na čem závisí tepelná vodivost kovů?
- 4.3.5) Jak součinitel tepelné vodivosti ovlivňuje ohřev kovů?
- 4.3.6) Definujte měrnou tepelnou kapacitu? Vysvětlete jednotku.
- 4.3.7) Jak měrná tepelná kapacita ovlivňuje ohřev kovů?
- 4.3.8) Napište vztah mezi hustotou a hmotností materiálu.
- 4.3.9) Jak hustota ovlivňuje ohřev kovů?
- 4.3.10) Co je to teplotní roztažnost kovů?
- 4.3.11) Jak teplotní roztažnost ovlivňuje technologii ohřevu?
- 4.3.12) Co je příčinou vzniku tepelných pnutí při ohřevu kovů?
- 4.3.13) Jak souvisí tepelné pnutí s teplotní roztažností a tepelnou vodivostí?
- 4.3.14) Proč jsou legované oceli náchylnější na porušení soudržnosti při ohřevu?
- 4.3.15) Na základě čeho rozhodnete zda se dané těleso (z určitého materiálu) při ohřevu bude chovat jako tlusté nebo jako tenké?
- 4.3.16) Na čem závisí rychlost ohřevu? Jakou má jednotku?
- 4.3.17) Jak ovlivňuje způsob uložení polotovaru v peci rychlost ohřevu?
- 4.3.18) Jaké znáte způsoby ohřevu?
- 4.3.19) Nakreslete křivku ohřevu nízkolegované oceli a vysokolegované oceli (časovou závislost teploty na povrchu a ve středu polotovaru).
- 4.3.20) Kdy můžete použít zrychlený ohřev?

### 4.4. Průvodní jevy ohřevu



**Čas ke studiu: 1 hodina**



**Pojmy k zapamatování**

Opal, okuje, wüstit, magnetit, hematit, oduhličení, přehřátí, spálení



**VÝKLAD**

## □ Opal

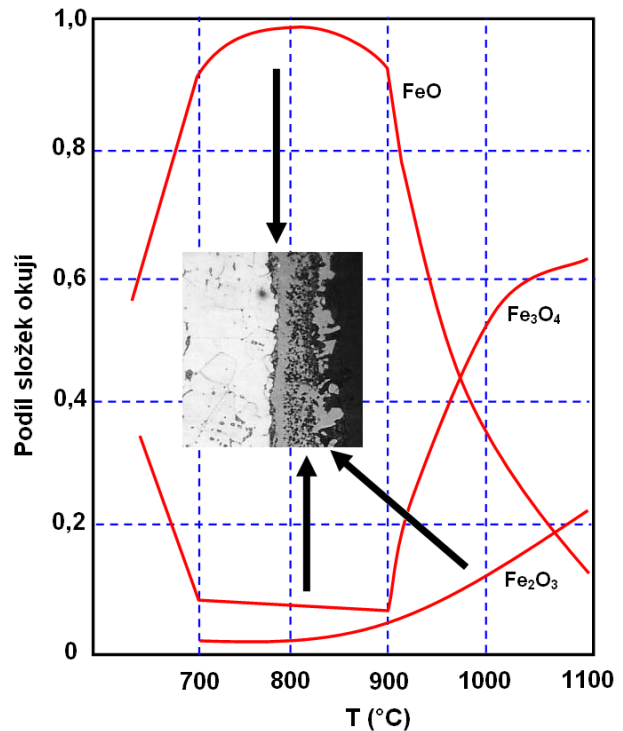
Opal vzniká oxidací povrchových vrstev ohřívaného tělesa v pecní atmosféře obsahující volný kyslík, CO<sub>2</sub> a vodní páru. Množství okují se řídí následujícím vztahem:

$$Z = 49 \cdot \sqrt{\tau} \cdot \exp\left(\frac{-9000}{T}\right) \quad (4.11)$$

Kde  $\tau$  je čas (s)

$T$  je teplota (K)

Vzájemný podíl postupně od základního kovu k atmosféře vznikajících oxidů železa, FeO, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> a Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> se mění s teplotou podle **obr. 4.11**. Oxidace se urychluje neustálým opadáváním okují z povrchu ohřívaného tělesa následkem rozdílné teplotní roztažnosti okují a základního kovu. Okuje obsahují 71 až 78 hm. % železa; jejich hustota  $\rho = 4\,600$  až  $6\,000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ .



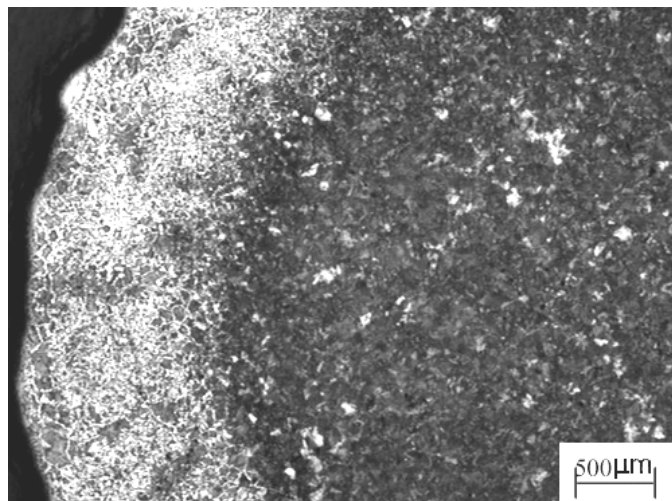
**Obr. 4.11.** Vliv teploty ohřevu na podíl složek okují

Při následném tvářeni způsobují okuje na povrchu těles zvýšené tření a tím zhoršují stav napjatosti a způsobují zvýšené opotřebení nástrojů. Zaválcováním okují vznikají povrchové vady.

## □ Oduhličení

Působením CO<sub>2</sub> a vodní páry (především) se ocel oduhličuje (**viz. obr. 4.12.**), což se projeví snížením pevnosti, povrchové tvrdosti a dalších vlastností závislých na obsahu uhlíku. Oduhličení úzce souvisí s oxidací. Za vyšších teplot převládá oxidace, za nižších pak oduhličení. Oduhličení podporují přísadové prvky podněcující aktivitu uhlíku v austenitu (Si, W, Mo); opačně působí Cr.

Oduhličení zhoršuje vlastnosti tvářeného polotovaru. Snižuje např. únavovou pevnost lanového a pružinového drátu ve střídaném ohybu



**Obr. 4.12.** Mikrostruktura válcovaného drátu s 0,7 % C, ve středu drátu je čistě perlitická struktura v oblastech blízko povrchu je feritická struktura s perlitickým síťovím na hranici původního austenitického zrna.

a ve svých důsledcích mez únavy pružin a lan. Zvláště vysoké požadavky na oduhlíčený povrch jsou kladeny na kolejnicové oceli (oduhlíčení zvyšuje opotřebení pojezdové hrany kolejnice).

#### □ Přehřátí a spálení

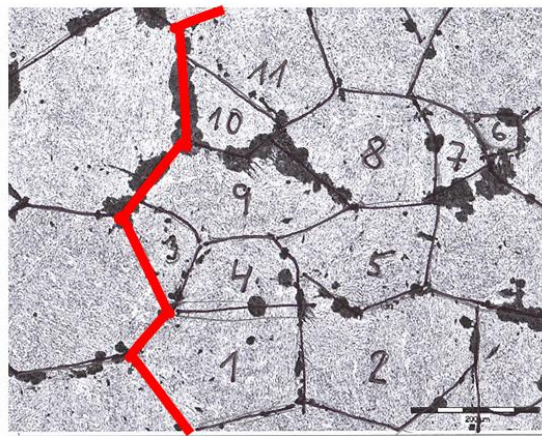
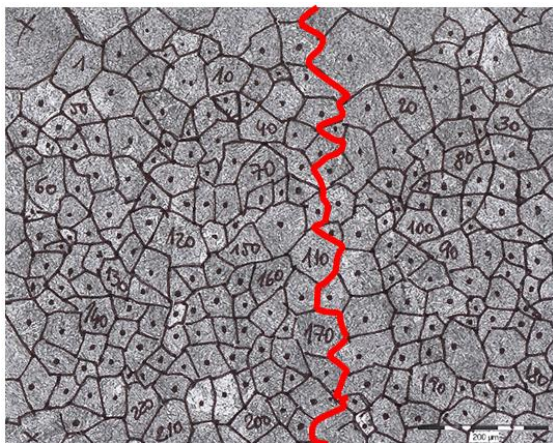
Přehřátí oceli nastává při dlouhodobém ohřevu na horní tvářecí teplotu, kdy hrubne austenitické zrno. Hrubé austenitické zrno (při ochlazování často vzniká Widmannstättenova struktura, **obr. 4.13.**) má nepříznivý vliv na tvařitelnost materiálu. Trhliny se rády šíří po hranici zrna (**obr. 4.14.**), čím hrubší zrno, tím kratší dráhu musí trhlina urazit (**obr. 4.15.**). Následky tohoto stádia lze odstranit normalizačním žiháním případně tvářením s malým stupněm deformace. Toto stádium označujeme jako přehřátí bez ovlivnění hranice zrn.



**Obr. 4.13.** Widmannstättenova struktura, ostré jehlice výrazně zhoršují tvařitelnost za studena



**Obr. 4.14.** Šíření trhliny po hranici zrna



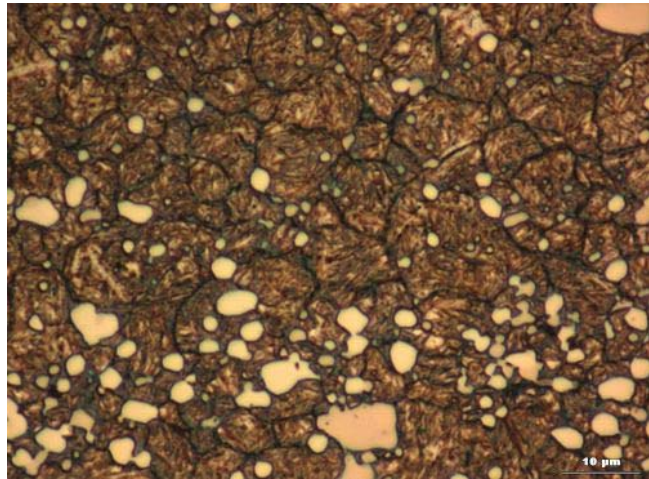
**Obr. 4.15.** Délka potenciální trhliny: vlevo - jemnozrná struktura, vpravo - hrubozrná struktura

Druhé stádium, přehřátí s ovlivněním hranic zrn, trvale znehodnocuje ocel. Za příčinu se považuje síra, která se pod teplotou solidu rozpouští v oceli a difunduje na hranice zhrublého austenitického zrna s nižší povrchovou energií. Při následném ochlazování se síra vylučuje na hranicích austenitického zrna v podobě sulfidů, které ve zvýšené koncentraci oslabují soudržnost feritického síťoví, čímž se snižují plastické vlastnosti oceli.

Při ohřevu na teploty blízké teplotě solidu může nastat spálení oceli (viz. **obr. 4.16.** a **4.17.**), což znamená její úplné znehodnocení následkem natavení hranic zrn. Případné nečistoty, které v průběhu ohřevu nadifundovaly na hranice zrna sníží jejich teplotu tání a ke spálení oceli pak může dojít i za teplot výrazně pod teplotou solidu.



*Obr. 4.16. Spálený povrch*



*Obr. 4.17. Mikrostruktura spálené oceli*

## Σ Shrnutí

Za zvýšených teplot se velmi daří všem procesům, které jsou řízeny difúzí. Patří mezi ně i nežádoucí průvodní jevy ohřevu: opal – difúze kyslíku do oceli za vzniku okují, oduhličení – difúze uhlíky pryč z oceli za vzniku oduhličené vrstvy na povrchu, přehřátí bez ovlivnění hranic zrn – difúze železa v železe, která způsobí migraci hranic zrna a tím zhrubnutí zrna, přehřátí ovlivněním hranic zrn – difúze nečistot a příměsí na hranice zrna, kde způsobí oslabení hranice zrna, snížení teploty tání hranice zrna a následně spálení oceli.



## Otázky 4.4.

- 4.4.1) Co jsou to okuje a kdy vznikají?
- 4.4.2) Co urychluje vznik okují?
- 4.4.3) Jak ovlivňují okuje následné tvářeni materiálu?
- 4.4.4) Čím se projevuje oduhličení oceli?
- 4.4.5) Jak z mikrostrukturního snímku eutektoidní oceli poznáte, že došlo k oduhličení?
- 4.4.6) Nakreslete graf závislosti tvrdosti oduhličeného ocelového drátu na vzdálenosti od středu.
- 4.4.7) Co se v oceli děje při přehřátí?
- 4.4.8) Jak souvisí velikost zrna s tvařitelností?
- 4.4.9) Jak můžete uzdravit ocel v prvním stádiu přehřátí?
- 4.4.10) Proč jsou hranice oblíbeným místem difúze nečistot? Jak to ovlivňuje tvařitelnost?
- 4.4.11) Co je to spálení oceli, jak k němu dochází?
- 4.4.12) Proč je rychloohřev méně náchylný na přehřátí a spálení?



## 4.5. Způsoby ohřevu



Čas ke studiu: 1 hodina



### Pojmy k zapamatování

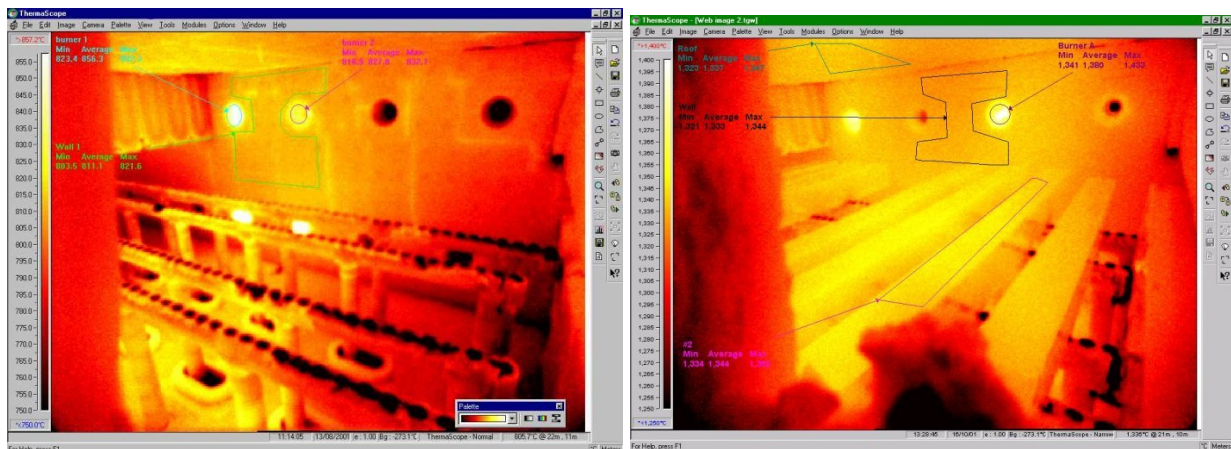
Plynový ohřev, měrný elektrický odpor, elektrický odpor, indukce, vířivé proudy, účinnost ohřevu, rychlostní ohřev, ochranná atmosféra



### VÝKLAD

#### □ Plynový ohřev

Plynový ohřev má pro energetickou bilanci hutního průmyslu stále prvořadý význam. Rozsáhlé použití topných plynů je dáno vhodnými vlastnostmi, potřebnými v hutnické technologii, z nichž můžeme uvést hlavně dokonalé spalování s malým přebytkem vzduchu, rovnoměrné rozložení teplot v pracovním prostoru pece, příznivá kontrola a automatizace spalovacího procesu (viz. obr. 4.18.), možnost predehřátí topných plynů a snadná doprava.



*Obr. 4.18. Pohled do pracovního prostoru plynové pece pomocí termovize. Můžeme vidět umístění jednotlivých hořáků a řetězový dopravník. Vlevo prázdná pec, vpravo naložená pec*

#### □ Ohřev elektrickým proudem

Prochází-li vodičem elektrický proud, narážejí pohybuující se elektrony na atomy vodiče v rovnovážných polohách a předávají jim část své kinetické energie. Rozkmitání atomu se projeví vzrůstem teploty vodiče. Jedná se o nejrychlejší způsob ohřevu polotovarů malých tloušťek. Vysoká rychlost ohřevu je umožněna tím, že teplo vzniká uvnitř ohřívajícího polotovaru. Výhody ohřevu elektrickým proudem:

- Nízké zokujení.

- Přesné dodržení horní tvářecí teploty.
- Snadná mechanizace a automatizace.
- Výrazné zlepšení pracovních podmínek a životního prostředí.

Rozlišujeme:

**Nepřímý odporový ohřev:** Proud teče topnými spirálami (velká délka, malý průměr a speciální materiál se zvýšeným měrným elektrickým odporem (viz. **obr. 4.19.**)), které se v důsledku toho ohřívají a následně předávají teplo vnitřnímu prostoru pece.

**Přímý odporový ohřev:** proud prochází přímo polotovarem. Velikost elektrického proudu se stanoví takto:

$$I = \sqrt{\frac{Q}{R \cdot \tau}} \quad [A] \quad (4.12)$$

Kde  $Q$  je teplota nezbytná k ohřevu polotovaru beze ztrát (J)

$R$  je elektrický odpor ( $\Omega$ )

$t$  je čas ohřevu(s)

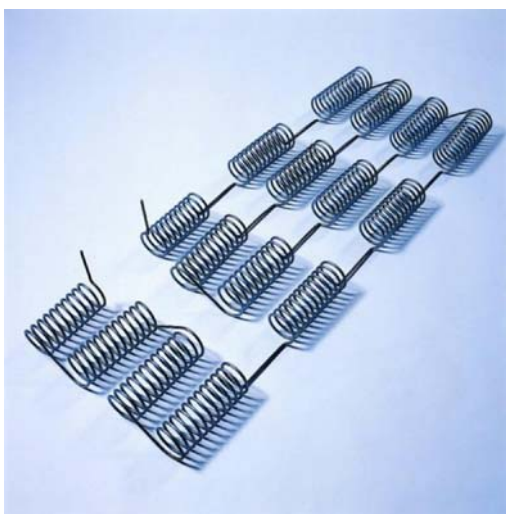
$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} \quad (4.13)$$

Kde  $\rho$  je měrný elektrický odpor ( $\Omega \cdot m$ )

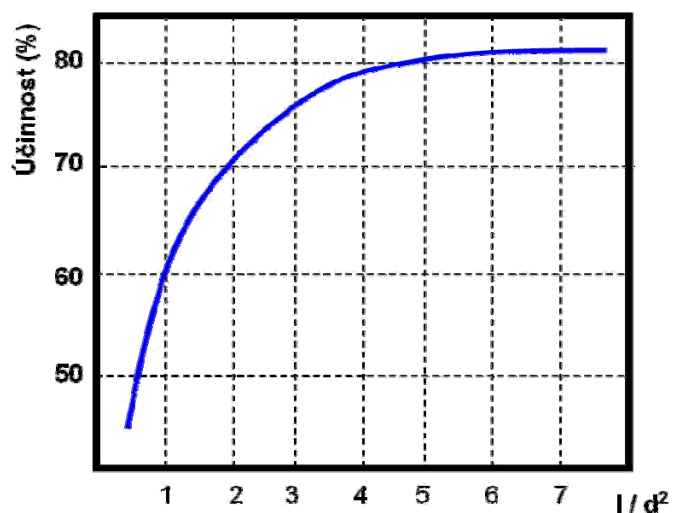
$l$  je délka tělesa (m)

$S$  je plocha tělesa ( $m^2$ )

Účinnost přímého odporového ohřevu velmi silně závisí na poměru délky tělesa k jeho průřezu (viz. **obr. 4.20.**). Ohřev el. proudem se uplatňuje při výrobě svařovaných trubek, při zápusťkovém kování, kdy ohřívací zařízení bývá s výhodou vestavěno přímo do tvářecího stroje. Velmi úspěšně se přímý odporový ohřev využívá při ohřevu taženého drátu (velká délka, malý průřez) před tepelným zpracováním (patentování, žíhání).



**Obr. 4.19.** Topné spirály pro elektrické pece



**Obr. 4.20.** Závislost účinnosti ohřevu na rozměrech tělesa

### Indukční ohřev

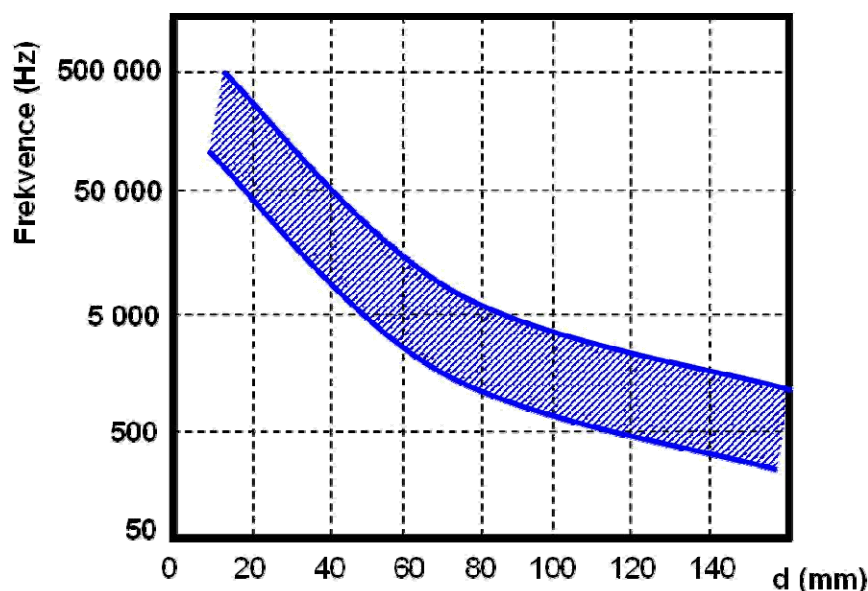
Kolem vodiče, jímž prochází střídavý elektrický proud, se vytváří magnetické pole, které mění svou velikost a směr. Jestliže do magnetického pole vložíme kovové těleso, indukuje se v něm elektromotorická síla, jejímž působením začne tělesem procházet proud – těleso se zahřívá. Jedná se o nejrychlejší způsob ohřevu vůbec.

Induktor je zhotoven z měděné trubky, kterou protéká voda, kvůli chlazení (viz. **obr. 4.21.**). Indukční vířivé proudy nepronikají do polotovaru rovnoměrně, hustota proudu klesá směrem ke středu polotovaru exponenciálně (využití při povrchovém kalení).

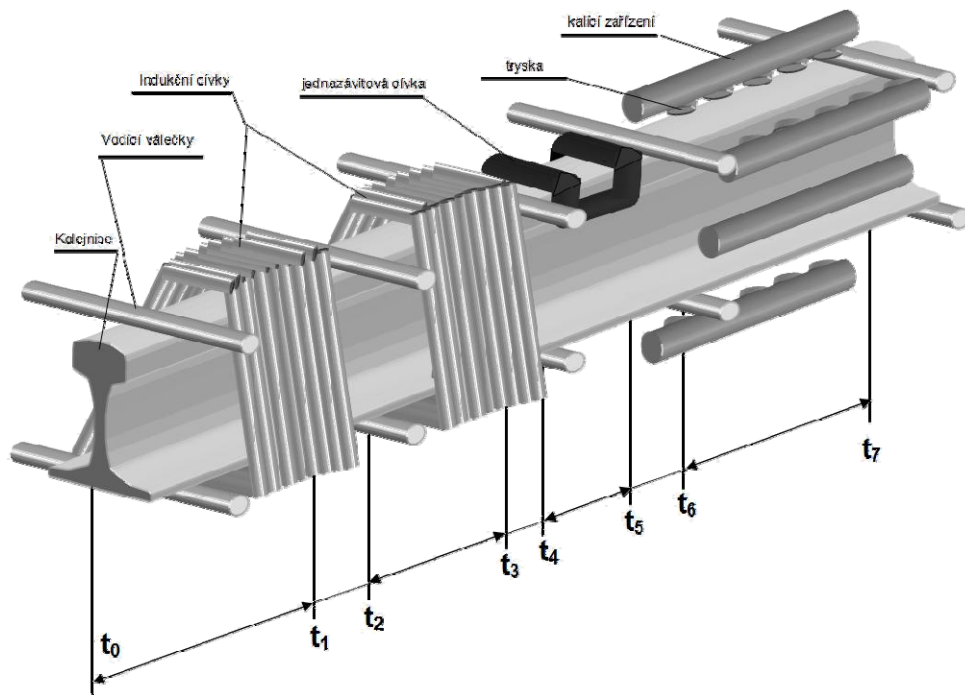


*Obr. 4.21. Induktor*

O hospodárnosti a účinnosti ohřevu rozhoduje do značné míry volba frekvence (viz. **obr. 4.22.**). Polotovary o průměru či tloušťce nad 200 mm se již nedoporučuje ohřívat. Na rozdíl od odporového ohřevu lze indukčně ohřívat polotovary rozmanitého průřezu i těch nejmenších délek. Díky vysokým pořizovacím nákladům a nutnosti výměny induktoru při změně rozměrů ohřívaného polotovaru se indukční ohřev vyplácí pouze ve velkosériové výrobě (viz. **obr. 4.23.**).



*Obr. 4.22. Diagram pro stanovení frekvence proudu v závislosti na průměru ohřívaného tělesa*

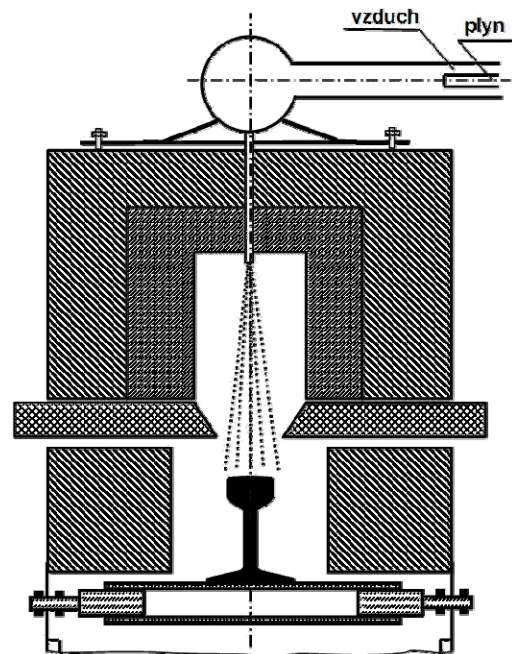


Obr. 4.23. Průběžné kalení hlav kolejnic

#### □ Rychlostní ohřev

Teoretické propočty i praktické zkušenosti naznačují, že při ohřevu tenkých polotovaru v peci vyhřáté nad teplotu 1400 °C, se uplatňuje až z 80 % sálání, rychlost ohřevu se díky tomu blíží indukčnímu ohřevu. To vše bez rizika vzniku vnitřních pnutí. Typické je to, že průřez komory pece je jen o něco větší než průřez polotovaru (viz. obr. 4.22.). Tímto způsobem se dosahuje podstatné zvýšení výkonnosti ohřívacích pecí za současného snížení opalu a téměř úplného omezení oduhlíčení. Rychlostně ohřívána ocel je jemnozrnnější, proto vykazuje lepší tvařitelnost.

Vzhledem k nebezpečí přehřátí a spálení oceli musí být provoz pece řízen spolehlivou automatikou včetně samočinného vypínání sázecího zařízení.



Obr. 4.22. Rychlostní ohřev kolejnic

#### □ Ohřev v ochranném prostředí

Používá se k ohřevu drobnějších polotovarů pro protlačování a zápustkové kování, a to v případě zpřísněných nároků na povrchovou jakost a rozměrovou přesnost. Ochranné prostředí bývá vesměs plynné (ochranné atmosféry) a kapalné (roztavené sklo a soli), nebo lze využít vakua.

## Σ Shrnutí

Nejpoužívanějším způsobem ohřevu je ohřev plynový. Je to jednoznačně dáno cenou. Ve speciálních případech najde uplatnění také ohřev elektrickým proudem, ať už přímý nebo nepřímý odporový ohřev nebo indukční ohřev. Výhodou je rychlost ohřevu, přesnější řízení ohřevu a možnost použití ochranné atmosféry. Tyto způsoby ohřevu však nelze použít vždy, např. přímý odporový ohřev je ideální pro dráty, ale pro polotovary s kratší délkou a větším průřezem prudce klesá jeho účinnost.



### Otázky 4.5.

- 4.5.1) Jaké znáte způsoby ohřevu. Uveďte jejich výhody a nevýhody?
- 4.5.2) Jaký je rozdíl mezi přímým a nepřímým odporovým ohřevem?
- 4.5.3) Z jakého materiálu se vyrábějí topné spirály? A proč vlastně mají podobu spirály?
- 4.5.4) Jaké polotovary se hodí pro přímý odporový ohřev? Jaká musí být účinnost ohřevu?
- 4.5.5) Objasněte princip indukčního ohřevu.
- 4.5.6) Popište principy rychlostního proudového ohřevu.
- 4.5.7) Kdy se používá ohřev v ochranném prostředí?

## 4.6. Ohřivací pece



**Čas ke studiu: 1 hodina**



### Pojmy k zapamatování

Pece: hlubinné, strkací, pokulovací, krokové, s rotační nístějí, komorové s vodorovnou nístějí, s výjezdnou nístějí,



### VÝKLAD

Rozumí se tím pece, v nichž se ohřívají výchozí polotovary před tvářením. I když je lze rozdělit podle mnoha kritérií, přidržíme se v dalším výkladu především jejich účelu, podle něhož se člení na ohřivací pece ve válcovnách, válcovnách trubek a kovárnách.

#### □ Ohřivací pece ve válcovnách

##### Hlubinné pece (soaking pit furnace)

Jsou určeny převážně pro ohřev ingotů, které se válcují na blokovně. Název charakterizuje jejich umístění pod úrovní podlahy. Skládají se z několika komor, v nichž se ingoty ustavují ve svislé poloze (viz. obr. 4.23.). Pece se vyhřívají na teplotu 1 350 až

1 400 °C. Na jednu pec se dvěma až čtyřmi komorami po 12 až 16 ingotech se dosahuje roční výkonnosti až 300 000 t (měrná spotřeba tepla cca 1 100 kJ.kg<sup>-1</sup>).

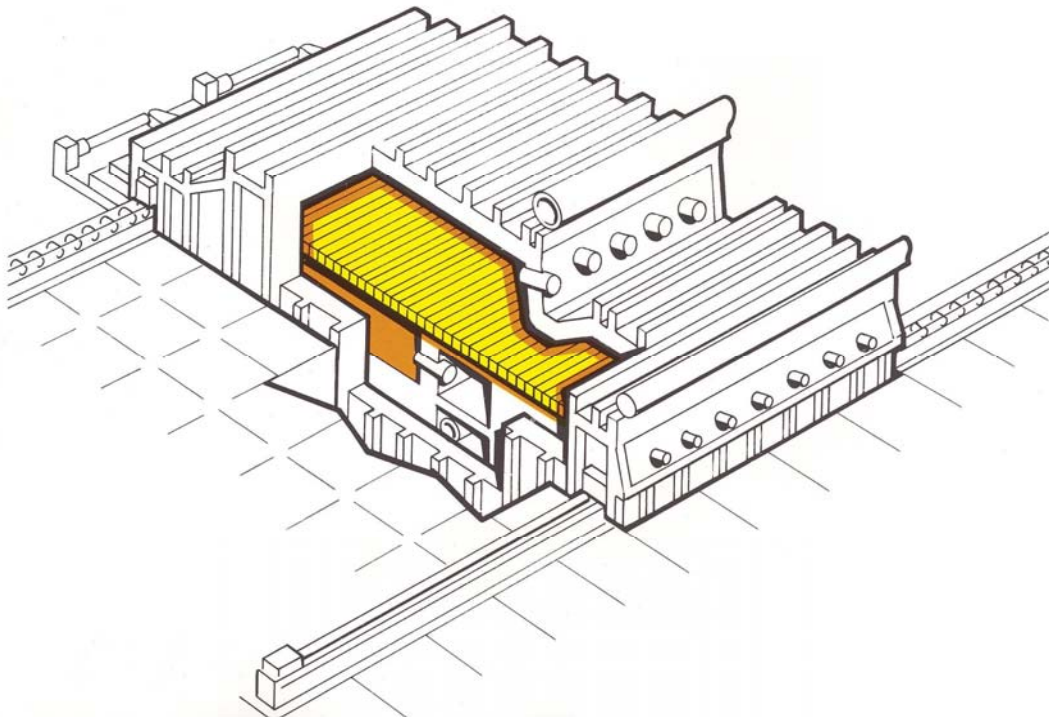
#### Strkací pece (pusher furnace)

Jedno z nejpoužívanějších technických řešení pro ohřev předvalků, bram a bloků. Výhledově budou nahrazovány krokovými pecemi. Jedná se o průběžnou pec (viz. **obr. 4.24.**), kdy pohyb polotovarů v peci je zajišťován tlačkami (viz. **obr. 4.25.**), které posouvají polotovary po lyžinách v peci. Nevýhodou takového systému je, že může docházet k poškození povrchu polotovarů, intenzita ohřevu se snižuje díky tomu, že se polotovary navzájem dotýkají, zvyšuje se množství opalu, díky tomu, že okuje díky nárazům polotovaru na sebe opadávají. Výhodou je pak nižší cena oproti pecím krokovým.

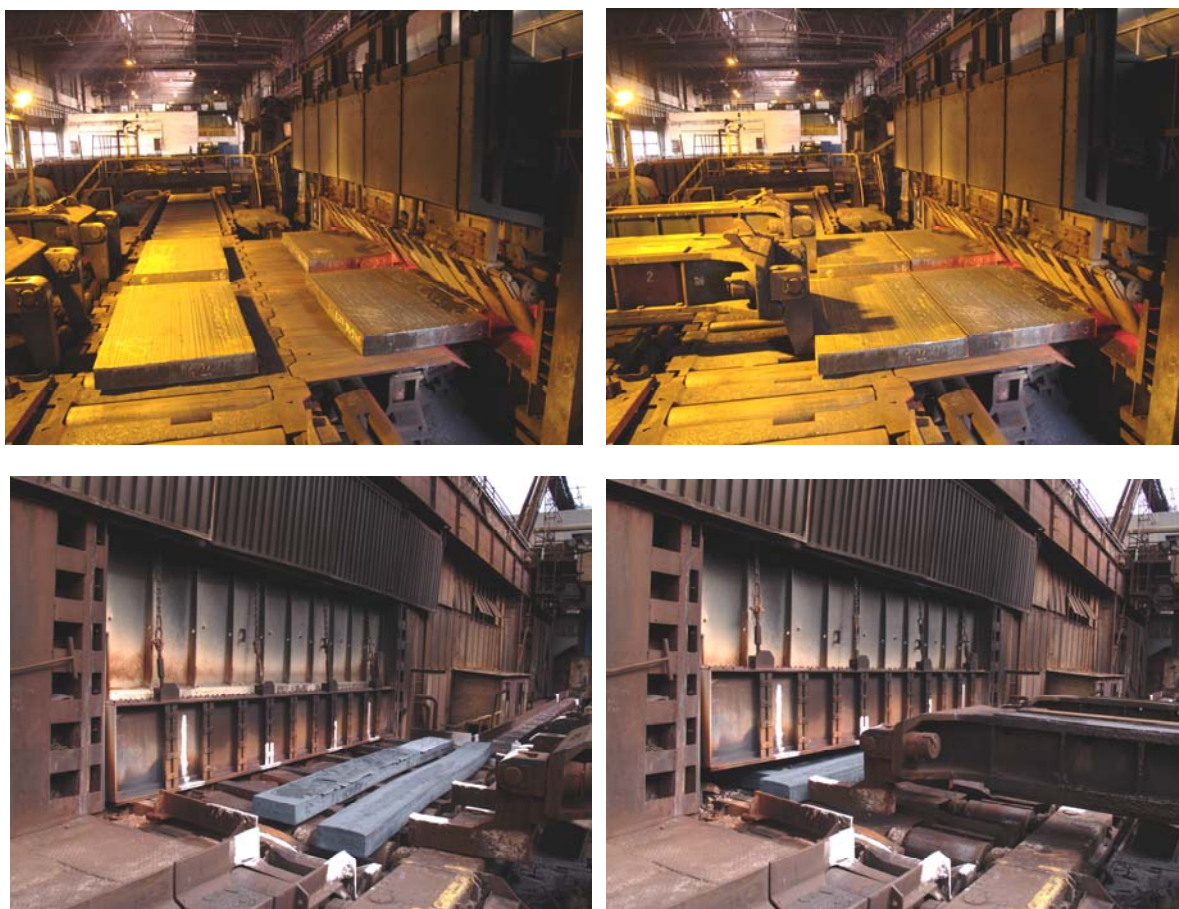
Pece bývají rozděleny do pásem s rozdílným teplotním režimem. Např. u 3 pásmové pece slouží první pásmo (předehřívací) k omezení tepelných pnutí v počáteční fázi ohřevu. V druhém pásmu (ohřívacím) se dosahuje vysokou ohřívací rychlostí HTT na povrchu polotovaru, ve třetím pásmu (vyrovnávacím) se zajišťuje minimálního teplotního gradientu mezi povrchem a středem. U těchto pecí se dosahuje měrné spotřeby tepla cca 1 540 kJ.kg<sup>-1</sup>.



**Obr. 4.23.** Hlubinná pec s manipulátorem



**Obr. 4.24.** Schéma strkací pece

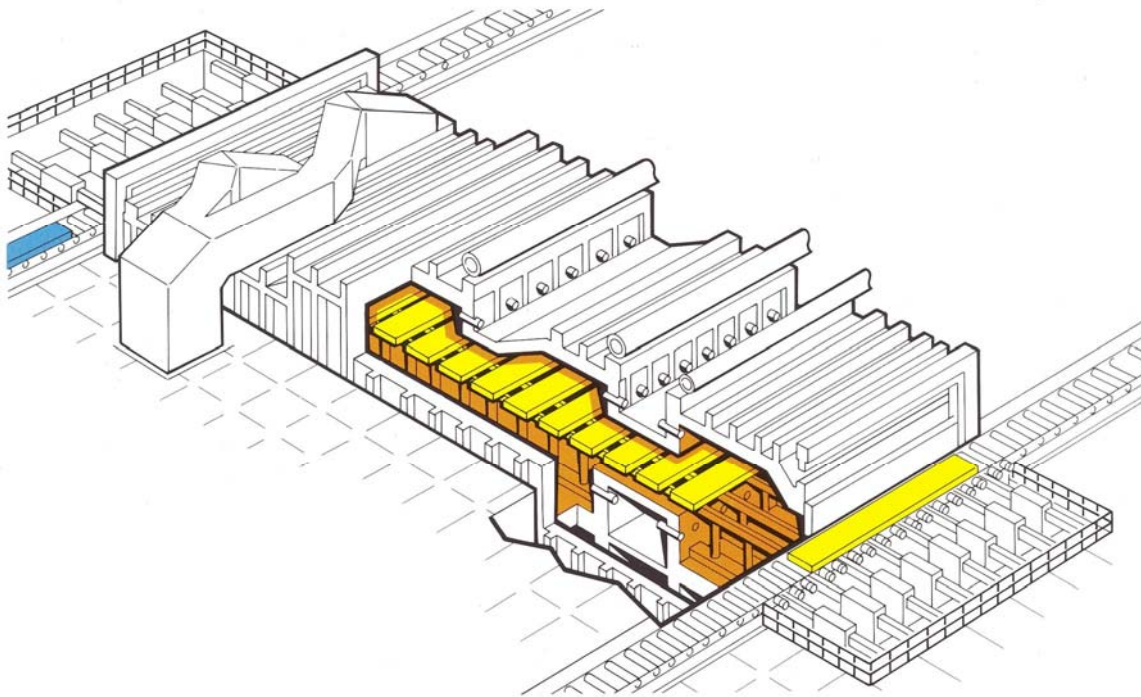


**Obr. 4.25.** Vstupní strana strkací pece; **nahoře:** válcovna tlustých plechů Evraz Vítkovice Steel Kvarto 3,5; **dole:** Válcovna těžkých profilů Evraz Vítkovice Steel; **vlevo:** příjezd bram po válečkovém dopravníku, **vpravo** natlačení bram tlakou.

#### **Krokové pece (walking beam furnace) (obr. 4.26.)**

Přes vysoké pořizovací náklady ve srovnání se strkacími pecemi o stejném výkonu se začínají čím dál tím častěji uplatňovat pro ohřev předvalků a bram. Oproti strkacím mají pecím mnoho výhod:

- z polotovarů se neuvolňují okuje a nezanášejí nístěj,
- snadné vyprázdnění pece při poruchách válcovací tratě,
- pružná regulace krokování (důležité při změně sortimentu),
- snížení opalu v důsledku zvýšení rychlosti ohřevu a nenarušování vrstvy okují,
- snížení poškození povrchu polotovarů,
- všestranný ohřev a z toho plynoucí zkrácení doby ohřevu.



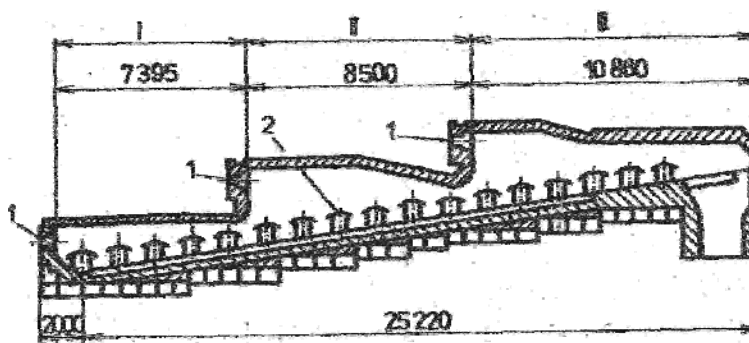
*Obr. 4.26. Schéma krokové pece*

#### □ Ohřivací pece ve válcovných trubek

Jejich zvláštnost spočívá v tom, že se v nich ohřívají polotovary kruhového průřezu, nebo duté předvalky.

#### **Pokulovací pece**

Zvláštní případ strkací pece s mírně nakloněnou nístějí, po níž se pokulují ohřívané polotovary (viz. **obr. 4.27.**). Velkou nevýhodou tohoto typu pecí, je potřeba velkého množství pracovníků, kteří dlouhými tyčemi pokulují polotovary po nístěji (viz. **obr. 4.28.**). Poslední pec tohoto typu byla odstavena v roce 2005 ve válcovně trub Vítkovice (dnes Třinecké železářny, a.s.).



*Obr. 4.27. Schéma pokulovací pece*

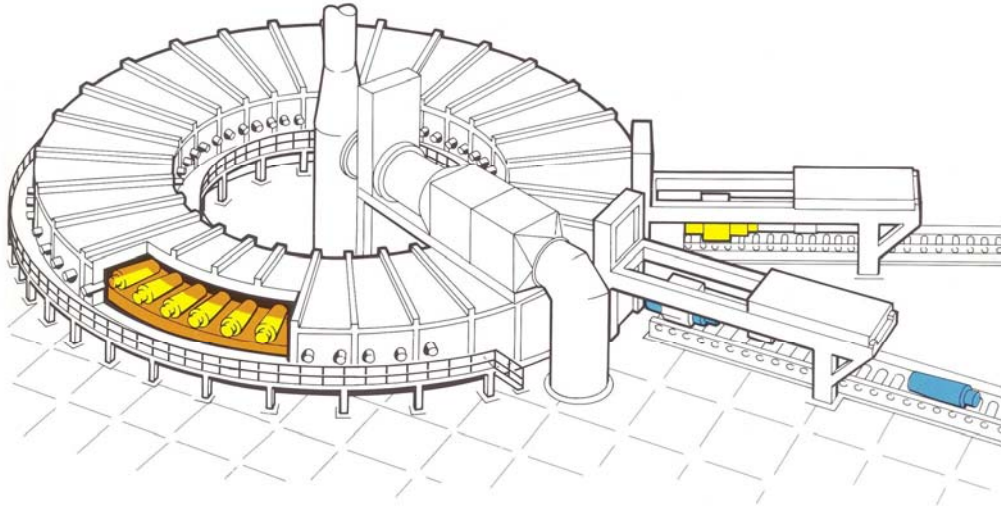


*Obr. 4.28. Práce pokulovačů*



**Pece s otočnou nístějí (Rotary hearth f.)**

Vyznačuje se plně automatizovaným provozem. Jedná se o průběžnou pec s prstencovým uspořádáním s několika pásmy ohřevu. Nístěj se pohybuje nepřetržitě nebo přetržitě s jednotlivými posuvy 2 až 8° (viz. **obr. 4.29.**).



**Obr. 4.29.** Schéma pece s otočnou nístějí

□ **Ohřívací pece v kovárnách**

Pokud se liší od pecí ve válcovnách, tak je to způsobeno mnohem širším hmotnostním rozmezím ohříváných polotovárů (od několika dekagramů do 250 t) a značně proměnlivým charakterem výroby (kusová, malosériová až hromadná výroba).

**Pece s vodorovnou nístějí (viz. obr. 4.30.).**

Ohřev drobných polotovárů pro volné a zápusťkové kování. Může mít více komor, z nichž se jedna používá pro předehřev polotovárů.

**Pece s výjezdnou nístějí (bogie-hearth f.) (viz. obr. 4.31.).**

Nezbytné vybavení těžkých kováren, kde slouží k ohřevu ingotů a předkovků. Nístěj má podobu masivního, žáruvzdorným zdivem chráněného vozu (proto též název vozová pec).



**Obr. 4.30.** Pec s vodorovnou nístějí



**Obr. 4.31.** Pec o vodorovnou nístějí - Vítkovice Heavy Machinery



Obr. 4.32. Pec s výjezdnou nístějí



Obr. 4.33. Pec s výjezdnou nístějí- Vítkovice Heavy Machinery

## Σ Shrnutí

Pece se dělí podle účelu. Ve válcovnách se používají hlubinné, strkací a krokové pece. Nejdražší ale nejšetnější k polotovarům jsou pece krokové (menší uvolňování okují, snadné vyprázdnění pece, pružná regulace, menší poškození povrchu a všestranný ohřev. Ve válcovnách trubek jsou zastaralé pokulovací pece nahrazovány peci s otočnou nístějí. V kovárnách pro lehčí výkovky používáme pece s vodorovnou nístějí a pro těžší výkovky pece s výjezdnou nístějí.



## Otázky 4.6.

- 4.6.1) Jak dělíme ohřívací pece podle účelu?
- 4.6.2) Jak přišly ke svému jménu a na co se používají hlubinné pece?
- 4.6.3) Jaké jsou výhody a nevýhody strkacích pecí?
- 4.6.4) Jak je zajištěn pohyb polotovarů ve strkací peci?
- 4.6.5) Které pece lze souhrnně označit jako průběžné?
- 4.6.6) Proč je vnitřní prostor průběžných pecí rozdělen do pásem?
- 4.6.7) Jaké jsou výhody a nevýhody krokových pecí?
- 4.6.8) Vysvětlete princip pokulovací pece.
- 4.6.9) Jaký typ pece nahradil ve válcovnách trubek pokulovací pec?
- 4.6.10) Jaké typy pecí se používají v kovárnách?



## Další zdroje

- [01] ŽÍDEK, M., DĚDEK, V., SOMMER, B., *Tváření oceli*. SNTL, Praha 1988, ISBN 04-408-88
- [02] RÉDR, M., PŘÍHODA, M., *Základy tepelné techniky*. SNTL, Praha 1991, ISBN 04-413-91
- [03] SOMMER, B., *Technologie tváření kovů*, skriptá VŠB-TU Ostrava, 2003, 2. vydání, ISBN 80-248-0263-5

## 5. VÁLCOVÁNÍ



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

- Vypočítat základní parametry pásma deformace.
- Stanovit podmínku záběru na hladkých válcích.
- Rozdělit válcovací tratě podle různých hledisek.
- Popsat a nakreslit schéma válcovací tratě.
- Orientovat se v moderních trendech při stavbě válcovacích tratí.



### Obsah kapitoly

5.1. Teorie podélného válcování.....	131
<input type="checkbox"/> Základní parametry pásma deformace.....	131
<input type="checkbox"/> Záběr kovu na hladkých válcích.....	133
<input type="checkbox"/> Základní oblasti pásma deformace.....	136
5.2. Rozdělení válcovacích tratí.....	138
<input type="checkbox"/> Rozdělení VT podle konstrukce válcovací stolice a počet válců ve stolici.....	138
<input type="checkbox"/> Rozdělení VT podle způsobu otáčení válců.....	142
<input type="checkbox"/> Rozdělení VT podle uspořádání stolic.....	142
<input type="checkbox"/> Rozdělení VT podle druhu vývalků a průměru pracovních válců.....	144

### 5.1. Teorie podélného válcování



**Čas ke studiu:** 2 hodiny



#### Pojmy k zapamatování

Pásma deformace, délka pásma deformace, záběrový úhel, střední šířka pásma deformace, třecí úhel, záběr, neutrální rovina, oblast přilnutí, pásmo předstihu, opožďování, budící se a odeznívající deformace a šíření.



#### VÝKLAD

Válcování je spojitý tvářecí pochod, při němž otáčející se válce vtahují polotovary do válcovací mezery a zde jej stlačují. Tyto děje neprobíhají v daném okamžiku v celém objemu tvářeného polotovaru, ale pouze v jeho vymezené části – v **pásmu deformace** (viz. **obr. 5.1.**). Pásma deformace je definována délkou a střední šířkou.

#### Základní parametry pásma deformace

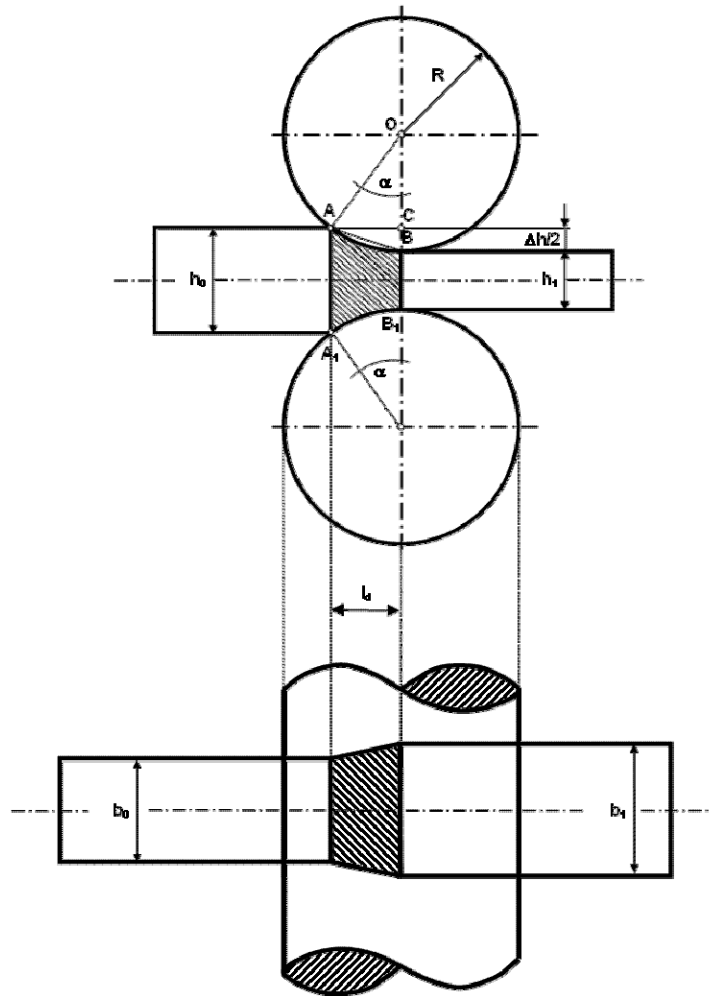
##### Délka pásma deformace

Hledáme délku odvěsny AC pravoúhlého trojúhelníka ACO (viz. **obr. 5.1.**). Kde:



## Odvození k zapamatování

$$\begin{aligned} \overline{OA} &= R; \quad \overline{OC} = R - \frac{\Delta h}{2} \\ l_d &= \overline{AC} = \sqrt{R^2 - \left(R - \frac{\Delta h}{2}\right)^2} = \sqrt{R^2 - R^2 + 2 \cdot R \cdot \frac{\Delta h}{2} - \frac{\Delta h^2}{4}} = \sqrt{R \cdot \Delta h - \frac{\Delta h^2}{4}} \approx \sqrt{R \cdot \Delta h} \end{aligned} \quad (5.1)$$



Obr. 5.1. Schéma podélného válcování

**Záběrový úhel  $\alpha$**

$$\cos \alpha = \frac{\overline{OC}}{\overline{AO}} = \frac{\frac{D}{2} - \frac{\Delta h}{2}}{\frac{D}{2}} = 1 - \frac{\Delta h}{D} \Rightarrow \alpha = \arccos\left(1 - \frac{\Delta h}{D}\right) \quad (5.2)$$

**Střední šířka pásma deformace**

$$b_s = \frac{b_1 + b_0}{2} \quad (5.3)$$



### Řešený příklad

Při válcování na blokovně o průměru válců  $D = 1\,100\text{ mm}$  se provedl průchod s absolutním úběrem  $\Delta h = 120\text{ mm}$ . Stanovte záběrový úhel a délku pásma deformace podle přibližného a přesného vzorce. Vyjádřete procentuální rozdíl. Rozhodněte, zda lze v technologické praxi počítat podle přibližného vzorce.

Pro výpočet úhlu záběru použijeme rovnici (5.2):

$$\alpha = \arccos\left(1 - \frac{\Delta h}{D}\right) = \arccos\left(1 - \frac{120}{1100}\right) = 27^{\circ}00'44''$$

Délku pásma deformace vypočteme z přibližného vzorce (5.1):

$$l_d = \sqrt{R \cdot \Delta h} = \sqrt{550 \cdot 120} = 256,9\text{ mm}$$

a nebo podle přesného vzorce (5.1):

$$l_d = \sqrt{R \cdot \Delta h - \frac{\Delta h^2}{4}} = \sqrt{550 \cdot 120 - \frac{120^2}{4}} = 249,8\text{ mm}$$

Procentuální chybu stanovíme pomocí trojčlenky, kdy:

$$100\% \dots\dots\dots 249,8\text{ mm}$$

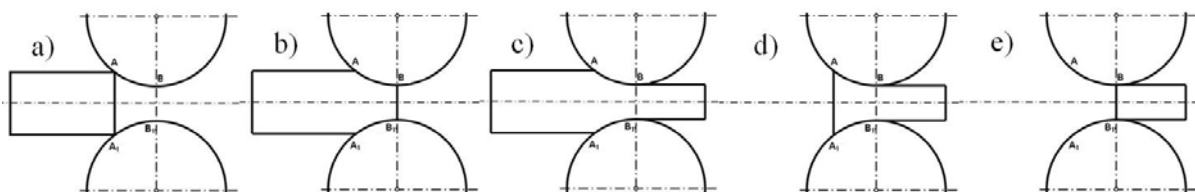
$$x\% \dots\dots\dots 256,9\text{ mm}$$

$$x = \frac{256,9}{249,8} \cdot 100 = 102,84\% \quad \text{chyba při použití přibližného vzorce v tomto případě}$$

představuje 2,84%.

### □ Záběr kovu na hladkých válciích

Proces válcování můžeme rozdělit do tří stádií (viz. **obr. 5.2.**). V prvním stádium začíná v okamžiku dotyku provalku s válci v bodech  $AA_1$  a končí při vstupu předního konce provalku do roviny výstupu  $BB_1$ . Ve druhém stádium se parametry pásma deformace nemění, hovoříme o ustáleném procesu válcování. Třetí stádium začíná vstupem zadního konce provalku do roviny vstupu  $AA_1$  a končí výstupem provalku z válců.



**Obr. 5.2.** Stádia podélného válcování: 1. stádium a) až b), 2. stádium c), 3. stádium d) až e)



**CD-ROM** 34 Tři stádia válcování

Podmínkou pro uskutečnění válcovacího procesu je uchopení kovu válci. Při dotyku provalku s válci budou na stykových plochách působit normálové síly  $N$  a v jejich důsledku tečné třecí síly  $T$  (viz. obr. 5.3.).



### Vzorec k zapamatování

$$T = N \cdot \mu \quad (5.4)$$

Třecí úhel  $\beta$ :

$$\operatorname{tg} \beta = \mu \quad (5.5)$$

$x$ -ová složka normálové síly  $N_x$ :

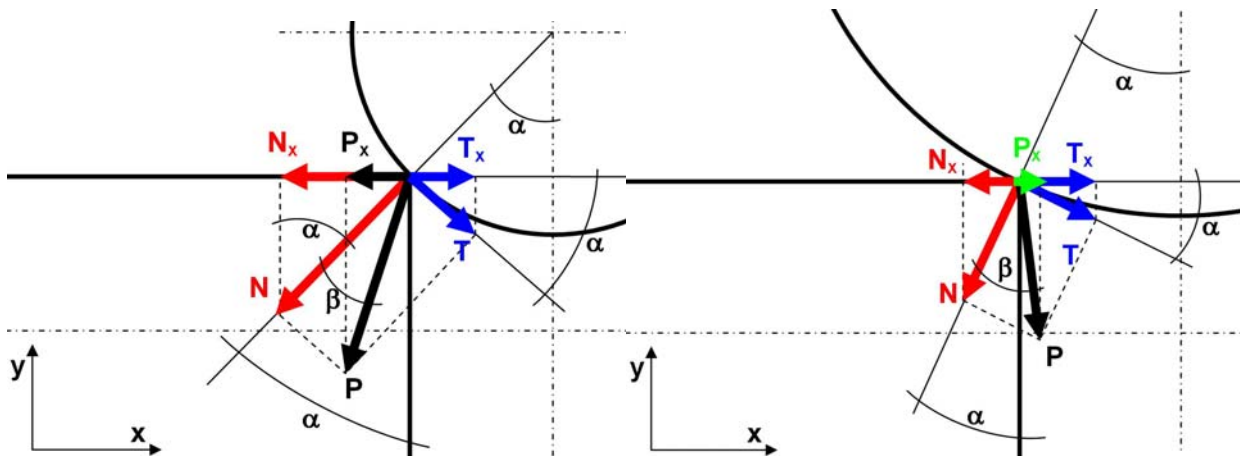
$$N_x = N \cdot \sin \alpha$$

$x$ -ová složka tečné síly  $T_x$ :

$$T_x = T \cdot \cos \alpha$$

Můžou nastat 3 případy:

- záběr nenastane  $N_x > T_x$ ;  $\alpha > \beta$  (viz. obr. 5.4. vlevo)
- záběr nenastane  $N_x = T_x$ ;  $\alpha = \beta$  (rovnováha)
- záběr nastane  $N_x < T_x$ ;  $\alpha < \beta$  (viz. obr. 5.4. vpravo)



Obr.5.4. Rozklad sil, při válcování na hladkých válcích, vlevo záběr nenastane, vpravo záběr nastane



CD-ROM 35 Záběr při válcování



### Řešený příklad

Na stolici duo o průměru válců  $D = 80 \text{ mm}$  válcujeme olověné vzorky o rozměrech  $h_0 = 10 \text{ mm}$ ,  $b_0 = 60 \text{ mm}$  a  $l_0 = 100 \text{ mm}$ . Z podmínky záběru stanovte výšku provalku po prvním průchodu, válcujeme-li s maximálním úhlem záběru při těchto podmínkách:

- suché válce ( $\mu = 0,289$ )
- válce natřené olejem ( $\mu = 0,139$ )
- válce natřené mýdlem ( $\mu = 0,106$ )

Z podmínky záběru (5.5) stanovíme maximální záběrový úhel:

$$\alpha_{\max} = \beta = \arctg \mu$$

$$\text{a) } \alpha_{\max} = 16^{\circ}07' \quad \text{b) } \alpha_{\max} = 7^{\circ}55' \quad \text{c) } \alpha_{\max} = 6^{\circ}03'$$

Z využitím rovnice (5.2) vypočteme maximální možný absolutní úběr:

$$\alpha_{\max} = \arccos\left(1 - \frac{\Delta h_{\max}}{D}\right) \Rightarrow \Delta h_{\max} = D \cdot (1 - \cos \alpha_{\max}) = 80 \cdot (1 - \cos \alpha_{\max})$$

$$\text{a) } \Delta h_{\max} = 3,14 \text{ mm} \quad \text{b) } \Delta h_{\max} = 0,76 \text{ mm} \quad \text{c) } \Delta h_{\max} = 0,44 \text{ mm}$$

Minimální výšky provalku po prvním průchodu tedy budou:

$$h_{1,\min} = h_0 - \Delta h_{\max}$$

$$\text{a) } h_{1,\min} = 6,86 \text{ mm} \quad \text{b) } h_{1,\min} = 9,24 \text{ mm} \quad \text{c) } h_{1,\min} = 9,56 \text{ mm}$$



### Řešený příklad

Vypočtete součinitel tření při válcování na blokavně se zdrsněnými válci a průměru  $l = 050 \text{ mm}$ , je-li maximální možný absolutní úběr  $150 \text{ mm}$ .

$$\alpha_{\max} = \arccos\left(1 - \frac{\Delta h_{\max}}{D}\right) = \arccos\left(1 - \frac{150}{1050}\right) = 31^{\circ}$$

Z podmínky záběru (5.5) stanovíme součinitel tření:

$$\mu = \tg \alpha_{\max} = 0,6$$



**Experimentální stanovení maximálního možného absolutního úběru, je obvykle nejjednodušší možností jak zjistit součinitel tření při válcování.**



### Co znamená myslet jako inženýr.

Lékař, právník a inženýr hrají golf. Hraj jim jde pěkně od ruky, ale hned na druhé jamce narazí na skupinku hráčů, kteří se ne a ne trefit. Když už to trvá neúnosně dlouho, jdou si stěžovat správci hřiště. Ten jim to vysvětlí „Víte pánové, ti hráči to jsou dobrovolní hasiči z našeho města, když loni hořel náš golfový klub tak všichni přišli při jeho záchraně o zrak, jako výraz díků je teď necháváme hrát na našem hřišti“. Lékař: „To je mi líto, dejte jim, prosím, mou vizitku, ať se za mnou staví do nemocnice, uvidíme co se s jejich zrakem dá dělat“. Právník: „Dejte jim i mou vizitku, ať mě navštíví, uvidíme jestli se pro ně nedomůžeme nějakého odškodnění“. Inženýr: „A proč nehrají v noci?“

### □ Základní oblasti pásma deformace

V ustáleném stadiu válcování se plně uplatňuje zákon kontinuity, podle něhož:

$$S_0 \cdot v_0 = S_1 \cdot v_1 \quad (5.6)$$

Kde  $S_0$  a  $S_1$  jsou plošné obsahy příčných průřezů provalku vedené pásmem deformace ve vstupní a výstupní rovině.

$v_0$  a  $v_1$  jsou střední vodorovné rychlosti provalku ve vstupní a výstupní rovině

Vzhledem k tomu, že průřez vývalku se zmenšuje, rychlost vývalku se musí zvětšovat z toho vyplývá, že i při konstantní rychlosti válců  $v_v$  se bude měnit vzájemný vztah mezi rychlostí provalku a rychlostí válců (viz. obr. 5.5.). Z obvodové rychlosti válců je nutno v kterémkoliv místě záběrového oblouku vyčlenit její vodorovnou složku:

$$v_{v,x} = v_v \cdot \cos \varphi \quad (5.7)$$

Svislá rovina, kde se kvalitativně mění vzájemný vztah rychlostí  $v_p$  a  $v_{v,x}$ , jakož i směr třecí síly, se nazývá **neutrální rovina** (viz. obr. 5.6.).

**Neutrální rovina** - její poloha je určena neutrálním úhlem  $\gamma$ . Jestliže vodorovnou rychlost provalku v neutrální rovině označíme  $v_{p,\gamma}$ , pak:

$$v_{p,\gamma} = v_v \cdot \cos \gamma \quad (5.8)$$

Při válcování za tepla dochází k vyrovnání rychlostí v širším pásmu okolo neutrální roviny - v **oblasti přilnutí**.

Na počátku záběru je střední vodorovná rychlost provalku  $v_{p,x}$  menší než vodorovný průmět obvodové rychlosti válců  $v_{v,x}$

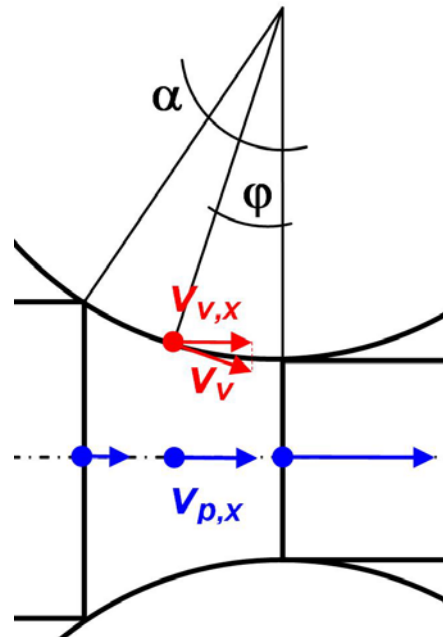
$$v_{p,x} < v_v \cdot \cos \varphi \quad (5.9)$$

Takže provalek se pohybuje relativně proti směru válcování, kdežto vodorovná složka třecí síly působí ve směru válcování. Tato část pásma deformace se nazývá oblast **opoždování**.

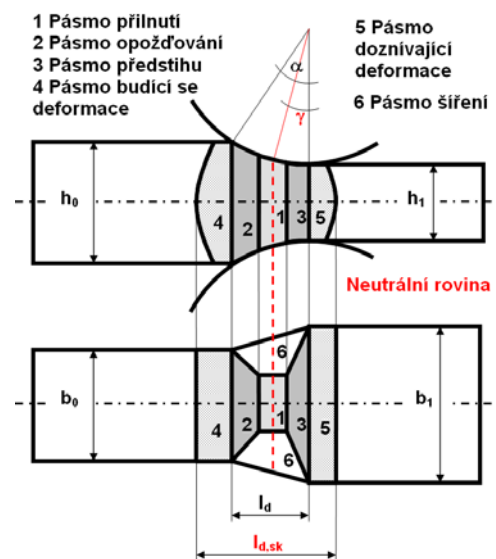
Pro výstupní rovinu bude platit:

$$v_{p,x} > v_v \cdot \cos \varphi \quad (5.10)$$

Takže provalek se pohybuje relativně ve směru válcování, kdežto vodorovná složka třecí síly působí proti směru válcování. Tato část pásma deformace se nazývá oblast **předstihu**.



Obr. 5.5. Rychlost provalku a válců



Obr. 5.6. Oblasti pásma deformace



Oblasti **budící** se a **doznívající deformace** postihují nesporný vliv tuhých konců na deformační děje v pásmu deformace, čímž prodlužují jeho délku za jeho geometrické hranice, hovoříme pak o skutečné délce pásma deformace  $l_{d,sk}$ .

V oblastech **šíření** se mění stav napjatosti z N9 na N7, přičemž velikost tahového napětí závisí na tření a na geometrických poměrech pásma deformace.



## CD-ROM 36 Pásma deformace

### Σ Shrnutí

Při válcování neprobíhá deformace najednou v celém objemu vývalku, ale pouze ve vymezené části – v pásmu deformace. Základní charakteristiky pásma deformace jsou jeho šířka a délka a také záběrový úhel. Podmínkou záběru kovu válcí je, že výslednice sil působících na provalek směřuje do válců (třecí úhel je větší než záběrový úhel). Díky měnící se rychlosti provalku v pásmu deformace podle rovnice kontinuity a po srovnání s vodorovnou složkou obvodové rychlosti válců se nám pásmo deformace dělí na: pásmo opožďování (provalek je pomalejší než válce), pásmo předstihu (provalek je rychlejší než válce). Mezi nimi leží neutrální rovina (nebo také pásmo přilnutí). Na bocích provalku pak leží pásmo šíření, ve kterém je smíšený stav napjatosti (mohou zde proto vznikat trhliny).



### Otázky 5.1.

- 5.1.1) Co je to pásmo deformace při válcování?
- 5.1.2) Jakých hodnot může nabývat součinitel tření?
- 5.1.3) Pokud nedojde k záběru při válcování, jaké technologické parametry musíme změnit? Pokuste se o úplný výčet, seřazený podle obtížnosti uskutečnění.
- 5.1.4) Normálová síla je kolmá k povrchu válce. Jak stanovíte kolmici ke kružnici?
- 5.1.5) Co je to neutrální rovina?
- 5.1.6) Jaký stav napjatosti panuje v oblasti šíření při válcování?
- 5.1.7) V jakém okamžiku bude vodorovná složka rychlosti válců maximální?



### Úlohy k řešení 5.1.

- 5.1.1) Nakreslete pásmo deformace při válcování a vyznačte všechny důležité parametry.
- 5.1.2) Brama o rozměrech 140x900x2280 mm se válcuje na duo o průměru válců 1 025 mm na plech o rozměrech 16x1150x12500 mm. Stanovte poměry  $l_d/h_s$  a  $h/b$  v prvním a posledním průchodu válcuje-li se s úběry  $\Delta h_1 = 20 \text{ mm}$  a  $\Delta h_n = 1,5 \text{ mm}$ .
- 5.1.3) Brama o rozměrech 100 x 800 x 2280 mm se spojitě válcuje na 8 stolicích duo o průměru válců 1 025 mm na pás o průřezu 9 x 800 mm. Stanovte poměry  $l_d/h_s$  a  $h/b$  v prvním, druhém a posledním průchodu, válcuje-li se s deformací  $e_{h1} = e_{h2} = e_{h8} = -0,154$ .
- 5.1.4) Na stolicí duo o poloměru válců  $R = 80 \text{ mm}$  válcujeme olověné vzorky o rozměrech  $h_0 = 10 \text{ mm}$ ,  $b_0 = 60 \text{ mm}$ ,  $l_0 = 100 \text{ mm}$ . Z podmínky záběru stanovte výšku provalku po prvním průchodu, válcujeme-li s maximálním úhlem záběru a  $\mu = 0,09$ .

## 5.2. Rozdělení válcovacích tratí



**Čas ke studiu: 4 hodiny**



### Pojmy k zapamatování

Válcovací trať, válcovací stolice, spojitá výrobní linka, pracovní a opěrný válec, jednosměrné a vratné válcování, duo, trio, kvarto, sexto, dvanácti a dvaceti válcová stolice, universální stolice



### VÝKLAD

Hlavní výrobní jednotkou válcovny je válcovací trať (VT), která zahrnuje ucelený vzájemně provázaný soubor strojů a strojních součástí, dopravních a manipulačních mechanismů, pecí a ohřívacích systémů, zařízení pro chladnutí, rovnání a povrchovou úpravu vývalků.

#### Rozdělení válcovacích tratí podle:

- druhu vývalku a průměr pracovních válců,
- konstrukce válcovací stolice a počet válců ve stolici,
- způsob otáčení válců,
- uspořádání válcovacích stolic.

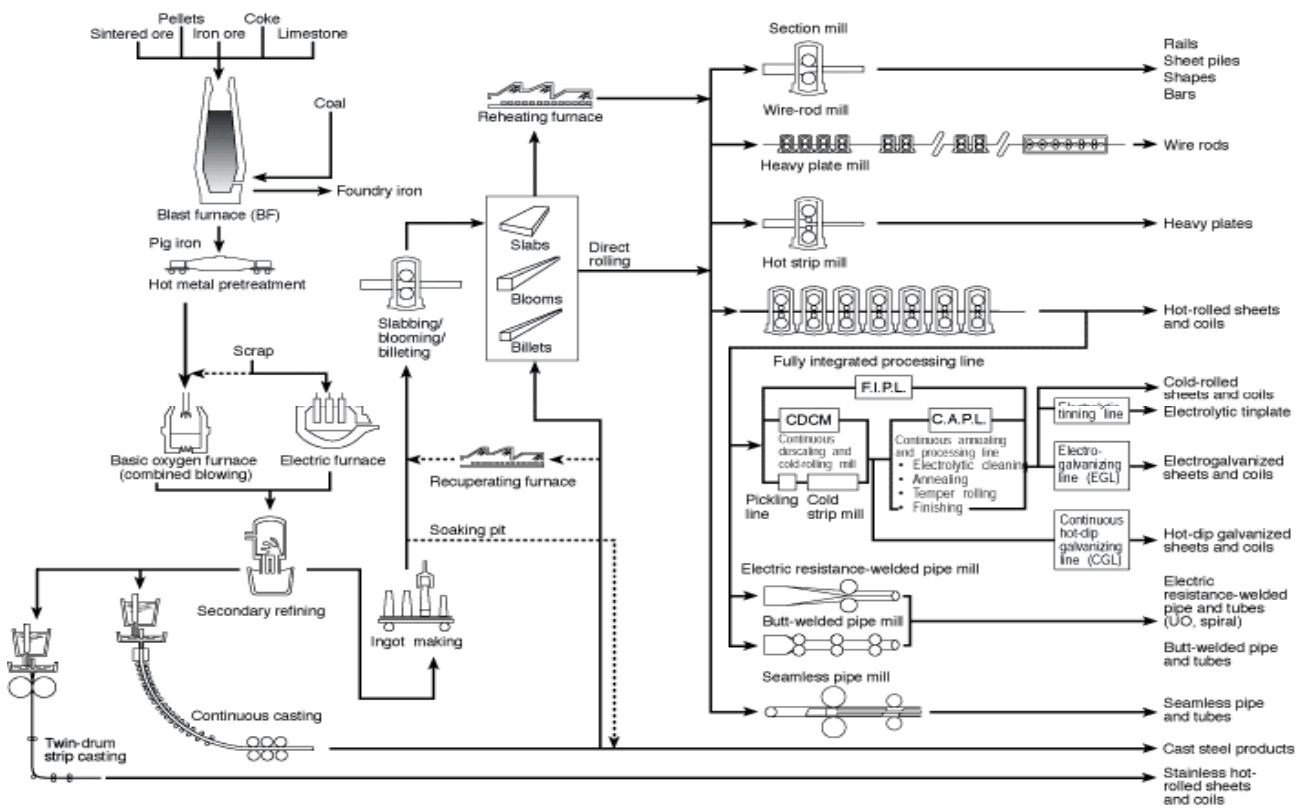
Na **obr. 5.7.** je uvedeno výrobní schéma japonského hutního gigantu Nippon Steel. Je zde zachycen celý výrobní tok od výroby surového železa až po válcovny. Válcovny jsou rozděleny podle druhu vývalku. Za povšimnutí stojí také to, že na válcovnu pásů za tepla navazují **spojité výrobní linky** na válcování za studena, povrchové úpravy a výrobu svařovaných trubek. Tento obrázek vám spolu se slovníčkem, který je přiložen na CD pomůže rozšířit slovní zásobu o důležité odborné termíny.

#### □ Rozdělení VT podle konstrukce válcovací stolice a počet válců ve stolici

Konstrukce válcovací stolice se volí v závislosti na počtu pracovních i opěrných válců. Válcovací stolice mohou mít válce uloženy vodorovně, svisle a šikmo.

#### Dvouválcové stolice — dua

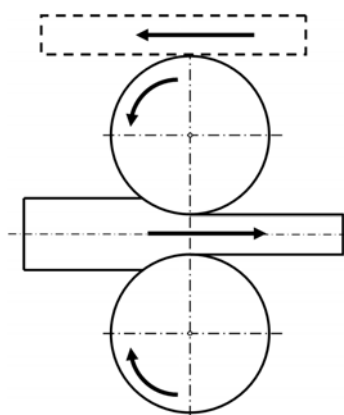
Válcovací stolice tohoto druhu jsou nejrozšířenější. Mají dva vodorovně uložené válce. Válcovacím motorem jsou hnány buď oba válce (horní i spodní), nebo pouze jeden válec (obvykle spodní a horní válec se otáčí vlivem tření o válcovaný provalek). Podle směru otáčení válců jsou stolice **jednosměrné**, nebo **vratné** — reverzní.



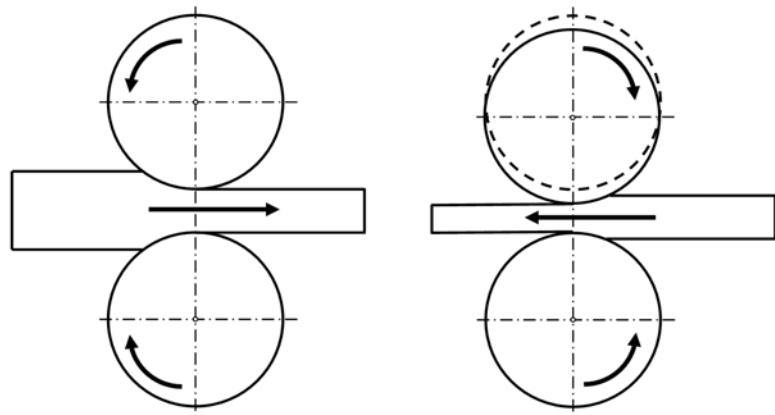
**Obr.5.7.** Schéma výroby v Nippon Steel (Japonsko)  
(Slovníček pojmu najdete na konci učebního textu)

U jednosměrně stolice duo (viz. **obr. 5.8.**) mají oba válce stále stejný směr otáčení. Provalek vchází mezi válce vždy z přední strany stolice a po každém průchodu se musí vracet zpět na přední stranu.

U vratné stolice duo se směr otáčení válců mění po každém průchodu provalku mezi válci (viz. **obr. 5.9.**). Je velmi rozšířená a používá se pro válcování ingotů na předvalky, pro válcování těžkých profilů a tlustých plechů.



**Obr. 5.8.** Jednosměrné duo

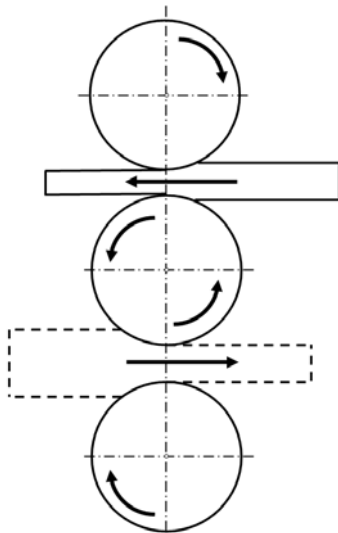


**Obr. 5.9.** Schéma válcování na vratném duu

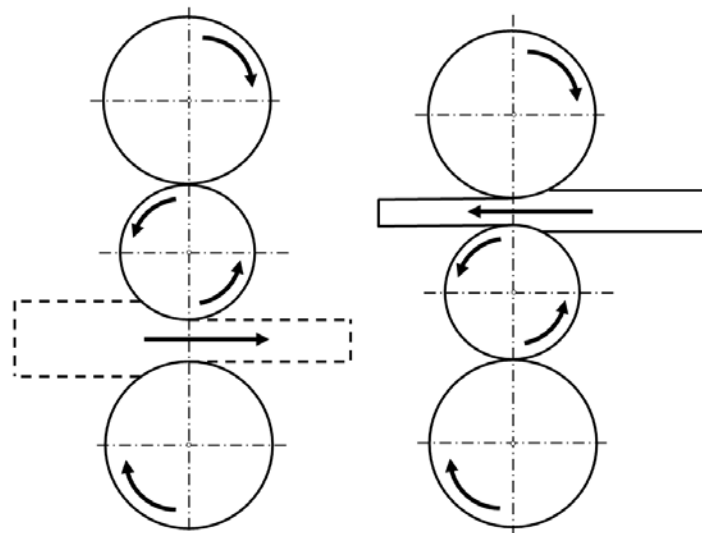
### Tříválcové stolice — Tria

Jsou to stolice se třemi vodorovně uloženými válci. Válce v těchto stolicích se otáčejí **stále jedním směrem** (viz. **obr. 5.10.**). Jsou značně rozšířeny, protože v těchto stolicích lze válcovat s větším počtem kalibrů než u stolic duo. Provalek se válcuje v jednom směru mezi spodním a středním válcem a v opačném směru mezi středním a horním válcem. U tria je poháněn přímo pevně uložený střední válec. Spodní a horní válec jsou poháněny převodem a zpravidla stavitelné. Slouží pro válcování tvarových vývalků a sochorů kalibrovanými válci.

Pro válcování plechu se používá Lauthova tria (viz. **obr. 5.11.**). Tato stolice se liší od normálních stolic trio tím, že její **střední válec má menší průměr než válec horní a spodní**. Střední válec je vlečen a otáčí se pouze třením o válcovaný provalek a válec střídavě horní nebo spodní. Výhoda menšího průměru středního válce je v podpoře prodlužování provalku, ale nevýhodou zase je rychlejší opotřebení středního válce.



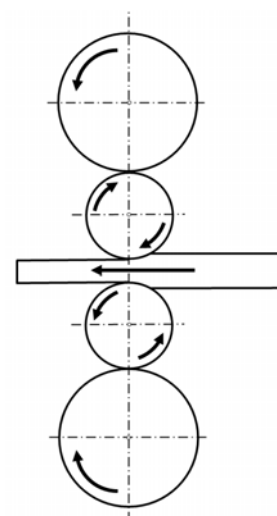
Obr. 5.10. Trio



Obr. 5.11. Lauthovo trio

### Čtyřválcové stolice — Kvarta

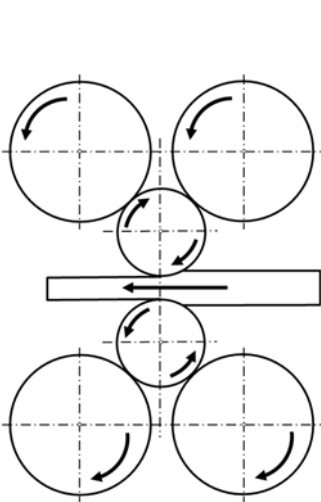
Pracovní stolice má čtyři vodorovné válce uložené v jedné svislé rovině (viz. **obr. 5.12.**). Dva válce (vnitřní) jsou pracovní a dva válce (vnější) jsou opěrné. Význam opěrných válců je v možnosti použít vyšších válcovacích sil a snížit průhyb pracovních válců. Malé průměry pracovních válců dovolují kromě většího prodloužení provalku i možnost dosáhnout příznivějších rozměrových odchylek tloušťky. Pracovní stolice válce kvarto jsou hnané, opěrné válce vlečené. Stolice kvarto se používá pro válcování plechu, pásové oceli za tepla i za studena. Používá se jako jednosměrná nebo vratná válcovací trať.



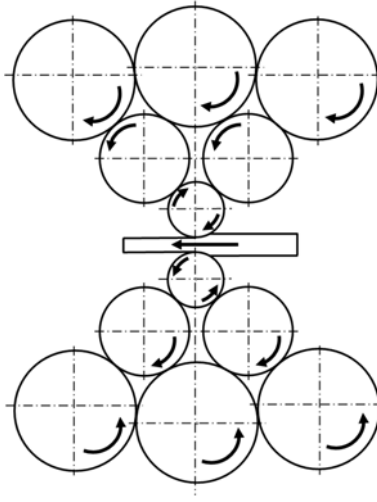
Obr. 5.12. Kvarto

### Mnohoválcové stolice

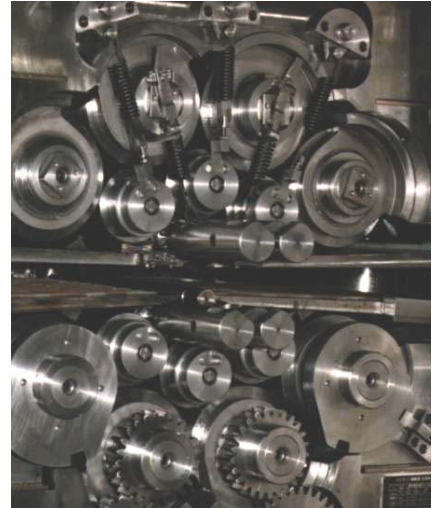
Staví se s šesti (viz. **obr. 5.13.**), sedmi, dvanácti (viz. **obr. 5.14.**) a dvaceti (viz. **obr. 5.15.**) vodorovně uloženými válci. U všech uvedených stolic jsou vždy jen dva válce pracovní, ostatní opěrné. Poháněny bývají zpravidla pracovní válce a opěrné jsou vlečeny. Mnohoválcové stolice se používají pro válcování velmi tenkých plechů, pásů a fólií.



**Obr. 5.13.** Šesti válcová stolice (sexta)



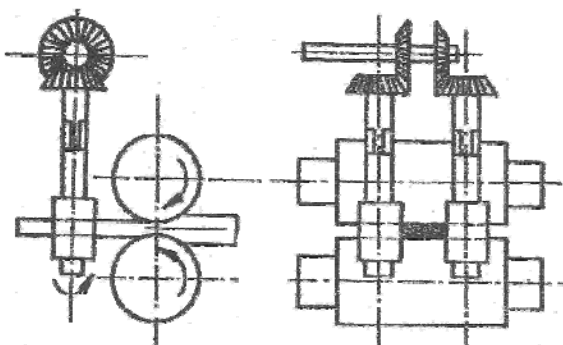
**Obr. 5.14.** Dvanácti válcová stolice



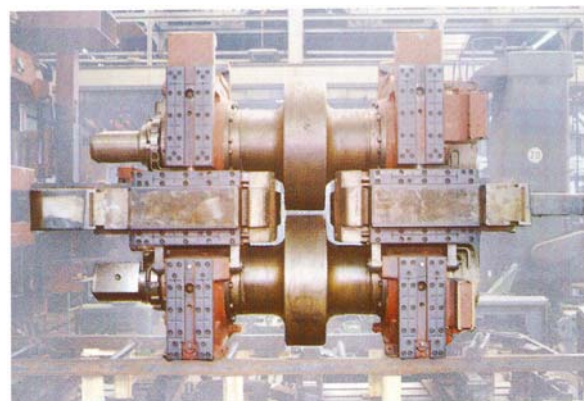
**Obr. 5.15.** Dvaceti válcová stolice (Kobelco)

### Univerzální stolice

Tyto stolice mají kromě vodorovně uložených válců ještě **válce uložené svisle**, které jsou poháněny převodem kuželových ozubených kol (viz. **obr. 5.16.**). Svislé válce přechují provalek z bočních stran, čímž se vytvoří boční stěny, přesné úhly a ostré hrany. Bývají uloženy z přední strany stolice, méně již ze zadní strany, ale také i z obou stran. Univerzální stolice se používají pro válcování brám, široké a tvarové oceli. Pro válcování širokopřírubových nosníků jsou svislé válce uloženy ve stejné rovině s osami válců uložených vodorovně. Poháněné jsou pouze válce vodorovně (viz. **obr. 5.17.**).

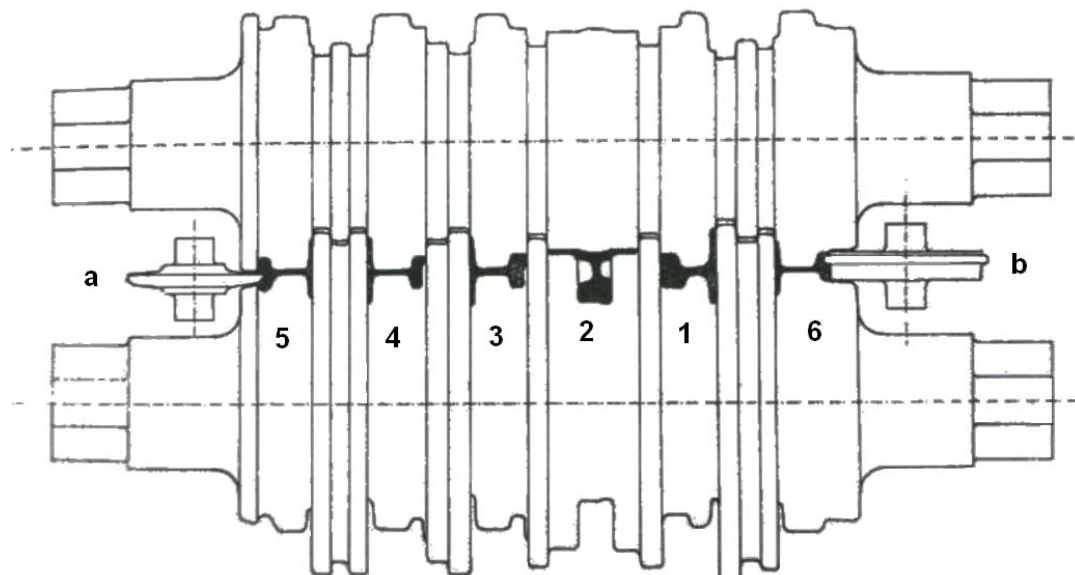


**Obr. 5.16.** Univerzální stolice s jedním párem svislých válců



**Obr. 5.17.** Univerzální stolice pro válcování širokopřírubových nosníků

K univerzálním válcovacím stolicím můžeme počítat i hotovní stolice pro válcování žlábkových kolejnic (viz. **obr. 5.18.**). Žlábek se vytváří pomocnými válečky dvěma posledními průchody provalku. Svislé válečky (**a**, **b**) nejsou hnány a jsou stavitelné.



*Obr. 5.18. Konfigurace válců pro válcování žlábkových (tramvajových) kolejnic*

### Stolice speciální konstrukce

Mají šikmo uložené válce a používají se při výrobě bezešvých trubek

#### □ Rozdělení VT podle způsobu otáčení válců

- **Jednosměrné** – válce se stále otáčejí jedním směrem, což znamená jednodušší pohon s uplatněním setrvačnicku (střední a jemná tvarová ocel, dráty, pásy).
- **Vratné** – (reverzní), směr otáčení válců se mění po každém průchodu, což klade zvýšené požadavky na pohon (plechy, střední až těžké tvarové vývalky).

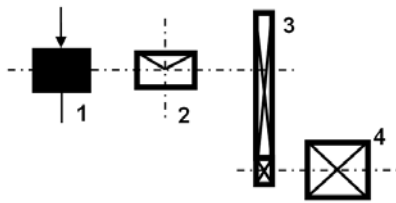
#### □ Rozdělení VT podle uspořádání stolic

##### VT s jednou stolicí

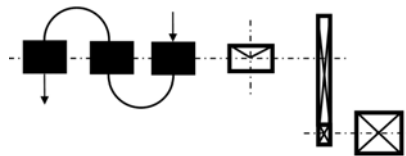
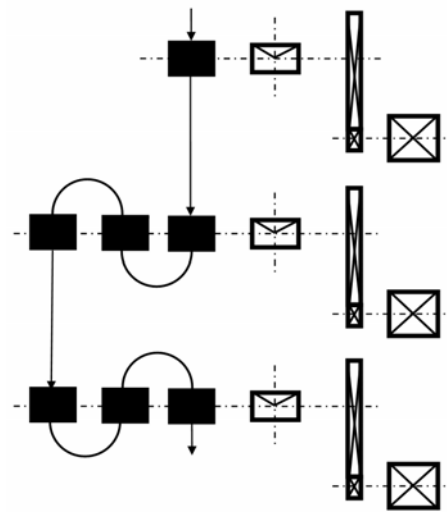
Válcovací trať se skládá z pracovní stolice (1), stolice ozubených válců (2), reduktoru (3) a motoru (4) (viz. **obr. 5.19.**). K traťím tohoto druhu patří trať předvalkové (blokova, slabing), trať duo, trio i kvarto pro válcování plechu, univerzální trať atd.

##### VT s pracovními stolicemi v ose

Pracovní stolice těchto trať jsou uspořádány v jednom (viz. **obr. 5.20.**), dvou, třech (viz. **obr. 5.21.**) i více pořadích, přičemž každé pořadí má samostatný pohon nebo v některých případech mají i dvě pořadí společný pohon od jednoho motoru. Tyto trať se používají pro válcování drátu, tenkých plechů a také pro válcování tvarových vývalků.



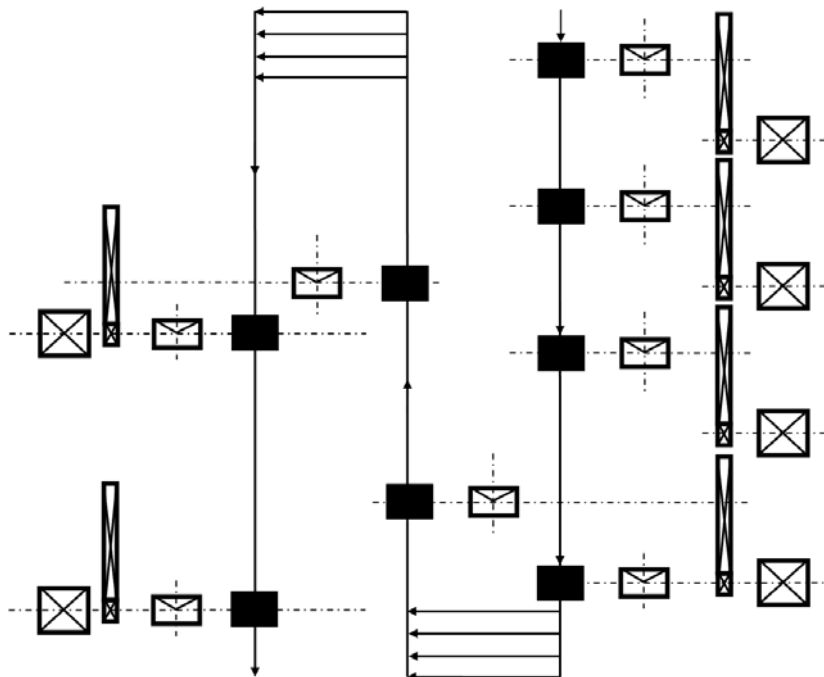
Obr. 5.19. VT s jednou stolicí



Obr. 5.20. Se stolicemi v ose (v jednom pořadí) Obr. 5.21. Se stolicemi v ose (ve třech pořadích)

### VT průběžné

U těchto tratí prochází provalek válcovací stolicí pouze jednou s volným výběhem před vstupem do další stolic. Podle toho musí být postaveno tolik jednosměrných válcovacích stolic, kolik je třeba průchodů k vyválnování hotového vývalku. Pro zkrácení délky válcovací tratě se pracovní stolice stavějí v několika **paralelních** (přesazených) řadách, jak je vidět u přesazené tratě typu **cross-country** (viz. obr. 5.22.) nebo v **šachovnicového provedení**. Tyto tratě se pro svou vysokou výrobnost používají k válcování tvarových vývalků



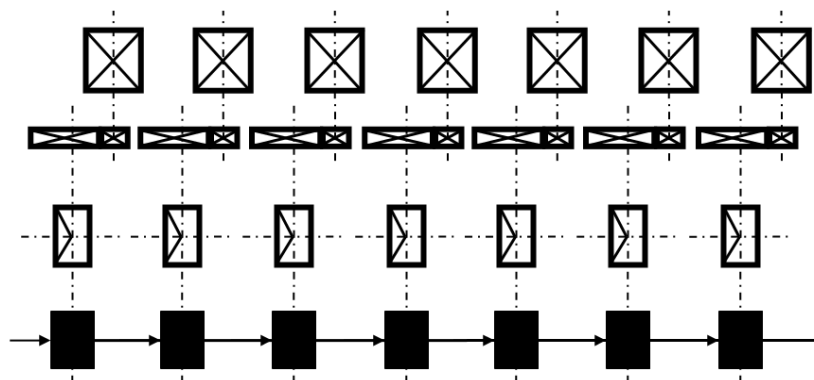
Obr. 5.22. VT přesazená (cross-country)

### VT polospojité

Tyto tratě se skládají ze dvou skupin stolic: ze spojitěho pořadí - I a II a průběžného uspořádání - III (mnohdy také uspořádání pracovních stolic v ose - vedle sebe). V první skupině (I a II) se provalek válcuje spojitě a současně se nachází v několika stolicích. Ve druhé skupině stolic (III) probíhá válcování ve volných smyčkách. Polospojité tratě se používají pro válcování jemných tvarových vývalků a drátu.

### VT spojitě

Jsou vyvrcholením vývoje válcovacích tratí. Pracovní stolice těchto tratí jsou uspořádány **za sebou** (viz. **obr. 5.23.**). Vzdálenost mezi stolicemi je menší než délka válcovaného provalku, takže se provalek současně válcuje v několika stolicích. Spojité válcovací tratě mohou být hnány buď společným motorem převody ozubených kuželových kol, nebo má každá stolice vlastní motor. Spojité válcovací tratě se používají pro válcování sochorů, plechů, pásů a také pro válcování středních a jemných tvarových vývalků. Použití automatizačních prvků během válcovacího procesu umožňuje velkou výkonnost. Na těchto tratích se dosahuje vysokých válcovacích rychlostí (až  $50 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ).



Obr. 5.23. VT spojitě

#### □ Rozdělení VT podle druhu vývalků a průměru pracovních válců

##### VT pro válcování předvalků a tvarových vývalků

- Bloková (blooming mill) a slabiny – těžké předvalkové tratě,  $D = 1\ 000$  až  $1\ 350$  mm, na těchto tratích se válcují z ingotů nebo PLP předvalky (bloky, bramy, tvarové předvalky).
- Sochorové tratě,  $D = 450$  až  $800$  mm, vývalky jsou určeny pro další zpracování na středních a jemných tratích.
- Těžké (vratné provedení,  $D = 700$  až  $950$  mm, sortiment: kolejnice (**obr. 5.24.**), nosníky, pražce, štetovnice atd.).
- Hrubé ( $D = 650$  až  $900$  mm, sortiment: hrubé tyčové a tvarové vývalky).
- Střední ( $D = 400$  až  $600$  mm, sortiment: střední tyčové a tvarové vývalky).
- Jemné ( $D = 250$  až  $400$  mm, sortiment: jemné tyčové a tvarové vývalky).





## Předvalky

**Bloky** – čtvercového nebo přibližně čtvercového průřezu ( $b/h \leq 1,4$ ), se zaoblenými hranami a straně čtverce od 140 do 360 mm

**Sochory** - čtvercového nebo přibližně čtvercového průřezu ( $b/h \leq 1,4$ ), se zaoblenými hranami a straně čtverce od 40 do 130 mm

**Bramy** – obdélníkového průřezu ( $b/h \geq 1,4$ ), o šířce  $b = 400$  až 1500 mm a tloušťce  $h = 110$  až 350 mm

**Ploštiny** – obdélníkového průřezu ( $b/h \geq 1,4$ ), v podstatě lehčí bramy, o šířce  $b = 180$  až 350 mm a tloušťce  $h = 6$  až 30 mm

**Předvalky** pro bezešvé trubky a výkovky v podobě sochorů kruhového průřezu a průměru  $d \leq 320$  mm.



## Zajímavost

**Železniční kolejnice** je ojedinělý a unikátní válcovský výrobek, na jehož vnitřní strukturu, vnější vzhled a povrch, geometrické rozměry a celý komplex pevnostních a plastických vlastností je kladen mimořádný požadavek vysoké jakosti.

Síly mezi železničním vozidlem a tratí jsou přenášeny relativně malou plochou (100 mm<sup>2</sup>) kontaktu kolo – kolejnice. Kontaktní napětí mohou v některých momentech dosáhnout až 2 000 MPa. Navíc se při vzájemném kontaktu objevují velké povrchové třecí síly způsobené např.

brzděním nebo relativním bočním a podélným pohybem kola. Železniční kolejnice tedy musí být navržena tak, aby byla odolná proti opotřebení a únavě způsobené těmito silami, ale také musí odolávat ohybovým napětím a tepelnému pnutí, způsobenému při svařování kolejnic.

První kolejnice byly ještě na počátku devatenáctého století dřevěné a nemohly se příliš zatěžovat. Proto se zkoušely kolejnice z litiny, ale ty byly zase křehké a snadno praskaly. Teprve houževnatá válcovaná ocel se plně osvědčila. Nezbytnou podmínkou použití oceli na kolejnice byla nejen kvalita, ale také dostupnost, cena, a dostatečná výrobní produktivita.

Současné trendy světových výrobců při zvyšování užitečných vlastností železničních kolejnic jsou různé. V oblasti perlitických ocelí existují technologické postupy zajišťující sorbidickou strukturu a jemnozrný perlit v hlavě kolejnice, buď vyšším stupněm legování např. chromem nebo využitím tepelného zpracování hlavy při relativně nižším stupni legování (i zde se však dá využít vlivu např. bóru na polohu perlitického nosu při transformaci). Jinou možností jsou vysokopevnostní (až 1300 MPa) oceli s obsahem uhlíku pod 0,5 hm. % vyráběné řízeným urychleným ochlazováním v teplotní oblasti od 800 °C do 500 °C tak, aby bylo dosaženo struktury dolní bainit + laťkový martenzit. Zkoušejí se však i oceli s velmi nízkým obsahem uhlíku (0,05 hm. %) legované manganem (až 5 hm. %) a chromem (až 6 hm. %), mikrolegované titanem, vanadem, niobem a bórem.

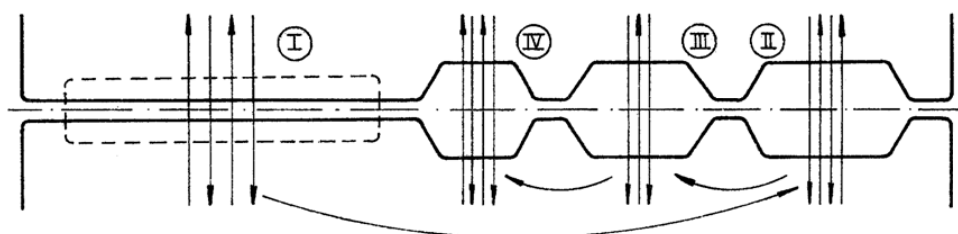


*Obr. 5.24. Kolejnice + součásti kolejového svršku (TŽ, a.s.)*

### ***Blokovny***

Pro válcování na blokovně je příznačné postupné zhutňování hrubé dendritické struktury tělesa velkého průřezu poměrně malými úběry v úzkém rozmezí vysokých tvářecích teplot při výrazně nerovnoměrné deformaci. Válcovací pochod se rozděluje na dvě fáze. V první fázi jemnějšího tváření nastává především rozrušení hrubé lici struktury a její zhutňování v důsledku svaření vnitřních nečelivostí. Malými dílčími úběry ( $\varepsilon_h = 7$  až 15 %) se průřez provalku zmenšuje na 40 až 50 % výchozího průřezu. V druhé fázi intenzivnějšího tváření se dílčí úběry zvyšují na 25 až 30 %.

Válce blokovny mají vesměs 3 až 5 skříňových kalibrů a hladkou, nekalibrovanou část (viz. **obr. 5.25.**), takže v každém z těchto kalibrů se válcuje několika průchody, přičemž velikost úběru se mění stavěním horního válce. V prvních čtyřech až osmi průchodech se válcuje s volným šířením na hladké části válce, zatímco ve zbývajících průchodech se válcuje s omezeným šířením ve skříňových kalibrech.



**Obr. 5.25.** Postup válcování na blokovně

### ***Slabiny***

Slabiny je méně obvyklá předvalková trať jednoúčelového významu, určená výlučně k válcování bram z ingotů. Válcuje se na univerzální válcovací stolici, která má kromě páru vodorovných válců ještě pár válců svislých, umístěných před vodorovným duem nebo za ním, přičemž všechny válce jsou hladké, bez kalibrů. Svislými válci se stlačují boční stěny vznikající bramy, čímž se záměrně ovlivňuje konečná šířka bramy, jakož i tvar jejího příčného průřezu.

### ***Sochorové tratě***

Sochorové tratě navazují bezprostředně na blokovnu, a to s využitím entalpie bloků o straně 300 až 400 mm. Válcují se na nich především sochory čtvercového a kruhového průřezu, které se dále používají jako výchozí polotovary pro válcování tvarových vývalků a drátu. V menší míře se na sochorových tratích válcují i ploštiny. Starší tratě se stavěly v otevřeném provedení, kdežto moderní tratě se vyznačují spojitým uspořádáním s těmito charakteristickými znaky:

- střídání válcovacích stolic s vodorovnými a svislými válci, jímž se vylučuje mechanicky i časově náročné hranění provalku mezi jednotlivými stolicemi,
- samostatný pohon každé válcovací stolice s automatickou regulací otáček, což zjednodušuje seřízení a kalibraci válců,

- vyšší rozměrová přesnost sochorů,
- rozšíření sortimentu o kruhové sochory,
- zavedení automatického zjišťování a odstraňování povrchových a vnitřních vad jak při válcování, tak i v úpravně sochorů,
- nucené chlazení sochorů z doválcovací teploty přispěje k zachování plynulého toku materiálu a k omezení nároků na skladovací plochy.

S výrobou plynule litých sochorů bude klesat význam sochorových tratí, které si podrží své opodstatnění jen v závodech s širokým výrobním programem tvarových vývalků a dále v závodech, které zpracovávají legované oceli vyžadující vysoký stupeň protváření.



## Předvalky

### 1. tvarové vývalky jednoduchého tvaru:

- a) kruhová ocel  $d = 5,5$  až 210 mm (dodávaná v tyčích i ve svtcích),
- b) čtvercová ocel o straně  $a = 6$  až 150 mm (tyčová i ve svtcích),
- c) plochá ocel o šířce  $b = 11$  až 200 mm a tloušťce  $h = 5$  až 60 mm,

### 2. tvarové vývalky složitějšího tvaru:

- a) I a U ocel, štetovnice,
- b) kolejnice, pražce, drobné kolejiwo,
- c) úhelníky rovnoramenné i nerovnoramenné, T ocel,
- d) šestihránná ocel o straně 7 až 72 mm (tyčová i ve svtcích),

**3. tvarová ocel pro zvláštní účely** (důlní profily, tyče na autokola, ocel roštnicová, úsečová, okenní, obručová, betonářská atd.).

### *Válcování těžkých tvarových vývalků*

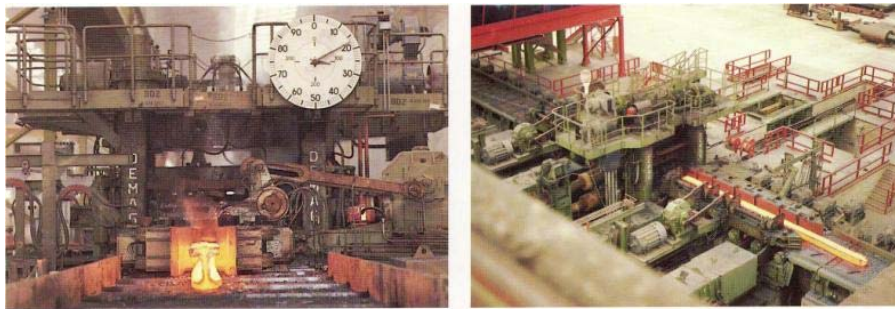
Patří k nim kolejnice o metrové hmotnosti nad  $20 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}$  ocel ( $h = 180$  až 500 mm), U ocel ( $h = 160$  až 400 mm) rovnoramenné a nerovnoramenné úhelníky, štetovnice, širokopřírubové nosníky aj.

Válcují se na těžkých válcovacích tratích o průměru válců 700 až 900 mm v otevřeném nebo přesazeném uspořádání.

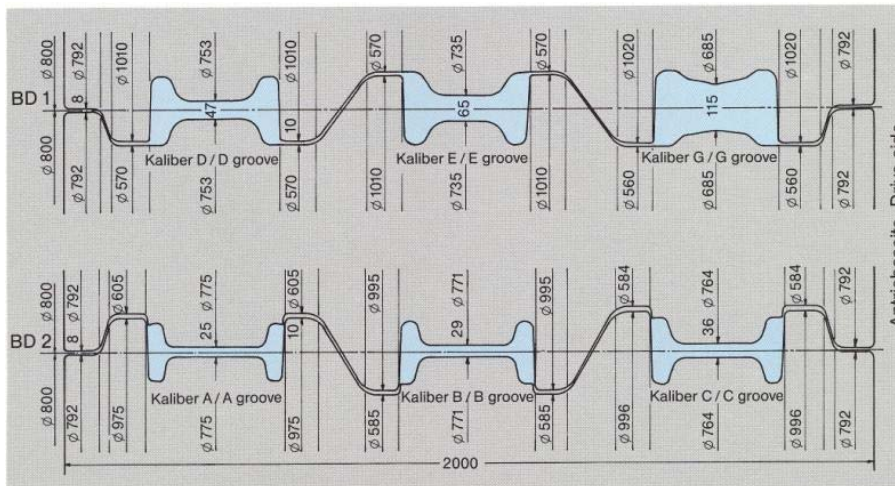
Na zvláštních univerzálních tratích (viz. **obr. 5.26.**), jejichž stolice mají průměr válců 1 100 až 1 450 mm, se válcují širokopřírubové nosníky s rovnoběžnými přírubami ( $h = 160$  až 1 000 mm,  $b = 490$  mm). Širokopřírubové nosníky se vyznačují při stejných užitných vlastnostech až o 15 % nižší metrovou hmotností, což přináší i nemálo výhod při jejich konstrukčním uplatnění (viz. **obr. 5.27.**).



**Obr. 5.27.** Širokopřírubové nosníky připravené na stavbu mostní konstrukce



Předválcovací vratná duo stolice



Uspořádání kalibrů (groove) na 1. (BD1) a 2. stolici (BD2) při válcování profilu IP270

**Obr. 5.26.** Pohled na předválcovací duo pro válcování širokopřírubových nosníků (nahore), kalibrace válců při válcování profilu IP270 (dole)

Většina technologických operací je na soudobých těžkých tratích mechanizována, takže jejich výkonnost dosahuje až 1,5 Mt ročně. Z technologického hlediska je nejnáročnější výroba železničních kolejnic.

Kolejnice patří k nejdůležitějším a nejnáročnějším výrobkům válcovacích tratí. Podle tvaru a velikosti se dělí na železniční, důlní (od železničních se liší jen metrovou hmotností, která je menší než  $25 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}$ ) a zvláštní (žlábkové či tramvajové, jeřábové, výhybkové, jazykové, srdcovkové). Vysoké pevnosti (až 1 300 MPa), houževnatosti, odolnosti proti křehkému lomu a otěruvzdornosti se dosahuje vzájemnou kombinací vhodného druhu oceli, tvaru příčného průřezu a metrové hmotnosti (kolejnice UIC 60 =  $60 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}$ ).

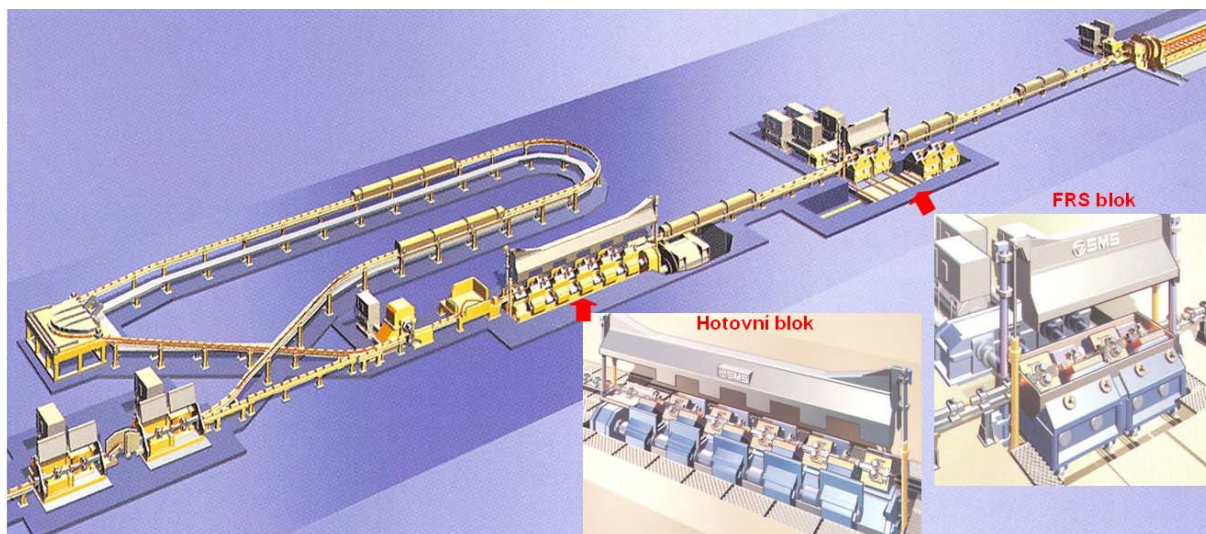
### ***Válcování hrubých, středních a jemných tvarových vývalků***

Výchozím polotovarem jsou válcované anebo plynule lité bloky a sochory v těchto rozměrech:

- jemné tratě: 50 x 50 až 125 x 125,  $l = 9\,000$  až  $10\,000$  mm,
- střední tratě: 80 x 80 až 170 x 170,  $l = 6\,000$  až  $9\,000$  mm,
- hrubé tratě: 150 x 150 až 300 x 300,  $l = 4\,500$  až  $6\,000$  mm.

### VT pro válcování drátu

Drát se válcuje na spojitě válcovací trati pro válcování drátu (finální průměr drátu  $d = 5$  až 20 mm, průměr válců  $D = 200$  až 300, u hotovních i 150 mm). Stolice jsou nejčastěji duo. Uspořádání jednožilové VT je na **obr. 5.28**. Kontislitky a sochory jsou po ohřevu v krokové peci válcovány na přípravném, předválcím a středním pořadí. Následně je provalek přiváděn pomocí smyčky do CL dvoustolice s letmo uloženými válci a pak do hotovního bloku. Pro zlepšení tolerancí válcovaného drátu je na konci deformačního cyklu zařazen FRS blok (Flexible Reducing Sizing).



*Obr. 5.28. Spojitá jednožilová drátotrat'*

#### *Přípravné, předválcí a středním pořadí*

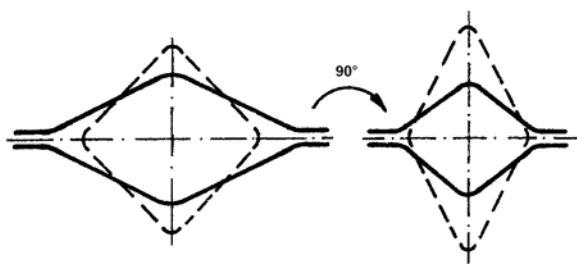
V současné době se v těchto pořadích nejčastěji používají duo stolice, v uspořádání buď horizontál-vertikál (viz. **obr. 5.29**), nebo jsou stolice pouze horizontální a dochází ke zkrucování provalku (viz. **obr. 5.30**). V předválcovacím pořadí převládají skříňové kalibry se zaoblenými rohy. Ve středních pořadích jsou převážně kalibrační řady kosočtverec-čtverec (viz. **obr. 5.31**) a čtverec-ovál (viz. **obr. 5.32**).



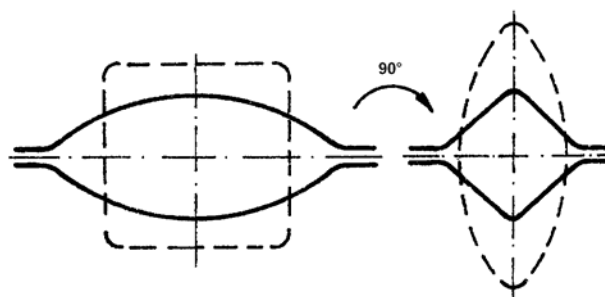
*Obr. 5.29. Přípravné pořadí –HV stolice  
(Emirates steel)*



*Obr. 5.30. Střední pořadí se zkrucováním provalku  
(Morgan)*



*Obr. 5.31. Kalibrační řada kosočtverec-čtverec*



*Obr. 5.32. Kalibrační řada čtverec-ováľ*

### **Hotovní pořadí - válcovací bloky**

Dříve se pro doválcování pořadí používaly systémy horizontálního–vertikálního válcování, ale ty byly limitovány výstupní rychlostí. Řešením byl vývoj válcovacích bloků.

Jedná se pevně spřažené stoličky, poháněné jedním pohonem. Postupně byly vyvinuty tyto systémy:

- Blok **Koks**: obsahuje 13 stolic se společným pohonem. Každá stolice má tři kotoučové válce o průměru 290 mm, natočené k sobě o 120°. Jsou spojeny kuželovými koly, každá stolice potřebuje proto jen jeden náhon. Bloky typu Koks nedosáhly požadovaných parametrů, nízká válcovací rychlost, nízká životnost válců, ovalita průřezu drátu malých průměrů.
- Blok **Schloeman**: má dvouválcové uspořádání, válce následující stolice jsou natočeny o 90°, osy válců svírají s vodorovnou rovinou úhel 45°. Průměr válců z tvrzené litiny je 250 až 246 mm. Nevýhody: nižší rychlost, potíže při válcování menších průměrů.
- Blok **Morgan** (viz. **obr. 5.33.**): má dvouválcové uspořádání, kalibr tvoří dva kotouče svírající s vodorovnou rovinou úhel 45° (viz. **obr. 5.34.**). Uložení válců je letmé, průměr válců je 156 až 146 mm. Válce jsou zhotoveny ze slinutých karbidů wolframu. Malé průměry válců mají příznivý vliv na snížení válcovacích sil a šíření.



*Obr. 5.33. Dvoustolicový Mini-Blok Morgan*



*Obr. 5.34. Výměna celého uložení válců*

### ***Řízené ochlazování drátu***

Důvodem k vývoji a zavedení řízeného ochlazování byl přechod od válcování drátu na otevřených tratích s výstupní rychlostí asi  $9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  k válcování na spojitých tratích s výstupní rychlostí nad  $30 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Tím se zvýšily doválcovací teploty z  $850 \text{ }^\circ\text{C}$  asi na  $1\ 000 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Zvýšení doválcovacích teplot a hmotnosti svitků by způsobilo vznik hrubozrnné, nerovnoměrné struktury a nadměrnou tvorbu okují. Hlavní požadavky na řízené ochlazování:

- snížení množství okují při jejich lepší mořitelnosti,
- dosažení vhodné struktury s vysokou tvařitelností při tažení za studena.

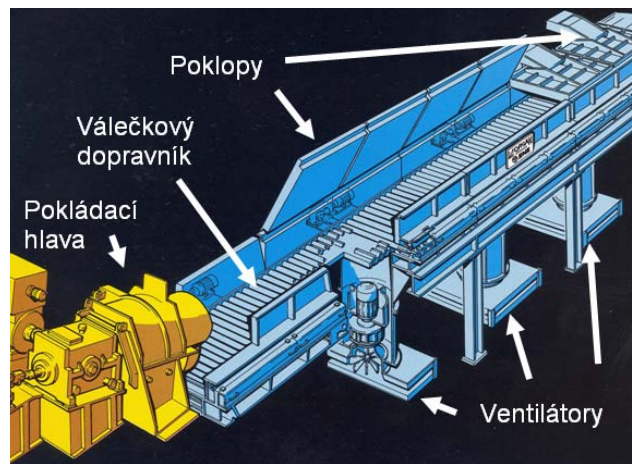
Ochlazení drátu probíhá ve dvou stupních. V prvním stupni se drát ochladí vodou z doválcovací teploty do oblasti ještě stabilního austenitu s hlavním účelem omezení vzniku okují. Ve druhém stupni se řízenou ochlazovací rychlostí rozvinutých závitů drátu řídí transformace austenitu.

U středně uhlíkových a vysokouhlíkových ocelí je žádoucí zrychleným ochlazováním získat jemně lamelární perlit s malým množstvím proeutektoidně vyloučeného feritu (obdoba patentování). U nízkouhlíkových ocelí se snížením ochlazovací rychlosti zlepšuje tažitelnost za studena.

### ***Řízené ochlazování drátu po válcování - přehled používaných způsobů***

- **Demag:** Povrch drátu se zchladí pod teplotu počátku martenzitické transformace. Při dalším volném ochlazení závitů drátu na volném vzduchu je martenzit teplem jádrové části popuštěn, výsledná struktura v jádru je perlitická, na povrchu je popuštěný martenzit. Tento způsob je vhodný pro C od 0,2 do 1,0 % a legující prvky do 1,7 %.
- **Kobe:** Po chlazení vodou prochází drát sekcí s atmosférou proudícího dusíku a potom vstupuje do vodní lázně. Je vhodný zejména pro nízkouhlíkové oceli, výhodou je malé množství okují.
- **ED-proces:** Drát se navíjí do svitku ve vodní lázni s teplotou vody si  $90 \text{ }^\circ\text{C}$ . Vznikající parní film na povrchu drátu zabraňuje rychlému odvodu tepla a vzniku martenzitu.
- **EDC-proces:** Obdoba ED-procesu s tím, že drát je rozložen do závitu na šikmý dopravník ve vodní lázni. Je vhodný rovněž pro nízkouhlíkové oceli. Vyzvednutím šikmého dopravníku z vodní lázně a ochlazením na vzduchu se sníží ochlazovací rychlost.
- **Stelmor:** Je dnes nejrozšířenější, existuje ve třech provedeních. U všech se provádí ochlazení vodou na teplotu  $780$  až  $820 \text{ }^\circ\text{C}$  a uložení v rozvinutých závitech na pohyblivý dopravník (viz. **obr. 5.35.**). U standardního provedení se závity drátu ochlazují ve čtyřech až šesti sekcích stlačeným vzduchem rychlostí od  $4$  do  $10 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{s}^{-1}$ .

u drátu o průměru 5,5 mm. Při zpomaleném ochlazování jsou první tři sekce vybaveny izolovanými poklopy s přídavnými hořáky. Čtvrtá sekce je pouze kryta, poslední jsou otevřené. Nejmenší ochlazovací rychlost je asi  $0,3 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{s}^{-1}$ . Zpomalené ochlazování je vhodné pro nízkouhlíkové a nízkolegované oceli. Třetí variantou je zpomalené ochlazování s rychlostí asi  $1 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{s}^{-1}$  s použitím izolovaných poklopů.



Obr. 5.35. Schéma Stelmor dopravníku

## VT pro válcování tlustých plechů

### *Tlusté plechy*

Hranice mezi tlustými a tenkými plechy je podle ČSN EN 10079 (42 0044) *Hutnictví železa - Definice ocelových výrobků* tloušťka 3 mm. Podíl tlustých plechů ve většině průmyslově vyspělých zemí stoupá. V poslední době se zvětšuje spotřeba tlustých plechů zejména na stavbu lodí, dálkové energetické vedení, klasickou a jadernou energetiku. Tloušťka je běžná v rozmezí od 3 do 60, popř. 100 mm. Plechy větších tloušťek se vyrábějí zpravidla podle zvláštních dodacích podmínek, Pro výrobu velkokapacitních jednotek v chemickém průmyslu a zařízení komponent jaderných elektráren se dodávají plechy do tloušťek 300 mm. Nejmenší válcované šířky jsou zpravidla 1 000 až 2 000 mm, největší pak 5 300 mm. Je snaha válcovat vývalky větších šířek a užší plechy vyrábět podélným dělením. Průměrná délka plechu je v rozmezí 20 až 30 m. Na nejnovějších tratích dosahují délky až 50 m.

### *Výrobní zařízení*

Tlusté plechy se válcují na tratích s jednou stolicí nebo dvěma stolicemi za sebou (tandemové uspořádání), anebo na polospojitéch a spojitých širokopásových tratích, jejichž výrobní možnosti jsou však omezeny na lehčí plechy ( $h < 35 \text{ mm}$ ,  $b < 2\,200 \text{ mm}$ ). Stolice, a tím i trať pro válcování tlustých plechů se charakterizuje délkou těla válce  $L$ , která určuje největší šířku válcovaných plechů  $b_p$  podle vztahů:

$$b_p \leq L - 300 \text{ (mm) při válcování z bram,}$$

$$b_p \leq L - 400 \text{ (mm) při válcování z ingotů.}$$

**Jednostolicové** tratě staršího provedení jsou vybaveny vratnou stolicí duo nebo trio, vyznačují se nižší roční výrobností (30 až 150 kt), omezeným výrobním programem (plechy menší tloušťky a šířky), sníženou povrchovou jakostí plechu (předválcování i doválcování se děje mezi týmiž válci) a nerovnoměrnou tloušťkou plechu po šířce (především u stolic duo



následkem průhybu válců). Novější jednostolicové tratě se vybavují výlučně stolici kvarto, jejíž základní charakteristiku podává **tabulka 5.1**.

**Tabulka 5.1.** Základní charakteristiky stolic kvarto

Délka těla válce	mm	3 600 až 5 500
Průměr pracovních válců	mm	1 000 až 1 200
Průměr opěrných válců	mm	1 800 až 2 400
Průřezová plocha stojiny stojanu	cm <sup>2</sup>	9 000 až 10 000
Hmotnost stojanu	t	250 až 440
Válcovací síla	MN	až 110
Válcovací rychlost	m.s <sup>-1</sup>	5,5 až 7,0
Jmenovitý výkon hlavního pohonu	MW	10 až 17,6
Střední odchylka tloušťky	mm	0,11 až 0,15
Střední odchylka šířky	mm	12 až 15
Střední rozdíl tloušťky po průřezu	mm	0,1

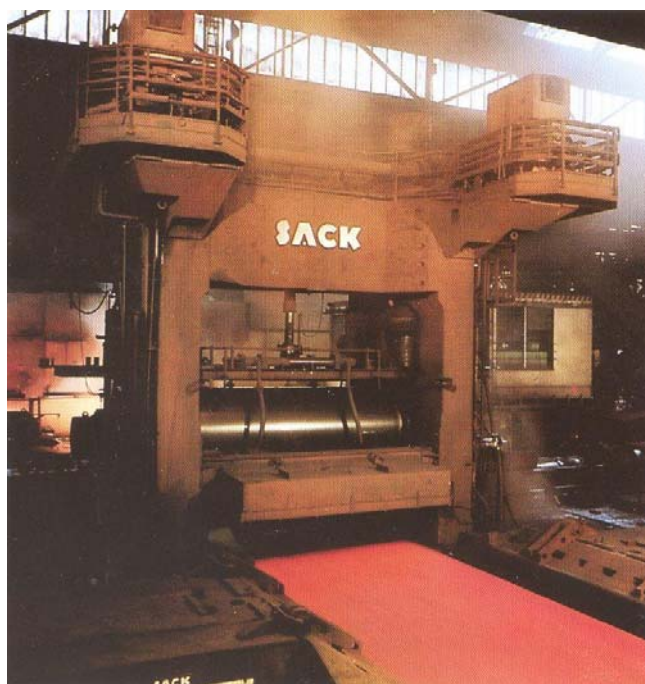
Příznačným rysem moderní stolice kvarto je vysoká tuhost, již se dosahuje velkým průřezem stojiny stojanu, velkým průměrem opěrných válců, popřípadě předpětím stojanů. Velká válcovací síla pak umožňuje dosáhnout větších průchodových úběrů i za nižších doválcovacích teplot, což usnadňuje zavedení řízeného válcování při vysoké výkonnosti tratě.

Dalším významným prvkem těchto stolic, prvkem, jímž se stabilizuje tloušťka po příčném průřezu plechu, je zařízení pro řízený průhyb válců - protiohyb válců (např. hydraulickými rozpěrnými válci uloženými mezi prodlouženými čepy opěrných válců. Úspěšné uplatnění tohoto systému je však podmíněno jeho automatickým řízením pomocí počítače, jímž se současně ovládá i systém automatické regulace tloušťky plechu. Na **obr. 5.36.** až **obr. 5.38.** vidíte příklad válcovacích stolic firmy SMS Sack, 3,7 m stolice Thyssen Stahl, Duisburg (**obr. 5.36.**), 5 m stolice Mannesmannröhren-Werke AG,

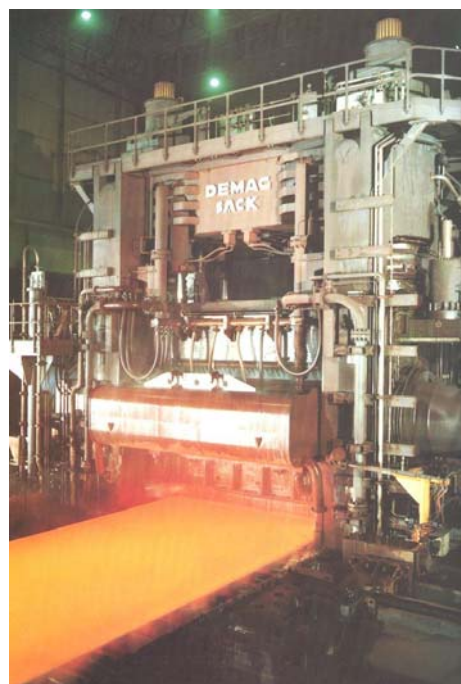


**Obr. 5.36.** 3,7 m kvarto (Thyssen Stahl, Duisburg)

Mülheim (**obr. 5.37.**) pro výrobu plechů na svařované trubky a v současné době nejvýkonnější světovou stolicí, kterou je 5,5 m stolice v AG der Dillinger Hüttenwerke (**obr. 5.38.**) jejíž základní technická data uvádí **tabulka 5.2.**



**Obr. 5.37.** 5 m kvarto Mannesmannröhren-Werke AG, Mülheim



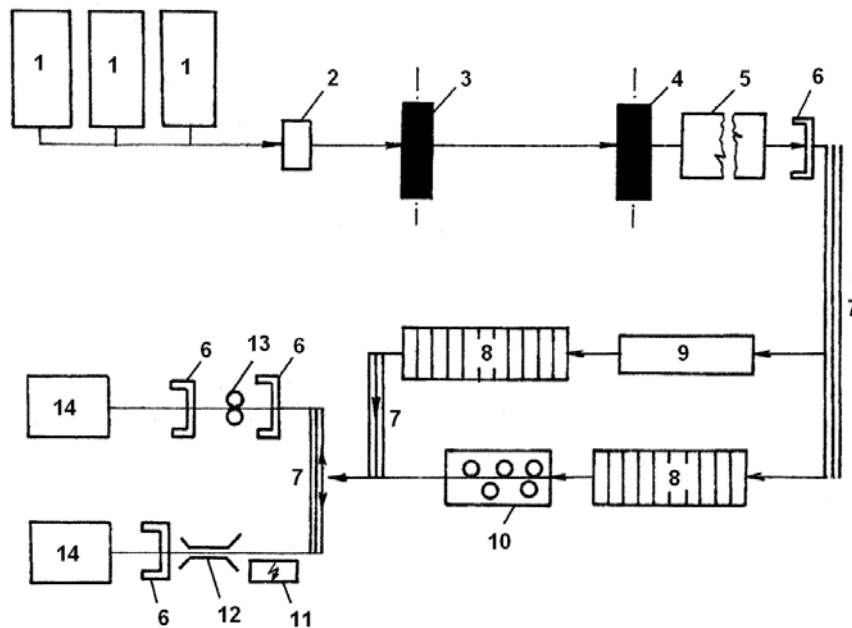
**Obr. 5.38.** 5,5 m kvarto (AG der Dillinger Hüttenwerke)

**Tabulka 5.2.** Základní charakteristiky stolice kvarto 5 m v AG der Dillinger Hüttenwerke

Délka těla válce	mm	5 500
Průměr pracovních válců	mm	1 180
Průměr opěrných válců	mm	2 400
Průřezová plocha stojiny stojanu	cm <sup>2</sup>	10 040
Hmotnost stojanu	t	390
Válcovací síla	MN	až 130
Válcovací rychlost	m.s <sup>-1</sup>	max. 6,95
Jmenovitý výkon hlavního pohonu	MW	2 x 11

**Dvoustolicové** tratě jsou investičně náročnější, ale vyznačují se vysokou roční výrobností (až 2,5 Mt) a všestranně lepšími vlastnostmi plechu (vyšší povrchová jakost, rovnoměrnější tloušťka, dokonalejší protváření jádrové oblasti). Prvá stolice (**předválcovací**) je duo, trio nebo (dnes výlučně) kvarto, druhá stolice (**hotovní**) je zásadně kvarto. Uspořádání moderní tratě pro tlusté plechy je na **obr. 5.39.** ((1) ohřívací pece, (2) vodní odokujovač, (3) předválcovací stolice kvarto, (4) hotovní stolice kvarto, (5) zařízení pro zrychlené ochlazování, (6) tabulové nůžky pro příčné stříhání, (7) vlečnick, (8) chladník, (9) ohřívací pec,

(10) válečková rovnačka, (11) pálicí stroj, (12) nůžky pro podélné stříhání, (13) kotoučové nůžky, (14) stohovací zařízení).



Obr. 5.39. Uspořádání moderní tratě pro tlusté plechy

Pro odstraňování okují byly starší tratě vybaveny lamačem okují (vodorovná stolice duo, úběr tloušťky nejvýše 15 %) nebo svislou pěchovací stolicí. Dnes se řídí ohřev tak, aby vznikla tenká vrstva slabě přilnavých okují, které se pak před vstupem bramy do stolice snadno odstraňují **vodním ostřikem** (15 až 20 MPa), popřípadě (u legovaných ocelí) parním ostřikem. Bezprostředně na hotovni stolici navazuje zařízení na **zrychlené ochlazování**, jehož podstatou je buď soustava vodních sprch nebo válečkové chladicí stroje.

**Úpravárenská zařízení** slouží k rovnání, značení, dělení (nůžky, pálicí stroj), tepelnému zpracování, kontrole a povrchové úpravě.

Rovnění za tepla se uskutečňuje bezprostředně po válcování při  $t = 600\text{ °C}$ , a to na válečkových rovnačkách ( $h < 50\text{ mm}$ ) nebo rovnacích lisech ( $h > 50\text{ mm}$ ). Rovnění za studena na natahovacím stroji se provádí po tepelném zpracování tenčích plechů se zvýšenými nároky na rovinnost. V plechu však vyvolává zbytková pnutí, což je nevýhodné. Požadavky na rovnaní jsou u soudobých tratí poněkud nižší, neboť automatickým řízením úběrů a řízeným průhybem válců se zlepšila rovinnost plechů.

### **Zvláštnosti při válcování tlustých plechů**

Válcování tlustých plechů se vyznačuje těmito zvláštnostmi:

- velký povrch vývalku vede, především u tenčích plechů ( $h < 15\text{ mm}$ ), k rychlejšímu chladnutí během válcování, takže doválcovací teploty mohou v některých případech klesnout těsně pod  $A_{r1}$ ,

- válcování na hladkých válcích s tvrdým povrchem má příznivý vliv na povrchovou jakost plechu,
- válcuje se bez hranění, což zvyšuje nebezpečí zaválcování okují a tvorby vad na bočním povrchu;
- vzhledem k velké šířce plechu a malé délce pásma deformace (záběrový úhel  $\alpha < 15^\circ$ ) je **šíření takřka zanedbatelné**,
- nerovnoměrný průběh chladnutí povrchu a jádra, především u tlustších plechů ( $h > 40$  mm),
- nerovnoměrná deformace po tloušťce plechu, zejména při poměru  $l_d/h < 0,5$ , může vést k menšímu protváření jádrové oblasti,
- následkem velké stykové plochy a zvýšeného deformačního odporu (nižší doválcovací teploty!) vzniká při válcování značná válcovací síla proměnlivé velikosti, takže dosažení rovnoměrné tloušťky plechu vyžaduje mimořádná opatření (opěrné válce, klenutí válců, řízený protiohyb válců aj.).

### ***Výrobní postup***

Tlusté plechy se v současné době válcují těmito základními postupy:

*Přímé válcování z bramových ingotů* na vratné trati. Je dnes méně obvyklé, když se používá především pro plechy o velké hmotnosti. Probíhá ve třech stádiích:

1. válcování ingotu několika průchody ve směru délky za účelem srovnání úkosu těla ingotu,
2. otočení provalku o  $90^\circ$  kolem svislé osy a válcování v příčném směru na konečnou šířku plechu,
3. otočení provalku o  $90^\circ$  kolem svislé osy a doválcování v podélném směru na konečnou tloušťku plechu, přičemž šíření se zanedbává.

*Válcování z bram* na vratné nebo spojitě trati. Válcování z bram má tyto přednosti:

- vyšší využití oceli,
- zlepšená povrchová jakost plechů následkem odstranění povrchových vad na bramách,
- snadnější ovládání válcovacího pochodu (úběry, doválcovací teplota) za účelem zlepšení struktury a mechanických vlastností plechů.

Při válcování plechů z bram se uplatňují dva základní postupy (**obr. 5.40**):

1. délka bramy na délku plechu, kdy převládá válcování v podélném směru bramy,
2. délka bramy na šířku plechu s převládajícím válcováním v příčném směru bramy. Uplatňuje se tehdy, jestliže při délce bramy  $l_b$  a plechu  $l_p$  platí  $l_b \leq l_p$ . Vyznačuje se těmito výhodami:

- menší rozdíly v protváření v obou směrech snižují anizotropii mechanických vlastností,
- zkrácení doby válcování vypuštěním přípravných průchodů a jednoho otáčení,
- rovnoměrnější prodloužení snižuje velikost koncových odpadů.

Jedinou nevýhodou je **plošné šíření nekovových vměstků**, které může vyústit ve vznik plošných necelistvostí, jejichž výskyt je zvláště škodlivý u plechů určených ke svařování. Z těchto důvodů se naznačený postup válcování nedoporučuje pro plechy z neuklidněných ocelí.

				Brama	Přípravné průchody	Otočení	Válcování šířky	Otočení	Válcování tloušťky
délka bramy na délku plechu	$i_p > 0$		1						
			2						
	$i_p = 0$		3						
délka bramy na šířku plechu	$b_p > b_0 + \text{odpad}$	$b_p > l_0 + \text{odpad}$	4						
		$b_p < l_0 + \text{odpad}$	5						

**Obr. 5.40.** Základní způsoby válcování tlustých plechů:  $i_p$  – počet přípravných průchodů,  $b_p, l_p$  – šířka a délka bramy,  $b_0, l_0$  – šířka a délka plechu

### VT pro válcování pásů

Pásy jsou rozhodujícím výrobkem z plochých vývalků, výrobkem, který se v převážné části dále zpracovává válcováním za studena (75 %) a ve zbývající části (25 %) se používá přímo v podobě plechů, pruhů a svitků, které se získávají podélným a příčným dělením za tepla vyválcovaných pásů.

Z jakostního hlediska představují hlavní podíl (až 85 %) pásy z nízkouhlíkových ocelí (0,25 hm. % C) pro rozmanité konstrukční účely, obalovou techniku a hluboké tažení, zatímco zbývající podíl představují pásy s obsahem uhlíku vyšším než 0,25 hm. %) a z legovaných ocelí (dynamové, transformátorové, korozivzdorné aj.).

### Výrobní zařízení

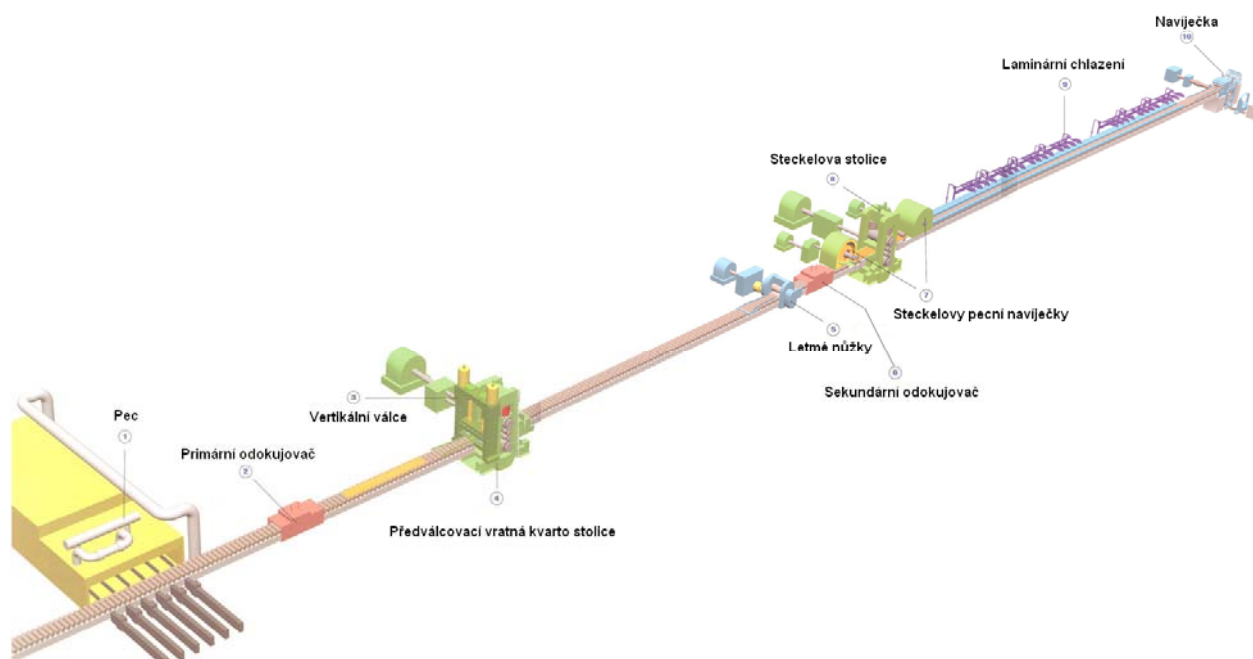
Pro válcovací tratě se volí nejčastěji uspořádání **spojité** nebo **polospojité**, čímž se dosahuje nejvyšší výrobnosti (viz. **tabulka 5.3.**). V některých případech se válcuje na stolicích zvláštní konstrukce, jako je např. **Steckelova** nebo **planetová stolice**.

**Tabulka 5.3.** Základní charakteristiky VT pro válcování pásů

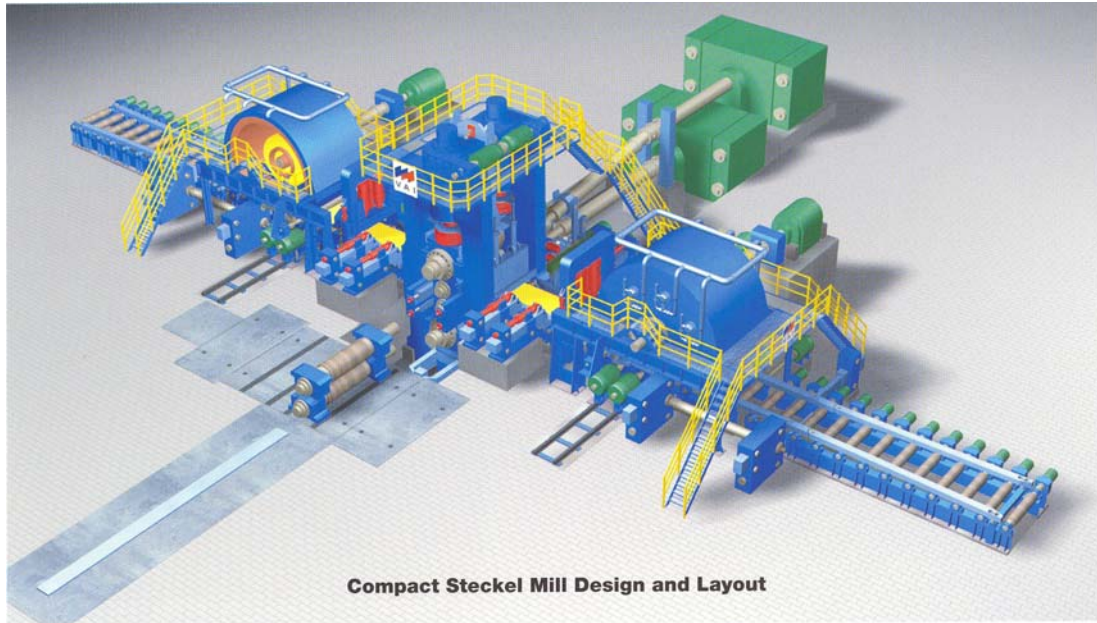
Druh tratě	Výrobnost (Mt/rok)	Válcovací rychlost ( $\text{m s}^{-1}$ )	Největší šířka pásu (mm)
Spojité	4 až 6	30	2 200
Polospojité	2	30	2 200
Steckelova	0,6	10	1 800
Planetová	0,25	1	1 320

### Steckelova válcovací tratě

Schéma tratě je na **obr. 5.41**. Po výstupu z pece (1) prochází brama odokujovačem (2) a vstupuje do předválcovacího pořadí (4) s vertikálními válci (3), po rozválcování putuje provalek přes letmé nůžky (5) a sekundární odokujovač (6) na Steckelovu stolicí (8) (viz. **obr. 5.42.**) se dvěma pecními navíječkami (7), zde se pás se válcuje vratně na kvarto stolici, pokud tloušťka pásu klesne pod cca 13 mm, tak se rozvalek zavádí do pecních navíječek umístěných před a za stolicí. Minimální dosažitelná tloušťka je cca 1 mm. Po ukončení válcování následuje laminární chlazení (9) a nakonec navíjení svitků (10). Výhodou těchto tratí oproti spojitým válcovnám jsou nižší investiční náklady a možnost válcovat v přesnějším teplotním intervalu. Nevýhody spočívají hlavně v nižší povrchové jakosti pásů, větším opalu a nižší výrobnosti.



**Obr. 5.41.** Steckelova válcovací tratě



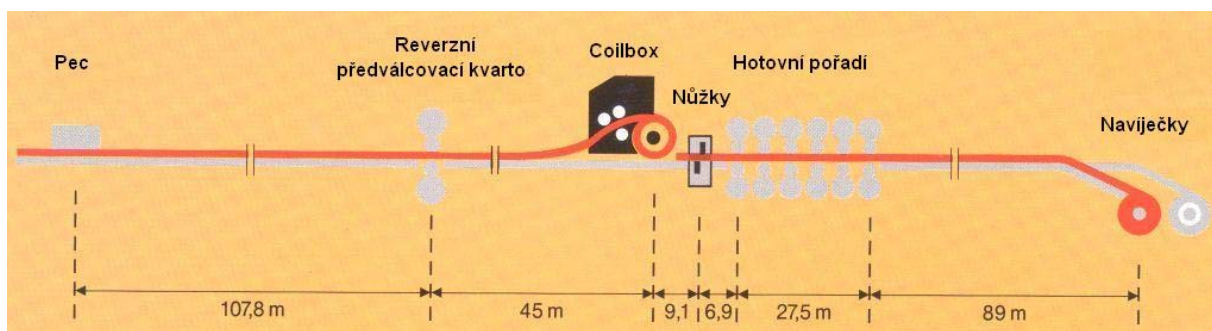
**Obr. 5.42.** Steckelova válcovací stolice kvarto s pecními navíječkami (VAI)

### **Spojité válcovna pásů**

Spojité válcovny pásů můžeme rozdělit podle kontilitého vstupního polotovaru na válcovny používající tradiční kontilité bramy a válcovny využívající tenké bramy lité technologií LCR (liquid core reduction, deformace bramy s tekutým jádrem) z tloušťkami od 45 do 70 mm. To umožní z výrobního procesu vyřadit předválcovací pořadí.

**Tradiční spojitá trat'** začíná pecním úsekem s třemi až pěti ohřívacími pecemi (strkací, dnes lépe krokové). Na počátek prvního, předválcovacího pořadí se zařazuje lamač okují v podobě svislé a vodorovné duo stolice. V pěti válcovacích stolicích prvního pořadí (univerzální kvarta) se válcuje průběžně, neboť při větší tloušťce provalku ( $h > 25$  mm) nelze dosáhnout spolehlivé regulace tahu mezi jednotlivými stolicemi.

Na výběhový úsek prvního pořadí o délce až 110 m navazuje druhé, hotovní pořadí, a to letnými nůžkami (odstrížení předního konce provalku), vodorovným lamačem okují a šesti stolicemi kvarto v těsném uspořádání. Výběhový úsek lze výrazně zkrátit použitím coilboxu (viz. **obr. 5.43.** a **obr. 5.44.**).

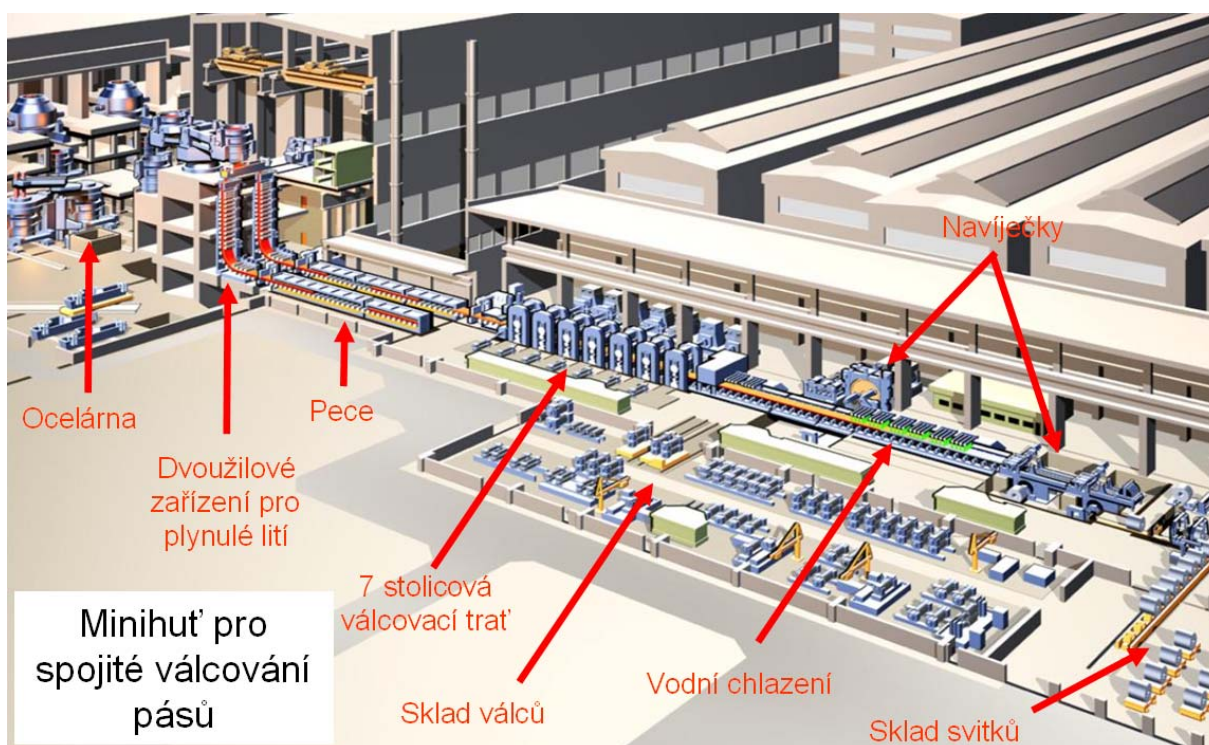


**Obr. 5.43.** Schéma tratě s předválcovacím pořadím a coilboxem



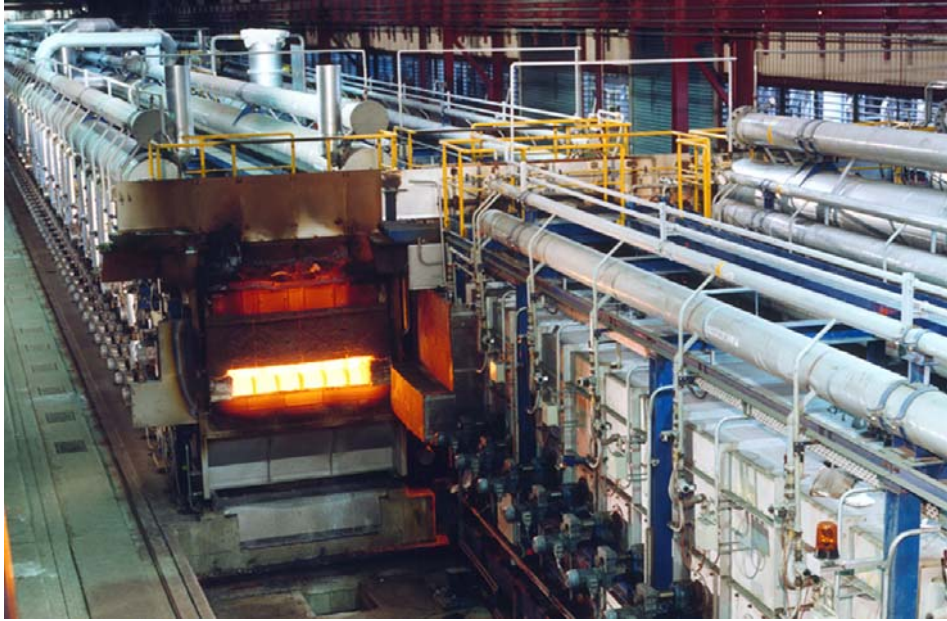
**Obr. 5.44.** Práce Coilboxu, zleva do prava: začátek vytváření svitku, konec vytváření svitku, přetočení svitku, odvíjení svitku

**Moderní spojitá trať** firmy SMS Demag. Kombinace sekundární metalurgie, plynulého lité a spojitého válcování pásu za tepla se označuje zkratkou CSP (viz. **obr. 5.45.**). Zvláštností je lité ve dvou žilách a dvě pece pro vyrovnání teplot, které lze spojit pomocí natáčivých segmentů (viz. **obr. 5.46.**) a poslat tak PLP z obou pecí do hotovného pořadí (viz. **obr. 5.47.**), které začíná letnými nůžkami (odstřížení předního konce provalku), následuje sedm stolicemi kvarto (viz. **obr. 5.48.**) v těsném (tandemovém) uspořádání. Mezi stolicemi jsou zvedáče smyček (viz. **obr. 5.49.**), jimiž se zabezpečuje válcování s mírným tahem (12 až 25 MPa), čímž se vylučuje přeložení či přetržení provalku. Za poslední stolicí je umístěno měřicí centrum. Ve výběhovém úseku, dlouhém 100 až 200 m, je zařízení pro řízené ochlazování (ostřík tlakovou vodou, vodní mlhou či laminární chlazení (viz. **obr. 5.50.**), na něž navazují svinovačky (viz. **obr. 5.51.**), a rozsáhlé úpravny, k nimž patří:



**Obr. 5.45.** Spojitá válcovna pásů SMS Demag





*Obr. 5.46. Natáčivé přepravními segmenty průběžné pece*

- dělicí linky na podélné a příčné stříhání pásů,
- průběžné pece pro tepelné zpracování,
- rovnací stroje,
- mořící linky.



### **CD-ROM** 37 CSP Ohřívací pec

Toto uspořádání dvou paralelních pecí pošle bramu z druhého licího proudu, přes 1. průběžnou pec ke vstupu do hodovního pořadí. Mezitím brama z prvního licího proudu čeká v 1. průběžné peci a osciluje, aby nedošlo k lokálnímu poklesu teploty vlivem odvodu tepla do válečků pece.

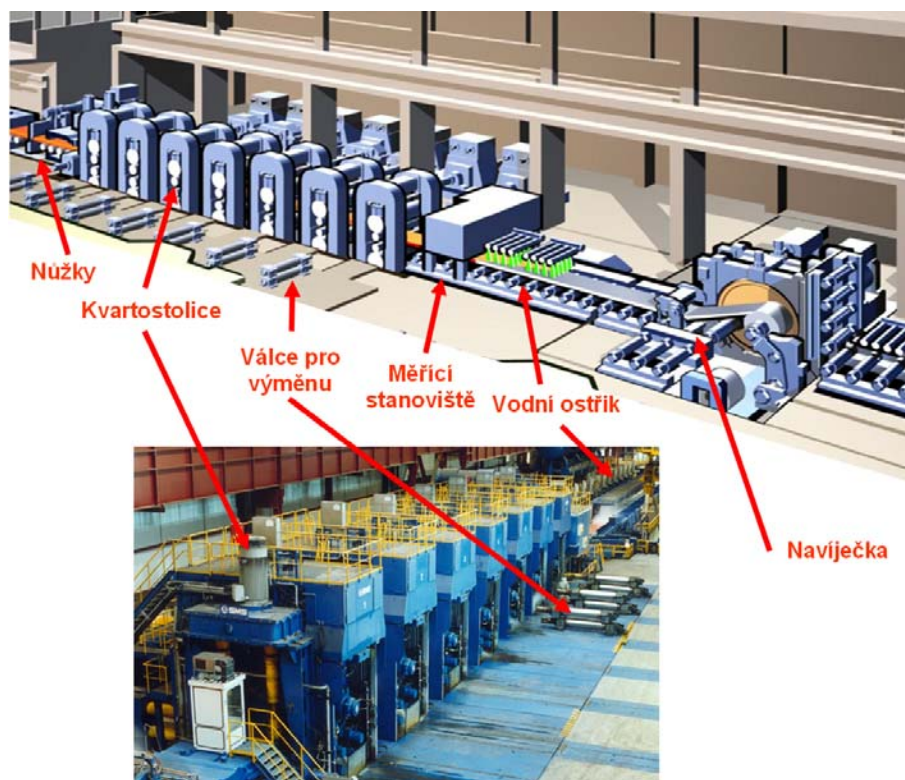


### **CD-ROM** 38 CSP Rotační ovinovačka

Video ukazuje princip tzv. nekonečného navíjení, se kterým toto zařízení pracuje. Tato rotační svinovačka umožňuje ustříhnout pás a vyměnit svitek za chodu tratě.

Roční výroba přesahuje 1 000 kt/rok. Tato trat' obsahuje následující moderní systémy:

- předohyb pracovního válce,
- CVC posun (řídí rovnoměrnost tloušťky po šířce pásu),
- hydraulický zvedáč smyček s rychlou odezvou,
- hydraulické stavění válců s rychlou odezvou,
- řízení tloušťky ultratenkých pásů (pod 1 mm),
- řízení rovinnosti a rozměrové přesnosti.



*Obr. 5.47. Spojité 7 stolicové hotovní pořadí válcovny pásů SMS*



*Obr. 5.48. Stolice kvarto*



*Obr. 5.50. Detailní pohled na hydraulický zvedáč smýček*



*Obr. 5.51. Laminární chladicí sekce*

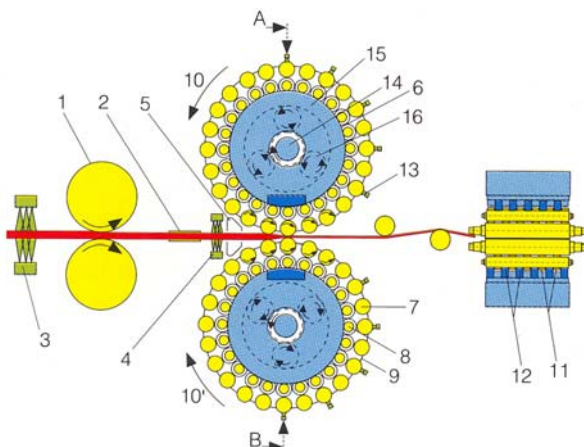


*Obr. 5.52. Svinovačka*

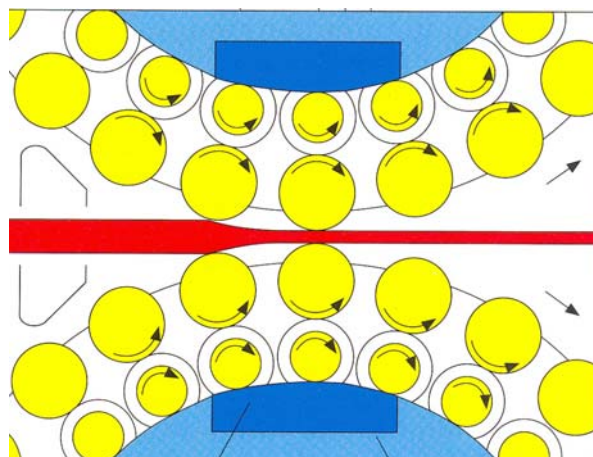
### Planetová válcovací trať

Zvláštním případem tratě pro válcování pásů je planetová válcovací trať na níž se dosahuje v jediném průchodu úběru až 95 %, a to velkým počtem malých úběrů ( $\Delta h = 0,2$  až  $0,5$  mm) mezi malými pracovními válci. S přihlédnutím k nízké rychlosti zavádění výchozí bramy (méně než  $5 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ ) navazuje tato trať s výhodou na zařízení pro plynulé lití oceli. Vzhledem k značnému tepelnému efektu, kdy teplota provalku při válcování stoupá o 50 až  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ , se horní tvářecí teplota snižuje na 900 až  $1\,000 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Protože planetová stolice (viz. **obr. 5.53.** a **5.54.**, kde 1 – zaváděcí válce, 2 – válečková vodítka, 3 – primární odokujovač, 4 – sekundární odokujovač, 5 – vodní ostřík, 6 – stacionární opěrný nosník, 7 – pracovní váleček, 8 – meziváleček, 9 – kruhový prstenec pro uložení ložisek pracovních válečků, 10 – pohyb opěrných válců, 11 – meziobjímka řez AB, 12 – regulace předohybu válců, řez AB, 13 – vodní chlazení, 14 – ozubená kola 15 – středový převod), nemá záběrovou schopnost, opatřuje se zaváděcími válci (jeden až dva páry za sebou), jimiž se (úběrem 15 až 22 %) zavádí výchozí brama ( $h = 90$  mm) mezi pracovní válce. Hladicími válci za planetovou stolicí se vyhlazuje nerovný povrch pásu, způsobený přetržitým stykem pracovních válečků s provalkem. Naznačená trať je výhodná pro válcování pásů menších šířek ( $b = 1\,320$  mm) z legovaných ocelí se zúženým intervalem válcovacích teplot, kdy se nevyžaduje vysoká roční výrobnost. Investiční náklady jsou podstatně nižší než u širokopásové tratě.



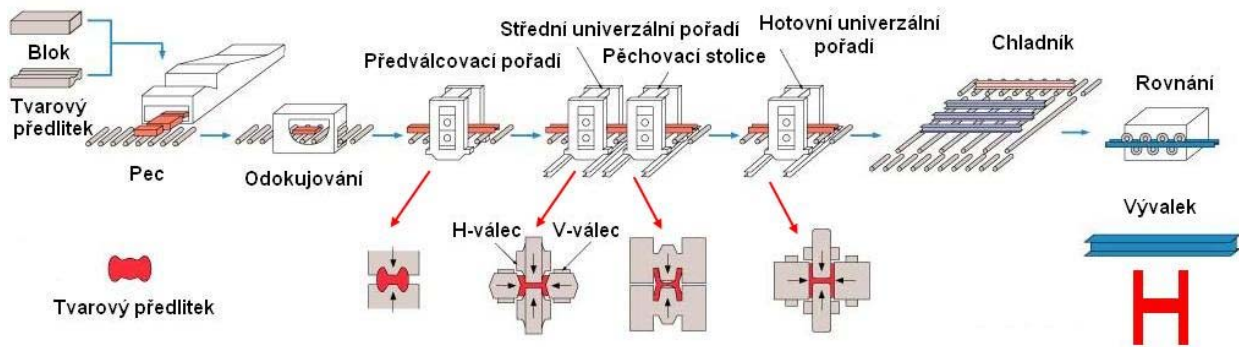
**Obr. 5.53.** Planetová válcovací trať



**Obr. 5.54.** Detail planetové stolice

### VT univerzální – pro válcování široké oceli s pravoúhlým průřezem

Pro zvýšení hospodárnosti výroby se širokopřířubové nosníky I, IPE, IPB válcují na univerzální válcovací trati (trať obsahuje vertikální i horizontální válce). Vstupem pro tyto tratě jsou bloky, nebo tvarové (viz. **obr. 1.13.**) či lité předvalky. Schéma tratě je uvedeno na **obr. 5.55.** Předválcovací pořadí je tvořeno jednou vratnou stolicí duo. Střední univerzální pořadí a pěchovací duo stolice pracují v tandemu vratně. V hotovním pořadí se provede poslední úběr. Výhodou této tratě je, že lze na středním a hotovním pořadí válcovat na jedné soupravě válců široký sortiment nosníků s různým poměrem šířky přírub k tloušťce stojiny.



Obr. 5.55. Proces válcování širokopřírubového H nosníku

### VT pro válcování bezešvých trubek



### Zajímavost

Rozvoj parních strojů kladl stále vyšší nároky na trubky. Těmto nárokům trubky vyráběné svařováním již nevyhovovaly a bylo nutno hledat nové způsoby výroby. Novou technologii vyřešili na svou dobu geniálním způsobem bratři Reinhard (\*1856, †1922) a Max (\*1857, †1915) Mannesmannové.

„Proces kosého válcování a příslušná válcovna“ byl patentován pod číslem 34 617 dne 27.1.1885 a 13.5.1887 doplněn patentem č.45 891. O významu tohoto řešení svědčí, že i po více než 100 letech je tato technologie živá a perspektivní. Vynálezci se původně výrobou trubek nezabývali a o tom jak se na toto řešení přišlo jsou dvě legendy.



Podle první verze byl princip řešení spojen s reelingem, který byl používán k hlazení a rovnání kruhové oceli, určené k výrobě pilníku. Po rovnání i hlazení se objevovaly kusy, které měly ve svém jádru trhliny. Totéž se projevovalo při příčném válcování kulatiny pro cepy a písní tyče. Válcování probíhalo na stolici – reelu se třemi válci. Ukázalo se, že při náhradě třetího horního válce vodítkem byl získán efekt "rozvolnění", což vedlo k vynálezu kosého děrování. Druhá verze tvrdí, že Reinhard Mannesmann si při jednom obědě hrál s kouskem chleba, který válel mezi prsty. Při tomto pohrávání se dostal s chlebem proti párátku, které držel v druhé ruce a vznikl dutý předvalek.

Nejblíže k objektivnímu hodnocení je názor profesora Franze Reuleauxe (přítel rodiny a bývalý učitel vynálezců), který vyslovil na přednášce v Berlíně, že vynález je výsledkem úporného přemýšlení a nesčetných pokusů při řešení úkolu, jež vynálezci zadal jejich otec.

První zkoušky s válcováním trubek byly prováděny v Remscheidu na stolici kde bratři vyráběli pilníky. První předvalek se podařilo vyrobit v noci 22.8.1886. První bezešvé trubky byly vyráběny kosým válcováním ve třech závodech, v Bousu v Sársku, v Landore v Anglii a v Chomutově. Hledaly se dále cesty jak vyrobit trubky s menším průměrem a tloušťkou stěny. Po řadě pokusů podal v roce 1890 Reinhard Mannesmann patentovou přihlášku na „Způsob a zařízení k formování, vyválcování a kalibrování trubek a jiných dutých těles“,

kteřá byla vydána patentem pod číslem 58.762 dne 24.2.1891. V té době prý také vzniklo pojmenování nového válcovacího procesu. Profesor Reuleaux tento proces válcování nazval poutnická trať podle pochodu procesí k poutnímu místu v Echternachu v Lucembursku, kam rodina Mannesmannů jezdila. První trubka takto vyválnkována byla 68 x 5 mm, délky 4 m.

### ***Válnkováni na tratích s poutnickými stolicemi - Mannesmannův způsob***

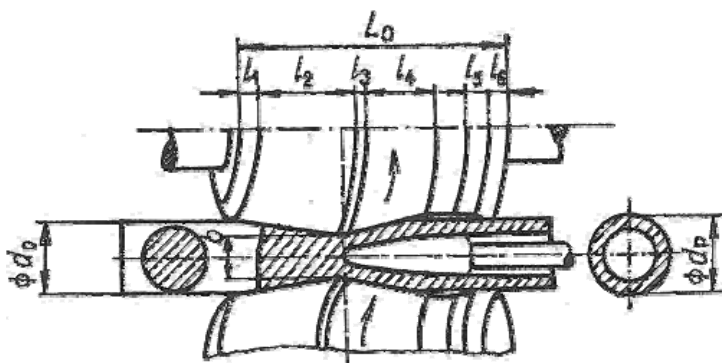
Skládá ze dvou základních operací:

1. kosého válcování tlustostěnných předválnků ve válcové děrovací stolicí mimoběžně uloženými válci,
2. poutnického válcování dutého předválnků na poutnické stolicí postupem podélného periodického válcování.

Výchozím materiálem pro děrování jsou buď ingoty kruhového průřezu pro trubky o větším průměru než 109 mm, nebo válcované kruhové sochory pro trubky menších průměrů.

**Děrování kosým válcováním** probíhá tak, že ingot nebo sochor rovnoměrně zahřátý na válcovací teplotu se po nastředění vsune mezi souhlasně se otáčející válce děrovací stolice (viz. **obr. 5.56.**). Účinkem příčného tlaku válců se v rotujícím tvářeném provalku vyvolávají napětí, která vedou k porušení soudržnosti kovu ve středové části provalku. Pohyb provalku se děje ve šroubovici následkem mimoběžnosti os válců, úhel sklonu válců k ose děrování a bývá v rozmezí 3 až 6°.

Vyválnkováný dutý předválnk má přibližně stejný vnější průměr jako výchozí ingot nebo sochor (viz. **obr. 5.57.**) a součinitel prodloužení následkem vzniklé dutiny bývá  $\lambda = 1,5$  až 2,5.



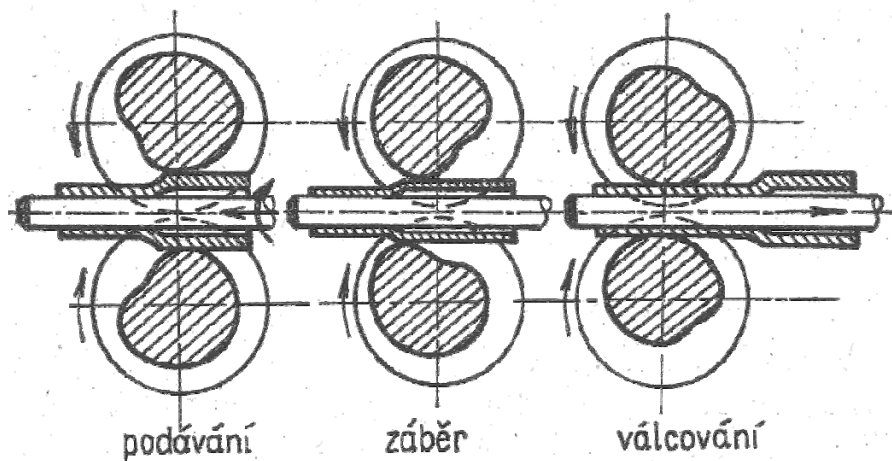
**Obr. 5.56.** Schéma děrování na válcové děrovací stolicí,  $l_1$  délka vyváděcího a středícího kužele,  $l_2$  délka děrovacího kužele,  $l_3$  délka válcovitého přechodu,  $l_4$  délka kužele příčného válcování,  $l_5$  délka kalibračního kužele,  $l_6$  délka hladící části



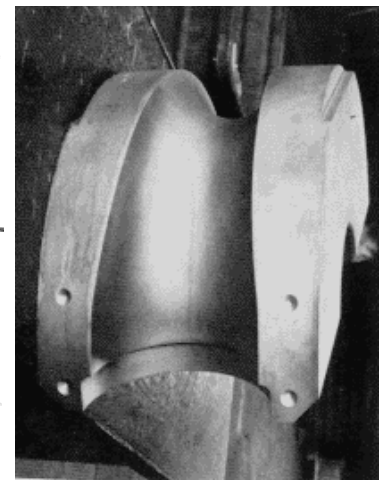
**Obr. 5.57.** Výstup z děrovací stolice

Dutý tlustostěnný předválnk postupuje po válečkovém dopravníku k **poutnické stolicí** (pilger mill) (viz. **obr. 5.58.**), kde se po vsunutí trnu kruhového průřezu o délce poněkud větší

než dutý předvalek válcuje na hotový rozměr trubky. Poutnické válce (viz. **obr. 5.59.**) se otáčejí proti sobě v opačném smyslu, než v jakém probíhá postup válcování předvالكů na trubku. V okamžiku, kdy v rovině průchodu jsou proti sobě prázdné části kalibrů poutnických válců, podává se provalek o určitou část dopředu, při čemž se provalek včetně trnu natáčí o 90°. Pak následuje záběr provalku a vyválnování části trubky. Při válcování se provalek s trnem posouvá zpět, takže příslušný úsek trubky je vyválnován odválnováním, při němž se dutý tlustostěnný provalek válcuje podobně mezi válci a trnem na konečnou tloušťku stěny trubky. Pootočením válců opět do polohy, kdy jsou proti sobě prázdné kalibry, nastane další podání se současným pootočením provalku s trnem. Velikost jednoho podání bývá 20 až 30 mm (u tenkostěnných trubek). Tímto **periodickým** postupem válcování je vyválnována celá trubka až na tak zvanou poutnickou hlavu (nedoválnovaný konec) na jejím zadním konci. Součinitel prodloužení na poutnické stolici dosahuje až 18.



*Obr. 5.58. Schéma poutnického válcování*



*Obr. 5.59. Poutnický válec*

## **2. Válnování na tratích s automatikem - Stiefelův způsob**

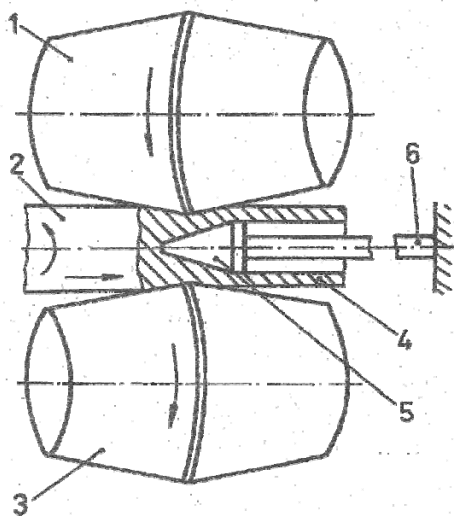
Základními výrobními operacemi při válcování trubek na tratích s automatikem jsou:

1. děrování kosým válcováním buď na
  - válcové děrovací stolici s mimoběžně uloženými válci, nebo na
  - kotoučové děrovací stolici s letmo uloženými kotouči, nebo na
  - děrovací stolici s hřibovitými letmo uloženými válci (velmi málo používané);
2. podélné válcování dutých předvالكů na automatiku na trubky požadované tloušťky stěny;
3. příčné válcování na hladicí stolici pro hlazení vnějšího a vnitřního povrchu trubky;
4. podélné válcování v kalibrovací stolici pro dosažení přesného vnějšího průměru trubky.

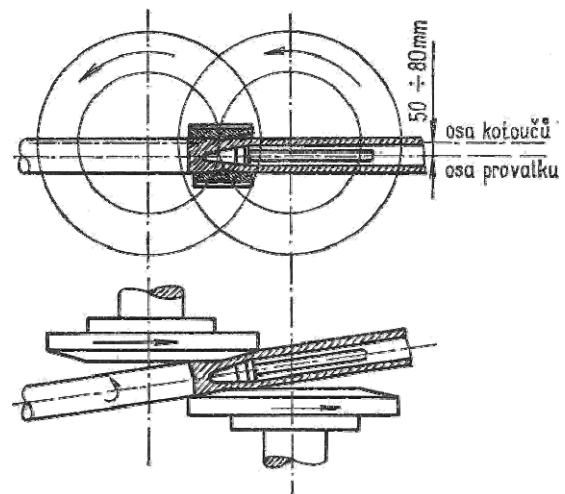
Charakteristickým znakem technologie válcování trubek na tratích s automatikem je poměrně značný stupeň deformace na děrovací stolici, což vyžaduje již protvářený výchozí

materiál (kruhové sochory), ohříváné buď v pokulovacích pecích, nebo v pecích s otočnou kruhovou nístějí.

**Děrování** ve válcových děrovacích stolicích probíhá obdobně jako děrování kosým válcováním na tratích s poutnickými stolicemi. Pouze válce mají jednoduchý tvar dvou komolých kuželů (děrovací kužel a kužel příčného rozválcování bez kalibrační a hladicí části) a úhel sklonu os válců k ose děrování bývá větší - v rozmezí  $\alpha = 6$  až  $12^\circ$  (viz. **obr. 5.60.**). U kotoučových děrovacích stolic, jejichž osy jsou rovnoběžné, se vyvolává vtahující síla provalku (osová složka provalku obvodové síly kotoučů) a šroubovicový pohyb provalku excentricitou osy provalku vzhledem k osám kotoučů. Jak je patrné z **obr. 5.61.**, bývá tato excentricita v rozmezí 50 až 80 mm.



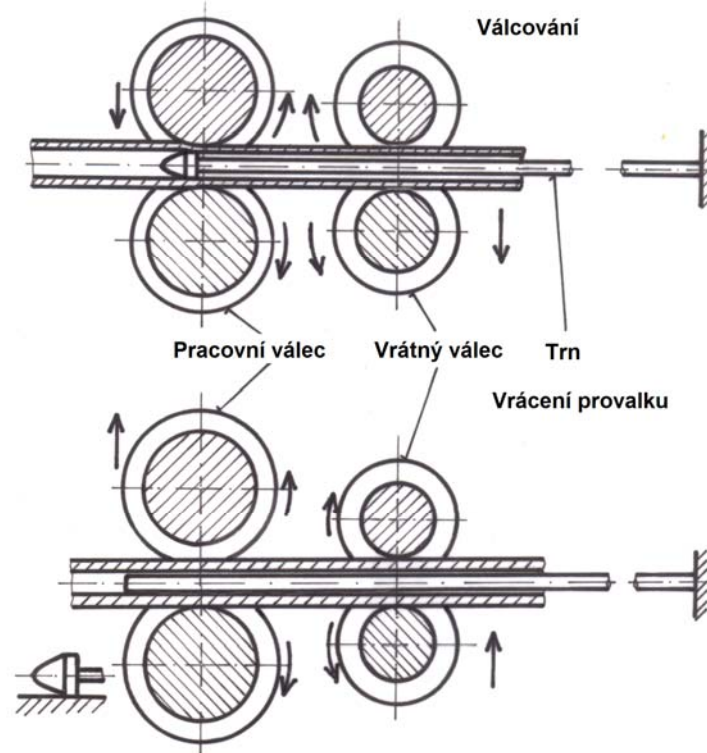
**Obr. 5.60.** Schéma děrování na válcové děrovací stolici poutnického válcování, 1 horní válec; 2 polotovár; 3 dolní válec; 4 dutý předvlek; 5 kuželový trn; 6 opěrná tyč



**Obr. 5.61.** Schéma děrování na kotoučové děrovací stolici

Pásmo deformace děrovacích stolic (válcových i kotoučových) je vymezeno nejen pracovními válci nebo kotouči, ale též vodítky, přizpůsobenými tvaru válců nebo kotoučů. Tím je vytvořen uzavřený kalibr, který dovoluje válcovat poměrně dlouhé, tenkostěnné předvalky se součinitelem prodloužení  $\lambda = 5$  i více. Nejmenší tloušťka dutých předvalků je 6 až 7 mm. U tratí s automatikem se někdy používá dvou děrovacích stolic a děruje se na dvakrát.

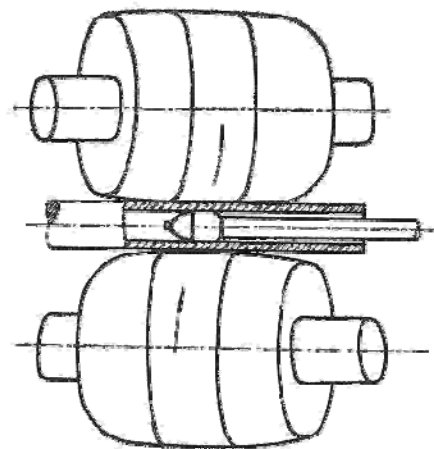
**Válcování na automatiku** (plug mill) je podélným válcováním v kruhovém kalibru na trnu<sup>o</sup> (viz. **obr. 5.62.**). Pracovní stolice je dvouválcová s válci opatřenými po délce těla kruhovými kalibry pro různé průměry válcovaných trubek. Horní válec je stavitelný a trubka příslušného rozměru se válcuje pouze v jednom kalibru dvěma až třemi průchody. Po každém průchodu se trubka pootočí o  $90^\circ$  podél své osy a na trnovou tyč se nasadí ochlazený snímatelný trn. Zpětný pohyb provalku se uskuteční po rozevření pracovních válců a vyjmutí trnu pomocí vratných válců. Na automatiku se vyválcuje požadovaná tloušťka stěny trubky. Součinitel prodloužení trubky na automatiku bývá  $\lambda = \text{max. } 2 \text{ až } 2,2$ .



Obr. 5.62. Schéma válcování na automatiku

Vnější obrys trubky po válcování na automatiku není přesně kruhový vlivem bočních výronků a jistého rozevření bočních stěn kalibru proti úplnému kruhu. Proto postupuje trubka na **hladicí stolici** (viz. obr. 5.63.), kde je podrobena mezi dvěma mimo běžnými válci a trnem příčnému válcování. Příčným rozválcováním se poněkud zvětší průměr trubky a trubka se částečně zkrátí. Vyrovná se tloušťka stěny trubky po jejím obvodu a současně se na trnu vyhlazuje i její vnitřní povrch.

V kalibrovací stolici je trubka podélným válcováním v kruhových kalibrech bez trnu poněkud redukována na přesný vnější průměr, aniž se podstatně změní její tloušťka.

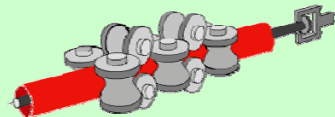


Obr. 5.63. Schéma válcování na hladicí stolici



### CD-ROM 39 Animace válcování trubek

Válcovna bezešvých trubek se systémem rozválcování trubky na vícestolicové trati **podélným válcováním** na pevném trnu. ([www.eztm.ru](http://www.eztm.ru))





## Σ Shrnutí

Válcovací tratě se dělí podle různých kritérií. Podle konstrukce stolice rozeznáváme dua, tria, kvart, sexta a víceválcové stolice, podle směru válcování pak jednosměrné a vratné stolice. V ČR je běžné dělení podle typu vývalku: předválcové tratě, tratě pro válcování těžkých, hrubých, středních a jemných tvarových vývalků. Tratě pro válcování drátu, plechů, pásů a trubek. K vybavení válcovací tratě patří: pece dopravníky a manipulátory, odokujovací zařízení, stolice, řízené a volné ochlazování (chladníky), pily a nůžky pro dělení provalků, měřicí zařízení atd.



## Otázky 5.2.

- 5.2.1) Co je to pásmo deformace při válcování? Jaké jsou hlavní kritéria, podle kterých rozdělujeme válcovací tratě?
- 5.2.2) Jaké znáte typy konstrukcí válcovacích stolic?
- 5.2.3) Jak se dělí stolice podle počtu válců?
- 5.2.4) Jaké jsou výhody válcování na duo stolicích?
- 5.2.5) Co je hlavní výhodou stolic trio?
- 5.2.6) K čemu se používá Lauthovo trio? Nakreslete schéma válcování na Lauthově triu.
- 5.2.7) K čemu se používají kvarto stolice a v čem vidíte jejich největší výhody?
- 5.2.8) Kolik válců mají a k čemu se používají mnohoválcové stolice?
- 5.2.9) Co je to univerzální stolice? Uveďte příklady použití.
- 5.2.10) Kde se můžete setkat se žlábkovými kolejnicemi?
- 5.2.11) Diskutujte o výhodách a nevýhodách jednosměrného nebo vratného provedení stolic.
- 5.2.12) Nakreslete schéma válcovací tratě s jednou stolicí.
- 5.2.13) Popište uspořádání tratě se stolicemi v ose.
- 5.2.14) Čím se liší tratě průběžné od spojitých?
- 5.2.15) Jaké je české pojmenování pro trať cross-country?
- 5.2.16) Popište spojitou válcovací trať? K čemu se používá?
- 5.2.17) Jak dělíme tratě podle druhu vývalků?
- 5.2.18) K čemu slouží blokovna?
- 5.2.19) Jaký je rozdíl mezi blokem a bramou, a blokem a sochorem?
- 5.2.20) Jak vypadají válce používané na blokovnách?
- 5.2.21) K čemu se používá slabing?
- 5.2.22) Čím se vyznačují moderní sochorové tratě?
- 5.2.23) Jaké znáte tvarové vývalky? Načrtněte z každé kategorie dva zástupce.
- 5.2.24) Co patří do sortimentu válcoven těžkých tvarových vývalků?
- 5.2.25) K čemu se používají širokopřírubové nosníky?
- 5.2.26) Vysvětlete, proč se kolejnice považuje za jeden z nejnáročnějších vývalků?
- 5.2.27) Popište uspořádání tratí pro válcování drátu.



## Otázky 5.2.

- 5.2.28) Popište technologii válcování v předhotovných pořadích válcovací tratě pro válcování drátů.
- 5.2.29) Co to jsou hotovné bloky? Popište jejich základní prvky.
- 5.2.30) Co se myslí pod pojmem řízené ochlazování drátů? Jaké můžeme očekávat benefity při zavedení řízeného ochlazování drátů?
- 5.2.31) Jaké znáte způsoby řízeného ochlazování drátů? Popište základní funkční části jednotlivých systémů.
- 5.2.32) Jak jsou definovány tlusté plechy?
- 5.2.33) Jaké typy výrobních zařízení se používají pro válcování tlustých plechů?
- 5.2.34) Proč se při válcování tlustých plechů klade velký důraz na tuhost pracovních stolic?
- 5.2.35) Jaké maximální šířky plechů se vyráběje ve světě a v ČR?
- 5.2.36) Diskutujte o výhodách a nevýhodách jednostolicových a dvoustolicových tratí pro tlusté plechy.
- 5.2.37) Jaké existují způsoby odstraňování primárních okujů?
- 5.2.38) Čím je válcování tlustých plechů výjimečné?
- 5.2.39) Popište a načrtněte výrobní postup při válcování tlustých plechů.
- 5.2.40) Jaké znáte základní typy válcovacích tratí pro válcování pásů za tepla.
- 5.2.41) Jaké se vyrábějí maximální šířky pásů?
- 5.2.42) Popište Steckelovu válcovací trať. Jaké jsou výhody a nevýhody této konstrukce?
- 5.2.43) Čím se liší tradiční a moderní spojitá trať pro válcování pásů za tepla?
- 5.2.44) Co je to colibox?
- 5.2.45) Popište moderní spojitou trať pro válcování pásů za tepla.
- 5.2.46) K čemu slouží zvedače smyček na spojitě trati?
- 5.2.47) Jaké minimální tloušťky pásů lze válcovat za tepla?
- 5.2.48) Co je to planetová stolice? Jak velké deformace lze provést jediným úběrem. Může tato stolice zabrat polotovary do válcovací mezery?
- 5.2.49) Popište univerzální trať pro válcování širokopřírubových nosníků.
- 5.2.50) Jaké existují způsoby válcování bezešvých trubek?
- 5.2.51) Popište Mannesmannův způsob válcování trubek.
- 5.2.52) Jak dochází ke vzniku dutiny ve vývalku na děrovací stolici?
- 5.2.53) Popište princip poutnické stolice.
- 5.2.54) Popište způsob válcování trubek na trati s automatikem.
- 5.2.55) Popište princip automatiku.
- 5.2.56) K čemu slouží hladicí stolice?



## Další zdroje

- [01] ŽÍDEK, M., DĚDEK, V., SOMMER, B., *Tváření oceli*. SNTL, Praha 1988, ISBN 04-408-88
- [02] ŽÍDEK, M., KUŘE, F., *Válcování*, Skripta VŠB, Ostrava, 1983,

## 6. PŘÍKLADY VÁLCOVACÍCH TRATÍ



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

- Získat přehled o válcovacích tratích našeho regionu
- Popsat klíčové technologické uzly nejvýznamnějších válcoven Moravskoslezského kraje
- Rozdělit uvedené válcovny podle kritérií popsaných v předchozí kapitole
- Na základě dříve uvedených zkušeností odhalit slabé a silné stránky popsaných válcovacích tratí
- Nakresli zjednodušené schéma uvedených tratí
- Navrhnou (v hrubých rysech) vlastní supermoderní trať pro různé typy vývalků



### Obsah kapitoly

6.1. Třinecké železářny, a.s. ....	172
□ Třinecké železářny – těžká trať pro válcování kolejnic .....	172
□ Třinecké železářny – válcovna jemných profilů (válcovna C).....	175
□ Třinecké železářny – válcovna drátu (válcovna D).....	178
6.2. Třinecké železářny –VÚHŽ dobrá, a.s. ....	185
□ Válcovna speciálních profilů .....	185
6.3. Třinecké železářny, a.s. - Válcovna Trub.....	188
6.4. Třinecké železářny, a.s – další tratě .....	190
□ Třinecké železářny – Střední trať (válcovna B).....	190
□ Třinecké železářny – sochorová válcovna Kladno.....	190
□ Třinecké železářny – Univerzální válcovna Bohumín .....	190
6.5. ArcelorMittal Steel Ostrava, a.s. ....	191
□ Hrubá Cross-country (HCC) trať .....	192
□ Pásová trať P1500 Steckel (Minihut) .....	195
□ Středojemná válcovací trať .....	196
6.6. ArcelorMittal Tubular Products Ostrava, a.s. ....	200
□ Výroba bezešvých trubek na trati Stiefel 4-10“ .....	200
6.7. Evraz Vítkovice Steel.....	204
□ Kvarto 3,5 Evraz Vítkovice Steel, a.s. ....	206
□ Výroba profilů a ocelových tyčí, Evraz Vítkovice Steel, a.s. ....	211
6.8. ŽDB Group, a.s. Bohumín .....	213
□ Závod válcovna - Jemná trať .....	213



**Čas ke studiu: 4 hodiny**



Členění této kapitoly se odlišuje od ostatních kapitol. Čas ke studiu se týká celé kapitoly. Nevyskytují se zde prakticky žádné nové pojmy. Není zde shrnutí každé podkapitoly, otázky jsou společně uvedeny až na konci kapitoly, apod. Pro studenty je asi nejpodstatnější, že žádná zkušební otázka se přímo netýká ničeho v této kapitole, ale pokud budete odpovídat na otázku např. Válcování pásu, můžete použít informace o trati P1500 popsané v této kapitole.



## VÝKLAD

### 6.1. Třinecké železářny, a.s.

Třinecké železářny v Moravskoslezském kraji patří k průmyslovým podnikům s nejdéší tradicí hutní výroby v České republice. Třinecká huť byla založena v roce 1839 Těšínskou komorou, která spravovala majetek arcivévody Karla Habsburského ve východním Slezsku. Z roku 1906 pochází ochranná známka „tři kladiva v kruhu“, která doprovází hutní výrobky až do dnešních dnů. V té době se staly Třinecké železářny nejdůležitější součástí Báňské a hutní společnosti. Díky postupné koncentraci menších hutních závodů Těšínské komory dochází v 70. a 80. letech 19. století k významné změně – z původně jen slévárenského a vysokopečního závodu se proměnila na integrovanou huť.

Ve dvacátých letech 20. století patřily železářny k nejmodernějším hutním závodům s uzavřeným výrobním cyklem ve střední Evropě. Tak skvělého výsledku bylo dosaženo razantní modernizací silné „Báňské a hutní společnosti“. V roce 1929 představoval podíl železáren na československé výrobě surové oceli 23% a válcovaném materiálu 31%.

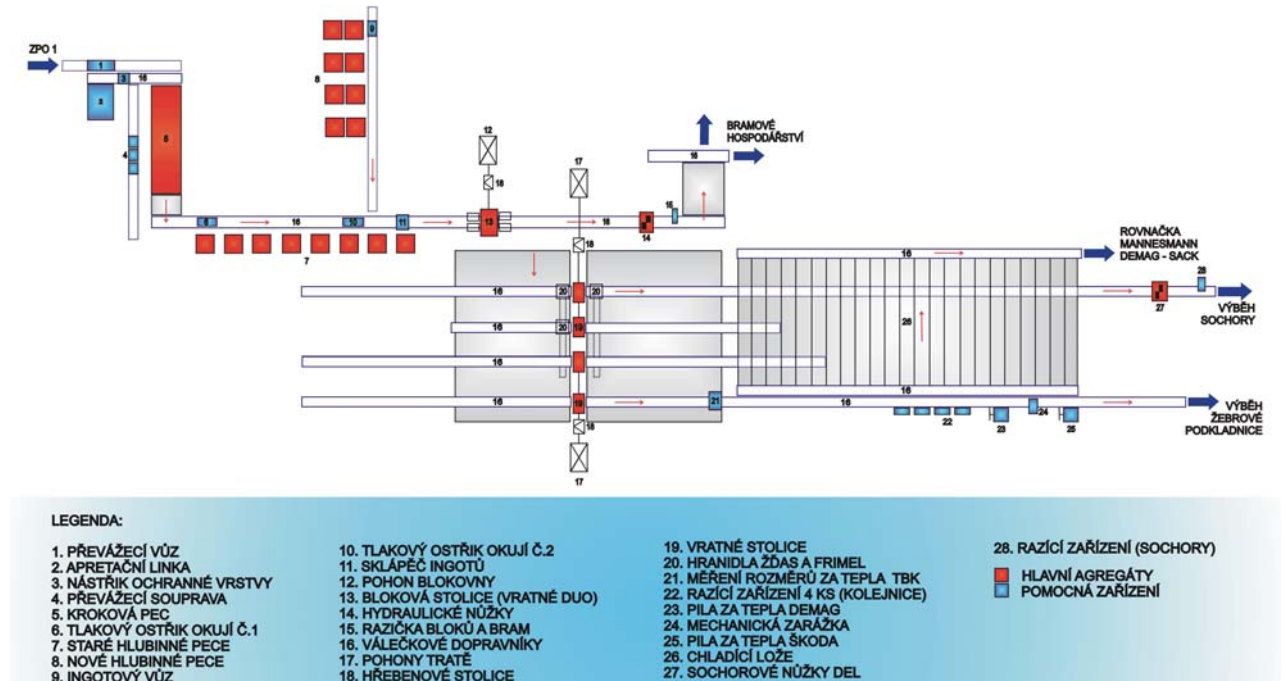
V důsledku změny politického systému v Československu v roce 1989 docházelo k postupné privatizaci Třineckých železáren. O sedm let později jsou Třinecké železářny zcela odstátněny a jejich majoritním vlastníkem se stává akciová společnost Moravia Steel.

Od roku 1996 začalo docházet ke změnám v řízení podniku a stanovení nových strategických cílů, jako je například nákup a investice do nových technologií, snižování počtu zaměstnanců, zvyšování produktivity práce, kladení důrazu na jakost a kvalitu vyráběného materiálu atd. Toto vše a mnoho dalších dílčích opatření vedlo k tomu, že v dnešní době jsou železářny zcela konkurenceschopné, a její výrobky nacházejí uplatnění po celém světě. Mezi nejdůležitější výrobky, u nás i v celém světě, jistě právem patří třinecké kolejnice.

#### □ Třinecké železářny – těžká trať pro válcování kolejnic

Provozní schéma tratě je na **obr.6.1**. Ohřev plynule litých předlitků (PLP) o rozměru 300 x 350 mm a 300 x 385 mm se odehrává v krokové peci (5). Jedná se o 5-ti zónovou průběžnou pec s bezohřevovým pásmem na vstupní straně, s plně automatickým ohřevem, zavážením i tažením. Pohyb PLP v peci umožňuje systém pohyblivých a pevných krokovacích trámů. Pec je vyzděná žáruvzdorným betonem a ohřev je prováděn směsným plynem pomocí stropních hořáků. Doba ohřevu kontislitku na válcovací teplotu je 5 hodin. PLP je poté dopraven pomocí válečkového dopravníku přes dva ostříky okují (6 a 10), které zaručují dokonalé odstranění primárních okujů k Blokovi I (13). Zde dochází k proválcování na rozměry vstupního nápichu pro vratnou trať. Rozměry nápichového průřezu jsou určovány značkou vyráběných ocelí a tvarem jednotlivých kolejnic nebo profilů. K odválcování předvalku pro vratnou trať se používá na blokovi I předválcovacího dua o průměru válců 960 mm. Válcovací rychlost je 3 - 6 m·s<sup>-1</sup>, délka válce 2 250 mm. Tyto válce mají 5 kalibrů. Nápitch pro vratnou trať je válcován s pravidelným hraněním na 7 průchodů a tento nápitch je pro každý tvar kolejnice jiný. Dále předvalek postupuje na vratnou trať: jedná se o otevřenou čtyřstolicovou trať. 1. a 2. stolice je poháněna 1. pohonem, 3. a 4. stolice 2. pohonem (viz.

obr. 6.2.). Během válcování kolejnic se používá vysokotlaký ostřík okují a mazání kalibrů ekologickým olejem. Před 2., 3., 5., 6., 7., 8. a 9. kalibrem je nainstalovaný vysokotlaký ostřík okují. Tlaková voda zabezpečuje odstranění sekundárních okují vzniklých v procesu válcování.



Obr.6.1. Provozní schéma vratné tratě



Obr.6.2. Vratná trať pohled na stolice od blokovny, vlevo stolice pro válcování sochorů

Bezprostředně po vyválcování je hotová kolejnice za tepla proměřena zařízením TBK. Zařízení TBK je on-line zařízení k laserovému měření válcovaného materiálu. Na válcovně jsou umístěné dva typy zařízení TBK: a to TBK<sub>h</sub> pro měření rozměrů za tepla (**obr. 6.3.**) a TBK<sub>k</sub> jenž měří rozměry za studena .

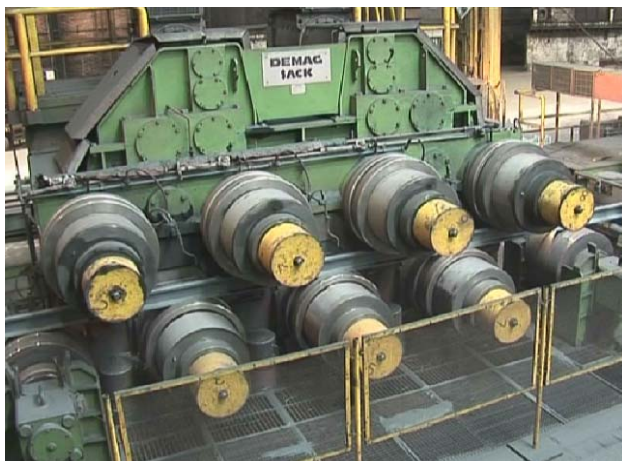
Hotová kolejnice je přesunutá na vlečnickové chladicí lože (viz. **obr. 6.4.**). Chladicí lože je rozděleno na 3 sekce lanových vlečníků, které jsou navzájem elektricky spřaženy. Kolejnice umístěné na chladicím loži samovolně chladne. Během tohoto procesu klesne její teplota z původních 900 °C na 50 °C. Tímto ochlazením dochází nejen k smršťování, ale také k deformaci kolejnice.



**Obr. 6.3.** Zařízení pro měření rozměrů kolejnic za tepla (TBK)



**Obr. 6.4.** Chladicí lože, vlevo vzadu zařízení TBK



**Obr. 6.5.** Rovnání kolejnic



**Obr. 6.6.** Kontrola rozměrů a defektoskopie

Kolejnice po samovolném vychladnutí je následně dorovnána na rovnacím zařízení fy Mannesman-Demag-Stack (viz. **obr. 6.5.**). Na tomto zařízení probíhá rovnání jak v horizontální, tak ve vertikální ose. Rovnacího efektu se dosahuje několikerým prohnutím rovnaného materiálu v oblasti plastické deformace.

Každá vyrovnaná kolejnice prochází měřícím centrem (viz. **obr. 6.6.**), kde je prováděna kontrola rozměrů, povrchových vad, přímosti a vnitřní celistvosti. Měření přímosti a rozměrů kolejnic se provádí laserem. Kontrolu povrchových vad zajišťuje linka Eddytron 4.1 a kontrolu vnitřních vad provádí linka Sonotron 5.1.

Laserové zařízení umožňuje průběžně proměřovat a kontrolovat rozměrové parametry kolejnic a přímost pojezdové hrany v obou rovinách. Zařízení pracuje na principu bezdotykového měření kolejnic pomocí 10 laserových senzorů.

Linka Eddytron 4.1, pracuje na principu automatického nedestruktivního zkoušení povrchu kolejnic. Zařízení pracuje na bázi vířivých proudů, je řízeno počítačem a je vybaveno šesti dynamickými sondami k zjišťování podélných vad a čtyřmi stacionárními sondami k zjišťování příčných vad.

Linka Sonotron 5.1, pracuje na principu nedestruktivní ultrazvukové kontroly kolejnic a vyhodnocování vnitřních vad. Zařízení je vybaveno 16 UZ sondami, avšak pro praktickou kontrolu se ve většině případů používá 12 sond (5x hlava, 4x stojina a 3x pata). Minimálně každých 24 hodin nebo podle požadavků norem a při změně tvaru kolejnice musí být linka zkalibrována.

Důkladně zkontrolovaná kolejnice je dopravena válečkovým dopravníkem na pilovrtací stroje fy Linsinger a Wagner, které zabezpečují dělení kolejnic na přesné zakázkové délky. Po zpracování kolejnice na pilovrtacích strojích dochází k přeměření laserem přímosti konců kolejnic. Případné dorovnání se provádí na lisech Berner.



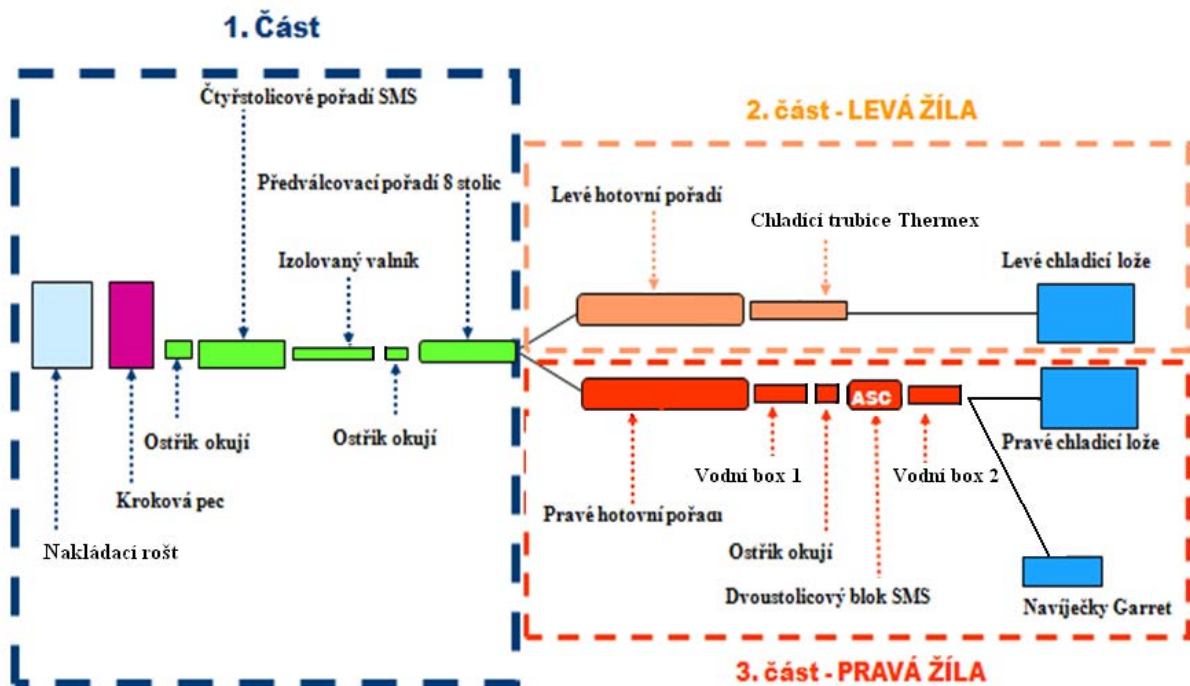
**CD-ROM** 40 TŽ válcování kolejnic.

#### □ **Třinecké železářny – válcovna jemných profilů (válcovna C)**

Kontijemná trať v Třineckých železárnách byla uvedena do provozu roku 1960. V této době byly hlavním vyráběným sortimentem betonářské, konstrukční a ploché oceli [8]. Historický vrchol z hlediska produkce oceli a válcovaného materiálu zaznamenaly Třinecké železářny v 80. letech 20. století. Zároveň se zvýšenými požadavky na kvalitu muselo docházet také k modernizaci hutních technologií. V roce 2003 tak došlo k modernizaci kontijemné válcovací tratě (viz. **obr. 6.7.**). Cílem modernizace bylo zavedení takových technologií, díky kterým by produkce oceli reagovala na trh, a to zejména s dlouhodobým záměrem se soustřeďovat na automobilový průmysl.

Vstupním materiálem jsou sochory (kvadráty 150 mm, délky se pohybují v rozmezí 8,5 -12 m.). Ohřev vsázky na válcovací teplotu zajišťuje kroková pec se spodním a horním ohřevem. Pec je vytápěna směsným plynem a sochory jsou do pece vkládány bočním válečkovým dopravníkem. Sochory jsou připraveny na pevných trámčích, odkud si je odeberou pohyblivé trámce, které zajišťují krokový mechanismus za současného ohřevu vsázky na konečnou válcovací teplotu.

Přípravné čtyřstolicové pořadí (viz. **obr 6.8.**) tvoří válcovací stolice S.I.M.A.C. Stolice jsou sestaveny v pořadí horizontální, vertikální, horizontální, vertikální. Průměr válců 620/520 mm a délka těla válce je 850 mm. Kalibrace válců umožňuje válcovat kvadráty 150 mm na vývalek kruhového průřezu průměru 100 mm. Vývalky tohoto průměru jsou dopravovány zakrytovaným izolovaným valníkem do dvoužilového válcovacího pořadí. Termovalník slouží k homogenizaci teploty po průřezu provalku.



Obr.6.7. Schéma kontijenné tratě



Obr.6.8. Přípravné čtyřstolicové pořadí



Obr.6.9. Předválcovací pořadí

Na předválcovacím pořadí (viz. **obr. 6.9.**) jsou válcovací stolice uspořádány pouze horizontálně a válcovacích stolic je osm. Z výchozího materiálu o průměru 100 mm lze válcovat vývalky o rozměrech 82 až 31 mm. Za předtratí se válcovací trať dělí na pravé hotovni pořadí a levé hotovni pořadí.

**Pravé hotovni pořadí** začíná smyčkovacím stolem a nůžkami N3 pro odstříhání předních a zadních konců vývalku. Obsahuje osm stolic (viz. **obr. 6.10.**), které jsou uspořádány tak, že první dvě stolice jsou horizontální a poté se střídají vertikální a horizontální. Maximální výstupní rychlost je  $15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Za poslední stolicí tohoto pořadí je materiál dále zpracováván dle sortimentu. Bez chlazení se zpracovává hladká kruhová, šestihranná, plochá ocel a úhelníky. U betonářských ocelí je použita metoda „slittrolling“ přes chladicí sekci Thermex. Posledním způsobem je řízené chlazení hladké kruhové oceli v šestimetrové chladicí sekci SMS Schloaman.





**Obr. 6.10.** Pravé hotovní pořadí



**Obr. 6.11.** Dvoustolicové ASC pořadí

Za tímto válcovacím pořadím následuje pořadí ASC (Automatic system control) stolic. ASC obsahuje dvě stolice s uspořádáním VH (viz. **obr. 6.11.**). Mají funkci přesného doválcování vývalku. Průměry válců jsou 360/295 mm a délka těla válce je 160 mm. Systém je plně automatický s použitím dvou laserových měřících přístrojů, které na základě on-line měření okamžitě vyhodnocují a regulují potřebný úběr u válcovací stolice. Výstupní válcovací rychlost je 1,2 až 15 m.s<sup>-1</sup>.

Za ASC stolicí se nalézá chladicí sekce pro řízené ochlazování a výhybka, která umožňuje válcování do svitků na navíječkách typu Garret. Do svitků lze válcovat ocel kruhovou, šestihrannou a čtvercovou a to v rozmezí od 15 po 50 mm. Před samotným navinutím vývalek prochází poháněčem, nůžkami N6 a vodní skříní (WB3) s automatickou regulací teploty. Za vodní skříní je materiál dopraven k výhybce, která rozděljuje materiál do navíjecího bubnu č. 1 nebo 2, které jsou znázorněny na **obr. 6. 12.**

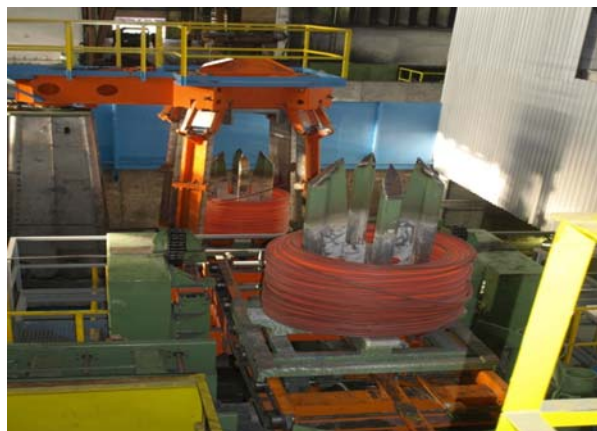
Na **obr. 6. 13.** je svitek vytlačen z komory navíječky, uchopen čtyřramennými kleštěmi zavěšenými na otočném stojanu a přemístěn na přepravní paletu. Svitek nasazený na paletě je paletovým dopravníkem transportován až k místu překlopení na hákový dopravník. Během transportu je materiál volně ochlazován na vzduchu nebo může být podroben technologii zrychleného ochlazování (k dispozici je 6 ventilátorů) nebo zpomaleného vychlazování v izolovaných tunelech (2 tunely s kapacitou 12 svitků/tunel). Na konci paletového dopravníku je situován hydraulický překlápěč, který svitky umisťuje na háky. Takto zavěšený materiál prochází přes stanoviště kontroly rozměru a vizuální kontroly povrchu, dále jsou z něj odebírány zkušební vzorky a odstřihávány přední a zadní konce svitku. Upravený svitek je zvážěn, slisován a svázán ocelovou páskou.

**Levé hotovní pořadí** začíná převáděcím valníkem k levé žile, smyčkovým stolem a nůžkami. Obsahuje osm stolic (viz. **obr. 6.14.**) s uspořádáním stejným jaké má pravé hotovní pořadí. Za výstupní stolicí jsou umístěny dvě chladicí sekce Thermex pro žebírkové betonářské oceli metodou „slittrolling“ v průměrech 10, 12, 14 a 16 mm. Dále následují rotační nůžky pro dělení na chladničkové délky. Za nimi jsou umístěny chladicí sekce Thermex pro řízené ochlazování žebírkových betonářských ocelí v průměrech 18 až 32 mm. Následně

je vývalek dopraven valníkem na levé chladicí lože. Ochlazené vývalky z chladicího lože jsou připraveny k dalším úkonům (dělení na obchodní délky, svázání).



*Obr. 6.12. Navíjecí bubny*



*Obr. 6.13. Transport svitků*



*Obr. 6.14. Levé hotovní pořadí*



### **CD-ROM 41 TŽ kontijemná profilová trať**

#### **□ Třinecké železářny – válcovna drátu (válcovna D)**

Spojité válcovna drátu v TŽ a.s., neboli kontidrátová trať (KDT), se v současné době řadí mezi nejmodernější tratě na světě. Původní 4-žilová válcovací trať typu Morgan byla uvedena do provozu v roce 1973. Byla projektována na výrobní kapacitu 600 kt/rok. Válcoval

se drát o průměru 5,5 až 11 mm ze sochorů o průřezu 108 x 108 mm. Rostoucí požadavky na kvalitu drátů a zvyšující se náklady potřebné k jejich výrobě vedou ke stálému zlepšování stávajících zařízení a technologií. Mezi hlavní požadavky patří vysoká povrchová kvalita drátu a vhodné mikrostrukturní stavy materiálu, které mají vliv na mechanické vlastnosti ocelového drátu.

K dosažení těchto parametrů byla v roce 1997 zahájena I. etapa modernizace tehdejší 4-žilové tratě s výstupní rychlostí provalku  $50 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  na dnešní 2-žilovou vysokorychlostní (max.  $120 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) spojitou drátovou trať. Ta umožňuje řízené válcování drátu s předem určenou teplotou tvářeni v hotovním bloku danou vodním chlazením před hotovním blokem, nebo i v samotném hotovním bloku. Vodními chladícími sekcemi, které jsou za hotovním blokem, se určuje teplota drátu při jeho pokládání na Stelmor dopravník. Po této etapě zůstaly vstupním materiálem stále sochory kvadrátu 108 mm a délky 12 m, a tím pádem i hmotnost svitku 1 000 kg.

V roce 2000 prošla válcovací trať II. etapou rekonstrukce. Byla postavena kroková ohřívací pec, čtyřstolicové přípravné pořadí a úsek odbavování svitků. Tato modernizace umožnila vsázku spojitě litých nebo válcovaných sochorů o průřezu 150 x 150 mm a délce 12 m, čímž se zvýšila hmotnost svitků drátu na 2000 kg, s možností výroby svitků až o hmotnosti 3 000 kg (vsázka kvadrát 180 mm).

Moderní vysokorychlostní 2-žilová válcovací trať (**obr.6.15.**) umožňuje válcování drátu o průměru 5,5 mm do 20 mm, s odstupňováním po 0,5 mm. Výrobní kapacita KDT je 820 000 kt/rok. Maximální ovalita činí 60 % tolerančního pole.

Garantované tolerance pro jednotlivé průměry drátu:

$\pm 0,12 \text{ mm}$  pro  $d = 5,5 - 8 \text{ mm}$

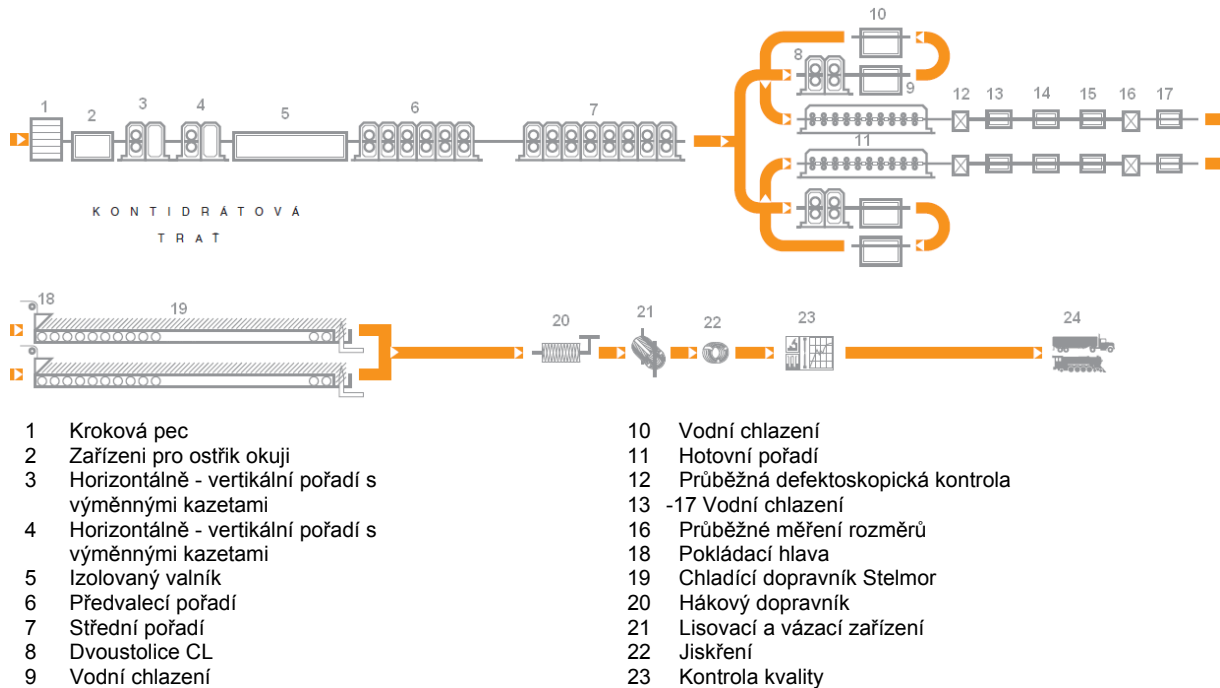
$\pm 0,15 \text{ mm}$  pro  $d = 8,5 - 14 \text{ mm}$

$\pm 0,20 \text{ mm}$  pro  $d = 14,5 - 20 \text{ mm}$

Na KDT se válcují dráty nízko-, středně- a vysokouhlíkové, dále dráty pro výrobu lan a pramenců, pro ocelové kordy, pro přídatné svařovací materiály, pro spojovací a strojní součásti, pro výrobu řetězů, pro výrobu pružin, a také drát z ložiskové oceli a z automatové oceli.

### ***Kroková ohřívací pec***

Z důvodu změny vsázkových polotovarů byla narážecí pec nahrazena pecí krokovou. Původní vsázka, válcované sochory kvadrátu 108 mm, byla nahrazena kontislitky nebo válcovanými sochorami kvadrátu 150 mm délky 12 m. Kroková ohřívací pec byla dodána firmou Danieli. Pec je vybavena horním a spodním ohřevem s maximálním možným výkonem 180 t/hod. Hlavním palivem je směsný plyn, nouzovou alternativu tvoří zemní plyn. Samotný ohřev a regulace teploty je v této peci zabezpečen automaticky. Teplota povrchu ohřívaného sochoru se pohybuje v tolerancích  $\pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$ . Jednotlivé oceli ohřívané v této peci jsou rozříděny do skupin a těm je pak přiřazena daná strategie ohřevu – ohřevová křivka. Pec je rozdělena do 9-ti ohřívacích zón, které jsou odděleny clonami, což umožňuje „dělenou ohřívací křivku“.



**Obr. 6.15.** Schéma kontidrátové tratě

**Přípravné pořadí (viz. obr. 6.16.)**

Ohřátý sochor je po vytažení z pece zbaven okují v zařízení vysokotlakého ostřiku vodou. Před první stolicí přípravného pořadí jsou umístěny podávací válce, které slouží k bezpečnému zavedení sochoru do kalibru stolice. Přípravné pořadí tvoří čtyři bezstojanové SHS stolice o průměru válců 650 mm. Válcuje se v jedné žíle s uspořádáním H-V s kalibrační řadou ovál-kruh a s malým mezistolicovým tahem. Válcovací stolice jsou posuvné, válce jsou symetricky nastavitelné včetně axiálního stavění, což zajišťuje nastavení osy kalibru do osy válcování. Výhodou je velmi rychlá výměna kalibrů a tím pádem vysoké časové využití tratě, vynikající tuhost stolice díky optimální konstrukci a není třeba žádných zkušebních kusů při změně kalibru. Výstupem z přípravného pořadí je polotovár kruhového průřezu 120 mm.



**Obr. 6.16.** Přípravné pořadí DANIELI

**Izolační valník (tunelová pec)**

Izolační valník navazuje bezprostředně na přípravné pořadí a začíná jím dvoužilový úsek tratě. Má za úkol dopravovat sníženou zaváděcí rychlostí provalek do první stolice předválcovacího pořadí. Valník je celý zakrytý za účelem udržení teploty vývalku. Tím se eliminuje rozdíl teplot mezi přední a zadní částí provalku a díky tomu se snižují tepelné ztráty

v případě čekání před vstupem vývalku do předválcovacího pořadí. Maximální teplotní rozdíl mezi přední a zadní částí provalku je garantován 30 °C. Za izolačním valníkem jsou nůžky, které jsou používány k dělení provalku v případě havárie na trati. Valník je navržen tak, aby bylo minimalizováno nasávání vzduchu do pece a tím byl minimalizován vznik sekundárních okují. Jednotlivé žíly valníku mají individuální pohon válečků.

### ***Předválcovací pořadí***

Jedná se o staré předválcovací pořadí, které je tvořeno šesti stolicemi s horizontálním uspořádáním a s kalibrační řadou ovál–kruh. Průměr válců stolic číslo 1 až 4 je 540 mm, válců stolic 5 až 7 je 480 mm. Stolica číslo 2 dřívější čtyřžilové tratě byla zrušena, ale původní číslování bylo zachováno. Všechny pohony předválcovacího a středního pořadí jsou stejnosměrné o výkonu 800 kW. Za poslední stolicí předválcovacího pořadí jsou pro každou žílu umístěny dělicí nůžky pro ostříh počátku a konce provalku, nebo mohou sloužit pro jeho případné sešrotování.

### ***Střední pořadí***

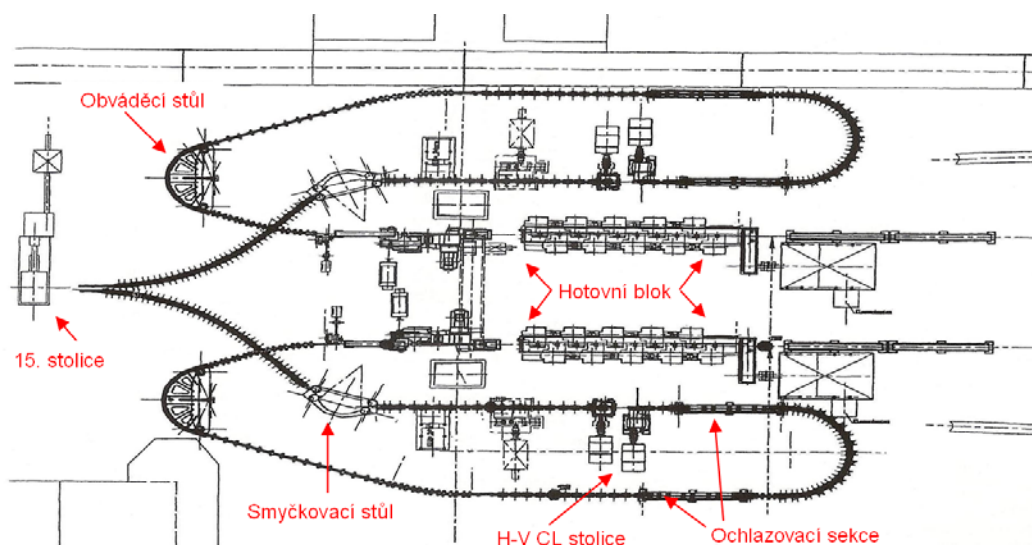
Střední pořadí tvoří celkem 8 stolic v horizontálním uspořádání s kalibrací ovál–kruh. Toto pořadí připravuje vývalky pro vstup do dvou samostatných hotovných pořadí. Průměr válců válcovacích stolic číslo 8 a 9 je 440 mm a válcovacích stolic 10 až 15 je 380 mm. Po každém lichém průchodu je zavedeno hranění provalku.

### ***Smyčka před hotovným blokem***

Za středním pořadím, jsou postaveny 2 smyčky (**obr.6.17.**), každá pro jednu válcovací žílu. Celková délka smyčky je 86 m. Tato délka zaručuje možnost vyrovnání teplot po průřezu provalku po ochlazení. Aby bylo zabráněno velkým tahům při válcování jsou ve smyčce instalovány smyčkovací a obváděcí stoly. Za smyčkovacím stolem jsou postaveny trhací nůžky. Za nůžkami jsou umístěny dvě CL stolice v uspořádání H-V (viz. **obr. 6.18.**). Tyto stolice přispívají ke zlepšení geometrie provalku a to hlavně při nízkém počtu průchodů v hotovném bloku u větších průměrů drátu. CL stolice mají letmo uložené válce ze slinutých karbidů o průměru 208 mm. Za CL stolicemi je materiál veden do dvou ochlazovacích sekcí (VS1 a VS2). Každá sekce má 3 volitelné chladicí zóny a jako chladicí médium se používá voda. Těmito sekcemi lze řídit teplotu provalku před jeho vstupem do hotovního bloku. Provalek je po výstupu z chladících sekcí veden přes obváděcí stůl k rotačním nůžkám s maximálním střížným průměrem 33 mm, které slouží k ostříhu začátku a konce provalku. Nebo může být provalek zaveden přes výhybku do šrotovacích nůžek s unášečem provalku.

### ***Hotovní blok***

Třinecká KDT je vybavena hotovným blokem typu Morgan (viz. **obr. 6.19.**). Tento blok tvoří 10 stolic s uspořádáním H-V. Kalibr vytvářejí dva kotouče, které jsou uloženy tak, že svírají s vodorovnou rovinou úhel 45°. Kotouče jsou vyrobeny ze speciálních velmi tvrdých a odolných materiálů na bázi slinutých karbidů. Válce jsou uloženy letmo, což umožňuje jejich snadnou výměnu. První tři stoličky hotovního bloku mají průměr válců 208/187x72 mm (208 mm - průměr nových válců, 187 mm - průměr válců opotřeбенých). Zbylé válce hotovního bloku mají průměr 159/143x62 mm. V hotovném bloku je instalováno mezistolicové chlazení kruhových provalků s možností regulace tlaku chladicí vody 0 až 6 bar. Maximální válcovací rychlost je 120 m.s<sup>-1</sup>, garantovaná rychlost je 105 m.s<sup>-1</sup>.



**Obr. 6.17.** Smyřka před hotovřnřm blokem



**Obr. 6.18.** Smyřka s dvřustolcř CL (SMS Meer)



**Obr. 6.19.** Hotovřnř blok (MORGAN)

### **Vodnř chlřdřcř sekce**

Bezprostřednř po vřstupu vřvřlku z hotovřnřho bloku je vřvřlek zaveden do systřmu řřzenřho vodnřho chlřzenř. Toto vodnř chlřzenř mř celkovř dřlkř 36,6 m a mř 4 chlřdřcř skřřnř (VS3 ař VS6). Kařdř chlřdřcř skřřnř je 4 m dlouhř. Chlřdřcř skřřnř mř 3 chlřdřcř a 3 střracř trysky (jedna je vzduřovř). Tlak vody pro prvņř dvř skřřnř lze regulovat v rozmezř 2 ař 6 bar. Posledņř dvř chlřdřcř skřřnř pracujř s konstantnřm tlakem vody 6 bar.

### **Poklřdřcř zařřzenř**

Před uklřdřcř hlavou je postavenř unřřeř ze slinutřch karbidř s přřmřrem kotouřř 186 mm. Zajiřřuje potřebnř rychlosti zadnřch koncř vřvřlku k uklřdřnř. U menřich přřmřř vřvřlku mř brzdicř účinek, u vřtřich přřmřř zajiřřuje zrychlovřnř. Uklřdřcř hlava je uložena se sklonem 10°. Vytvřřř zřvřry drřtu o přřmřru 1080 mm (viz. **obr. 6.20.**).

### **Stelmor dopravnřk**

Jednř se o vřleřkovř dopravnřk o celkovř dřlce 85 m (viz. **obr. 6.21.**). Je tvořen deseti samostatnř rychlostnř regulovatelnřmi sekcemi (R1 ař R10), kterř jsou jeřř vřřkovř

odstupňovány. První vstupní sekce je výškově stavitelná. Možnost samostatné regulace rychlosti jednotlivých sekcí umožňuje změnu tepelných center překrývajících se závitů a to zajišťuje rovnoměrnou rychlost ochlazování drátu. Mezi sekcí R9 a R10 je výškový rozdíl 0,1 m a dovoluje nám skokovou změnu rychlosti posuvu drátu před vstupem do sběrné komory. Rychlost dopravníku je 0,05 až 1,3 m.s<sup>-1</sup>. Způsoby ochlazování drátu se řídí podle nastaveného programu automaticky. Hustota uložených závitů drátu je daná válcovací rychlostí a rychlostí dopravníku a odvíjí se od způsobu jeho ochlazování.



**Obr. 6.20.** Pokládací hlava



**Obr. 6.21.** Dopravníky Steelmor

### ***Svitková komora***

Svitková komora je konstruována pro maximální hmotnost svitku 2 000 kg. Maximální teplota drátu vstupujícího do svitkovací komory je 600 °C. Závitů drátu se ukládají na spouštěcí svitkovou desku, která se v průběhu plnění svitku plynule spouští dolů po trnu ve svitkové komoře. Když je trn naplněn, tak se následně otočí a svitek je přemístěn ze svislé polohy do vodorovné polohy pro jeho předání na převážecí vůz, který je umístěn za svitkovací komorou. Ten naloží svitek na hákový dopravník. Každá žíla má samostatný hákový dopravník, který zajišťuje přísun prázdných a odsun plných háků na základní hákový dopravník. Zařízení je plně automatické a je ovládané hydraulikou.

### ***Měřicí zařízení***

Teplota provalku se měří průběžně 5 optickými dvouspektrálními pyrometry a jedním jednospektrálním pyrometrem firmy Raytek. Stanoviště měření teploty jsou: před vstupem do předtrati (T1), za středním pořadím (T2), před hotovným blokem (T3), za ukládací hlavou (T4), na Steelmor dopravníku (T5) - dvouspektrální pyrometry a před svitkovou komorou (T6) - jednospektrální pyrometr.

Pro dosažení požadovaných rozměrových tolerancí a požadovaného výskytu povrchových vad na vývalku, jsou na obou válcovacích žilách zavedeny dvě samostatné měřicí zařízení, které spojitě poskytují informace o kvalitě provalku:

„Mesametr“, který pracuje na bázi stínění laserového senzoru. Ten se pootáčí okolo měřeného drátu v úhlu 180° a kontinuálně měří průřez drátu za hotovným blokem.

„Defektomat“, jenž pomocí elektromagnetického vlnění kontinuálně měří povrchové parametry na provalku před hotovným blokem. Pomocí této metody je možné zjišťovat vady (jejich hloubku a počet) na povrchu vývalku a provádět odpovídající třídění hotové výroby, respektive rychle stanovit vadnou výrobu a tím zamezit zbytečným reklamacím.

### ***Doprava a manipulace se svitky, expedice***

Dodavatelem zařízení pro dopravu a manipulaci se svitky je švédská firma Sund Birsta. Komplex zařízení hákových dopravníků má za úkol odebírat svitky z uložených míst sběrných komor a dopravovat je pomocí dopravního vozíku k následujícím zařízením (viz. **obr. 6.22.**). Každý hák je vybaven identifikačním štítkem, se kterým jsou spjaty informace o svitku.

Po ostříhu konců je svitek spolu s hákem zvážen. Systém sledování svitků VAX uchovává informace o váze svitku s daným hákem. Dále je svitek dopraven hákovým dopravníkem do prostorů dvou lisů, kde je slisován a svázán drátem o průměru 7 mm ve čtyřech místech (viz. **obr. 6.23.**). V této stanici jsou vytištěny na štítek informace o daném svitku a ten je manuálně připevněn na svitek. Po svázání je svitek dopraven hákovým dopravníkem k vykládacímu vozíku, který jej sejme z háků a uloží do meziskladu. Prázdný hák se pak vrací zpět a z datové banky mu jsou předány nové informace. Z meziskladu jsou svitky odebírány buď přímo k expedici nebo k uložení na skladě.



**Obr.6.22.** Hákový dopravník



**Obr.6.23.** Lis na svitky SUND BIRSTA



**CD-ROM** 42 TŽ kontidráťová trať



## 6.2. Třinecké železárny –VÚHŽ Dobrá, a.s

Akciová společnost VÚHŽ Dobrá vznikla 1. května 1992 kupónovou privatizací ze státního podniku Výzkumný ústav hutnictví železa, původně založeného 1. dubna 1948 tehdejším generálním ředitelstvím Československé hutě pod názvem Ocelářský výzkumný ústav se sídlem v Praze. Od roku 1972 sídlí VÚHŽ v areálu vybudovaném v Dobré u Frýdku-Místku.

100 % akcionářem VÚHŽ a.s. je společnost H&S PROGRESS s.r.o. Ta je vlastněna ze 100 % společností TRINECKÉ ŽELEZÁRNY, a.s.

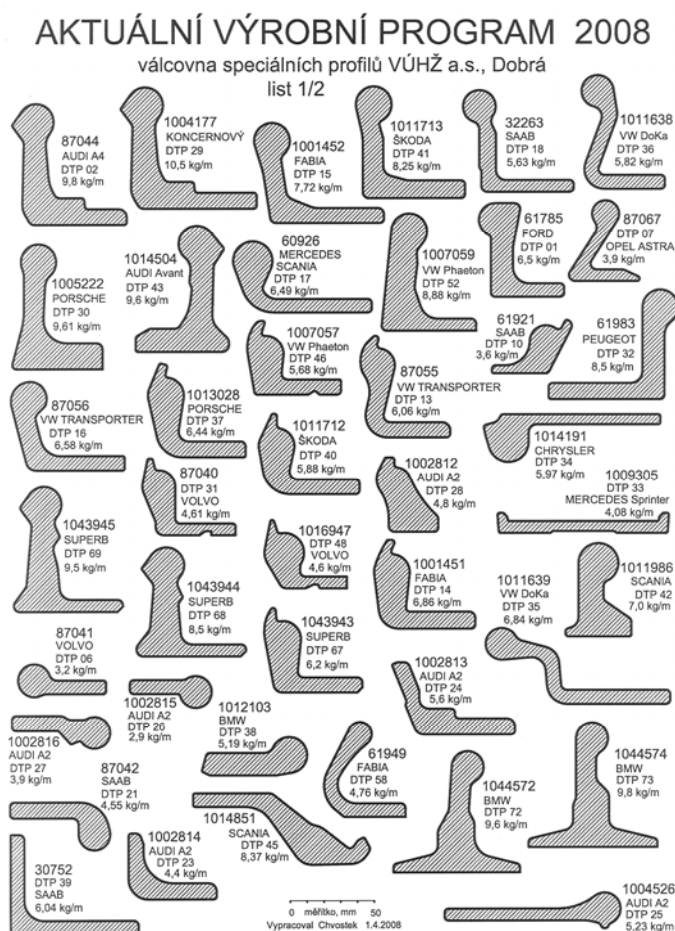
Zejména malosériová výroba je zaměřena na oblast hutní výroby (odstředivé lití, válcování profilů za tepla), strojní výroby (malosériové stroje a linky, zvukové izolace a kryty) a výroba měřicí, regulační a automatizační techniky pro průmysl. Ke konci roku 2006 společnost VÚHŽ a.s. zaměstnávala 259 pracovníků.

### □ Válcovna speciálních profilů

VÚHŽ a.s. vyrábí speciální válcované profily z konstrukčních, nástrojových a nerezových ocelí, neželezných kovů v malých výrobních sériích 10 - 100 t. Aktuální výrobní program je uveden na **obr. 6.24.**

Roční kapacita válcovny (**obr. 6.25.**) se v současnosti s modernizacemi každý rok zvedá, v roce 1994, kdy se začal válcovat první profil pro automobilový průmysl, se výroba zvýšila z 252 tun/rok přes 4000 tun/rok až po 5000 tun/rok v roce 2006. V roce 2006 představovaly tržby z výroby speciálních profilů 31% z celkových tržeb VÚHŽ. Mnoho tvarů, které se v současné době vyrábějí svařováním, spojováním, obráběním, kováním, odléváním nebo jinými způsoby, může být ekonomicky nahrazeno použitím válcovaných speciálních profilů.

Výchozí materiál je převážně odebírán z Třineckých železáren,



**Obr. 6.24.** Výrobní program válcovny speciálních profilů, u každého profilu je uvedena automobilka, nebo konkrétní model a metrová hmotnost profilu.



*Obr. 6.25. Celkový pohled na válcovnu od chladníku*

a.s. a je uložen ve skladu materiálu. Podle válcovaného profilu se poté materiál dělí na požadovanou délku a převezé se k ohřevu do plynové krokové pece. Její topný příkon je 1 500 kW, maximální teplota v peci 1 300°C, elektrický příkon 40 kVA, kmitočet 50 Hz, jmenovité napětí 400 V, výhřevnost 35 700 kJ/m<sup>3</sup> a přetlak 2,2 kPa. Jako palivo se používá zemní plyn o složení 97,5 % CH<sub>4</sub> + CO<sub>2</sub>. Vstupní strana pece je zachycena na **obr. 6.26**.



*Obr. 6.26. Sázení polotovaru do pece*



*Obr. 6.27. Výstup polotovaru z pece*

Po výstupu z pece (**obr. 6.27.**) se ohřátý předvalek dopraví pomocí válečkového dopravníku k válcovací stolici. Veškeré manipulace s polotovarem provádí valčíři manuálně pomocí kleští (viz. **obr. 6.28.**). K dispozici je zde pouze jedna válcovací stolice, na kterou se musí vejít celá kalibrační řada o 5 až 6 kalibrech. Z toho vyplývá, že na celé délce těla válce jsou zařezány jak předválcovací, přípravné, předhotovňové i hotovňové kalibry (viz. **obr. 6.29.**). Jako ukazatel pro porovnání životnosti válců se používá celková délka vývalku vyválcovaných za dobu životnosti jedné sady válců (hrubá výroba). Tento ukazatel udává, kolik kilometrů vyválcovaného profilu prošlo sadou válců za dobu její životnosti. Po odválcování a ukončení kampaně se válce vymění a renovují. Délka vyválcovaných profilů

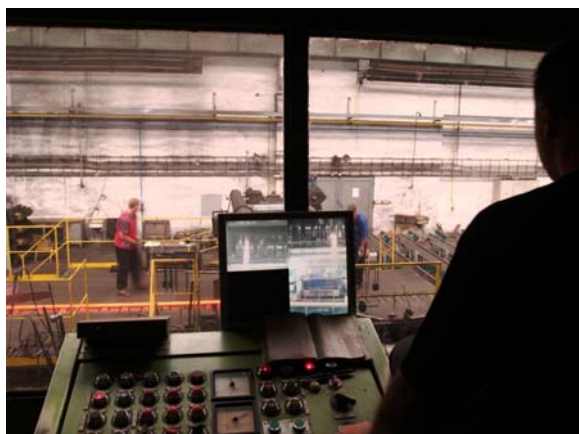


*Obr. 6.28. Ruční manipulace s provalkem*



*Obr. 6.29. Kalibry*

závisí nejen na materiálu válců, ale také i na maximálním rozsahu průměrů válců využitelného pro renovace. Maximální roztečný průměr válců je dán konstrukcí stojanů 525 mm. Při větším průměru válců už není možné válce zavést do stolice přes okna stojanu. Veškerá manipulace s pracovními válci je prováděna automaticky z řídicí kabiny (viz. obr. 6.30.).



*Obr. 6.30. Pohled z velína*



*Obr. 6.31. Sklad válců*

Po vyválnování následuje přeprava profilu pomocí valníku na chladicí rošt. Po vychlazení je profil přepraven k rovnačce. Po vyrovnání pracovníci rovnačky ořežou konce a profil uloží do balíku, který je určen k expedici.

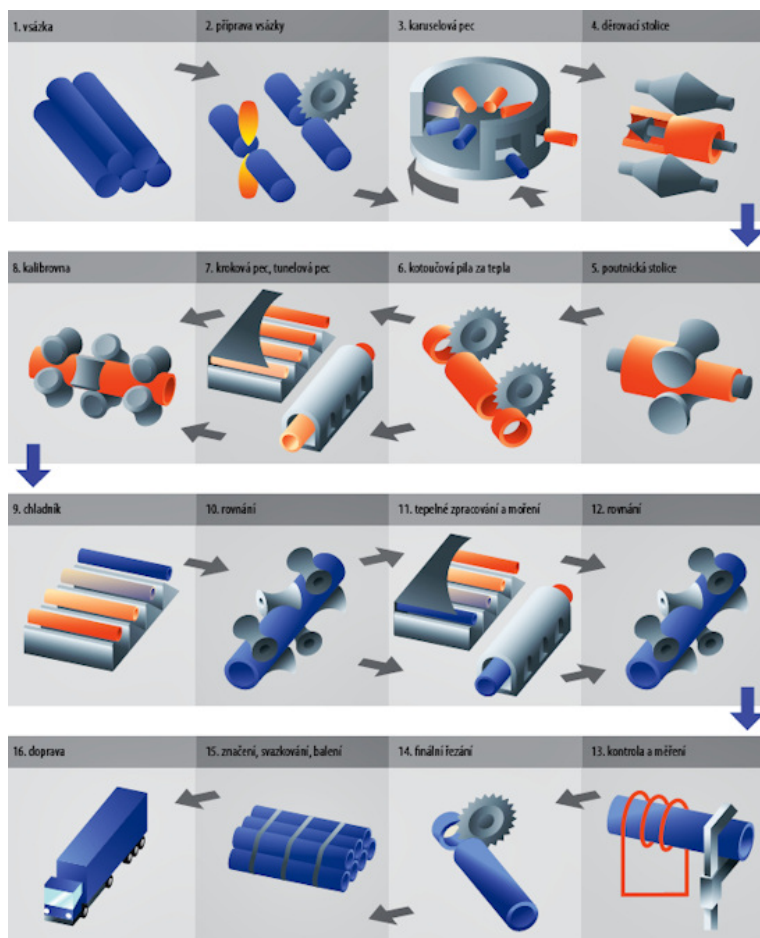
V průběhu postupu válcování se provádí 3 kontroly pro ověření tvaru, rozměru a povrchových vad. První kontrolu provádí valčíři, kteří průběžně kontrolují povrch po vyválnování každého kusu. Druhou kontrolu provádí předák a technický kontrolor. Z vyválnovaného profilu se odřeže vzorek. Ten se položí na snímač profiloměru a při zvětšení na desetinásobek se pomocí folie, na které je zakreslen přesný profil, kontrolují veškeré rozměry. Třetí kontrola bývá provedena po rovnání. Vzhledem k velmi širokému spektru vyráběných profilů, je zapotřebí velký sklad kalibrovaných válců (viz. obr. 6.31.).



### 6.3. Třinecké železářny, a.s. - Válcovna Trub

#### *Historie společnosti*

Původní výrobní závod vznikl v rámci bývalých Vítkovických železáren, kde byla první trubka vyrobena v prosinci 1883 jako trubka na tupo v plynové peci svařená – šlo o první trubku vyrobenou v tehdejší Rakousko-Uherské monarchii. Bezešvé trubky se vyráběly Erhardtovým způsobem od roku 1896, v roce 1908 byl zahájen provoz Stiefelovy tratě za osobní účasti vynálezce tohoto způsobu výroby. V letech 1918 až 1919 byla postavena trať Velký Mannesmann s úpravnou a soustružnou závitů na olejářské trubky. Do provozu byla tato trať uvedena 4. září 1919. V letech 1926 až 1927 byla postavena a uvedena do provozu trať Malý Mannesmann. Válcovací tratě Velký a Malý Mannesmann přetrvaly ve výrobě dodnes.



**Obr. 6.32.** Výrobní schéma válcovny trub

V letech 1947 – 1971 patřila k závodu i Mannesmannovská trať v tažárně trub Svinov. V roce 1962 bylo také zahájeno nedestruktivní zkoušení trubek. Provoz tažárny za studena byl ukončen společně se zastavením tratě Stiefel v roce 1997.

Od roku 1999 se stala firma samostatnou akciovou společností vyčleněnou z koncernu Vítkovic. Jediným akcionářem byla do září 2005 firma ASTONIA, a.s. ze skupiny SHIRAN GROUP, současným vlastníkem je firma TŘINECKÉ ŽELEZÁŘNY, a.s. ze skupiny MORAVIA STEEL a.s.

Výrobní schéma válcovny je uvedeno na **obr. 6.32**. Na **obr. 6.33**. až **obr. 6.38**. jsou zachyceny jednotlivé klíčové technologické uzly tratě Velký Mannesmann.



**Obr. 6.33.** Karuselová pec-sázení polotovaru do pece



**Obr. 6.34.** Doprava polotovaru k děrovací stolici



**Obr. 6.35.** Děrovací stolice – pohled zepředu



**Obr. 6.36.** Děrovací stolice – pohled zezadu



**Obr. 6.37.** Přeprava tlustostěnné trubky k poutnické stolici



**Obr. 6.38.** Poutnická stolice



**CD-ROM** 44 TŽ válcovna trub

## 6.4. Třinecké železářny, a.s – další tratě

### □ Třinecké železářny – Střední trať (válcovna B)

Sochory, které jsou ohřívány v narážecí peci střední tratě, jsou válcovány ve dvou válcovacích pořadích. Jako předválecí pořadí pracuje jedna triostolice. Hotovní pořadí má tři triostolice a jednu stolici duo.

Výrobní program tvoří kruhová, čtvercová a plochá ocel v tyčích, pružinová ocel pro parabolická péra, pružinové pásy se žebrem i drážkou, důlní kolejnice, příslušenství pro železniční svršek a speciální profily. Kapacita tratě je 150 kt/rok.



**CD-ROM** 45 TŽ střední trať

### □ Třinecké železářny – sochorová válcovna Kladno

Válce blokové stolice (průměr válců 1 120, délka 2 600 mm) a sochorové pořadí (stolice A, B průměr 880 mm délka 2240 mm, stolice C průměr 880 mm, délka 1400 mm) válcují kontislitky (kv. 350 mm) a ingoty (3,5 až 5 t), které jsou ohřívány v krokové peci a hlubinných pecích. Výrobní program sochorové válcovny tvoří tyčová ocel kruhového a čtvercového průřezu.

Za tratí je umístěna rozsáhlá úpravna s linkami pro kontrolu vnitřních i povrchových vad s loupacími, žihacími a zušlechťovacími kapacitami.

Tato válcovna, která zpracovává třinecké polotovary od roku 1998 je od 1. 7. 2002 součástí akciové společnosti Sochorová válcovna TŽ, patřící do skupiny Třineckých železáren. Její roční kapacita je 300 kt/rok



**CD-ROM** 46 TŽ sochorová válcovna Kladno

### □ Třinecké železářny – Univerzální válcovna Bohumín

Od počátku roku 2002 patří k provozům třineckých válcoven i univerzální válcovací trať v Bohumíně. Předvalky – bramy, bloky, sochory, kontislitky jsou po ohřevu v narážecí peci válcovány na triostolici s jedním párem samostatně poháněných vertikálních válců.

Za triostolicí jsou umístěna rovníková pravítka, nůžky pro dělení finálních délek za tepla a rovnačka za tepla. Materiál je dále rovnán na rovnačkách za studena.

Výrobní program univerzální tratě tvoří pásnice ploché a široké oceli v šířkách 150–750 mm a tloušťkách 5– 60 mm. V omezené míře vyrábí tato válcovna také ploštiny z legovaných a AK ocelí. Výrobní kapacita je 60 kt/rok.

## 6.5. ArcelorMittal Steel Ostrava, a.s.

Společnost ArcelorMittal Steel Ostrava, a.s. je tradičním výrobcem hutních výrobků a v současné době také největším hutním podnikem v České republice.

Jejich válcovenské výrobky jsou určeny mimo jiné především pro stavební průmysl a konstrukce. Výrobní sortiment válcoven je široký a pokrývá prakticky celou současnou poptávku konstrukční oceli v jednotlivých komoditách s výjimkou železničních kolejnic. Dle typu výrobků se válcovenská výroba společnosti zaměřuje především na:

- a) dlouhé výrobky (nosníky, profilová tyčová ocel, drát),
- b) ploché výrobky (pásky a plechy),
- c) trubky,
- d) profilová ocel pro důlní výztuže.

### *Historie společnosti*

1942 – začala se psát historie současně největší hutní společnosti České republiky. Tehdy Vítkovické železárny, v důsledku omezeného rozvoje vzhledem k umístění ve městě, započaly výstavbu svého jižního závodu v Kunčicích.

1947 – 1948 – bylo přijato rozhodnutí o výstavbě hutního kombinátu, tehdy stále ještě jako součást Vítkovických železáren.

31. prosince 1951 – došlo k osamostatnění a vznikla Nová Huť Klementa Gottwalda (NHKG), národní podnik.

1951 – 1958 – první etapa existence podniku. Celý kombinát tvořilo pět koksárenských baterií, dvě vysoké pece včetně liciho stroje, čtyři siemens-martinské a pět hlubinných pecí, blokovna, válcovna trub, slévárna šedé litiny a část elektrárny včetně vodohospodářství.

1958 – 1961 – v další etapě se rozšiřovaly zejména kapacity pro produkci základních surovin jako jsou koks, surové železo a ocel, ale také se stavěly provozy s následným zpracováním těchto produktů. Rovněž byla v tomto období zprovozněna válcovací trať a linka na výrobu osobních, nákladních a traktorových kol. Počet koksárenských baterií se navýšil o čtyři, přibýly dvě vysoké pece a pět sklopných pecí pro výrobu oceli. Byla postavena také nová blokovna, pásové tratě P-250 a P-800, kontidráťová trať, zařízení na výrobu trubek, kyslíkárna a jiné.

1967 – 1985 – rozsáhle se modernizovaly martinské pece na pece tandemové. Další větší investicí byla výstavba středojemné válcovny v jižní části závodu, centrální kyslíkárny a velkokapacitní koksárenské baterie.

1989 – došlo ke změně názvu a z NHKG se stala Nová Huť, státní podnik. S touto změnou se pojí další významné technologické události, zejména přechod od odlévání oceli do ingotů k plynulému odlévání oceli.

1993 – 1999 – byla postupně připojena zařízení pro plynulé odlévání. První v prosinci roku 1993, druhé o čtyři roky později a třetí v srpnu 1999. Tato změna přinesla větší výtěžnost oceli a v podstatě nižší energetickou náročnost. Neméně významnou událostí byla také výstavba válcovny na výrobu širokého, za tepla válcovaného pásu, která nahradila dvě zastaralé tratě a jejíž komplex je označován pásová minihut'.

2003 – koncem ledna nastal zlom, když Lakshmi Mittal, jehož strategie je založena především na restrukturalizaci a modernizaci upadajících oceláren, koupil v rámci privatizace Novou Hut' a zhruba v polovině dubna vznikla ISPAT Nová Hut', a. s.

2004 – koncem roku se opět změnil název společnosti, tentokrát na Mittal Steel Ostrava, a. s. V rámci privatizace se z některých provozů a závodů staly přidružené nebo dceřiné podniky, například JÄKL Karviná, a. s., Nová Hut' Zábřeh, a. s. nebo Vysoké pece Ostrava, a. s.

2006 - nejdiskutovanějším tématem ocelářského světa se stala snaha Lakshmiho Mittala o převzetí světové dvojky Arcelor. Koncem června tohoto roku oznámila rada Arcelorů sloučení s Mittal Steel a vznikl tak světový gigant, v důsledku čehož se změnil i název ostravské společnosti na dnešní ArcelorMittal Ostrava.

2007 – některé společnosti, které se vydělily v roce 2004, se opět organizačně připojily k mateřské společnosti.

#### □ **Hrubá Cross-country (HCC) trať**

Trať HCC (Hard Cross Country) svou produkcí pokrývá převážnou část komodity dlouhých výrobků. Vyrábí se zde válcováním za tepla hrubá a střední profilová ocel od jednoduchých průřezů přes tvarové profily tyčí průřezů I, IPE, U a dalších až po profily speciálních průřezů (důlní kolejnice a spojky).

Součástí výrobního sortimentu HCC je také portfolium polotovarů sloužících k dalšímu zpracování (za studena, za tepla) na jiném technologickém celku v navazujících provozech společnosti Mittal. Jedná se o tyče kruhového průřezu a profily pro důlní výztuže a plochou ocel šířky 130 až 170 mm.

#### ***Dispozice a uspořádání HCC***

Trať byla postavena v roce 1958. Následně byla v několika etapách rekonstruována. V letech 1990-1991 prošla velkou rekonstrukcí. V roce 2001 – 2003 proběhla rekonstrukce pohonů, napájení a regulace teplé části trati a rovnaček [03]. Jedná se o nespojitou jednožilovou trať s přesazenými stolicemi (typ cross-country) [04].

Ohřev vstupního materiálu v minulosti zajišťovaly 4 průběžné strkací ohřívací pece. V roce 2006 prošla trať zatím poslední rekonstrukcí, která se mimo jiné dotkla i pecních agregátů. Dvě pece byly zrušeny úplně a dvě pece byly od základů zrekonstruovány.

V současné době se materiál ohřívá ve dvou průběžných strkacích pecích (**obr. 6. 39.**)





**Obr. 6.39.** Průběžné ohřívací pece HCC tratě, **vlevo** vstupní strana, **vpravo** pohled od 9. stolice

Dopravu a manipulaci se sázeným materiálem zajišťují přiváděcí valníky a čelní tlačky (vodou chlazené). Pracovní plocha nístěje pece v délce 18,5 m umožňuje ohřev sochorů o délce 4 – 5 m v několika řadách za sebou, což zajišťuje ohřev vstupních PLP v celé rozměrové škále v současné době vyráběné na ZPO. Topným médiem turbulentních hořáků je směs vysokopecního, koksárenského a zemního plynu (směsný plyn), která se míchá se vzduchem v poměru cca 2,5:1. Tato palivová směs o výhřevnosti  $8 \text{ MJ.m}^{-3}$  zajišťuje výkon pece cca  $40 \text{ t.hod}^{-1}$ . Pec je konstruována s rekuperátorovým předehřevem spalovacího vzduchu z důvodu optimálních parametrů využití chemického tepla paliva [03].

Válcovací trať je tvořena devíti válcovacími stolicemi uspořádanými přesazeně ve třech rovnoběžných pořadích (**obr. 6.40.**): 1. pořadí má 5 stolic, 2. pořadí má 3 stolice, 3. pořadí má 1 stolic.

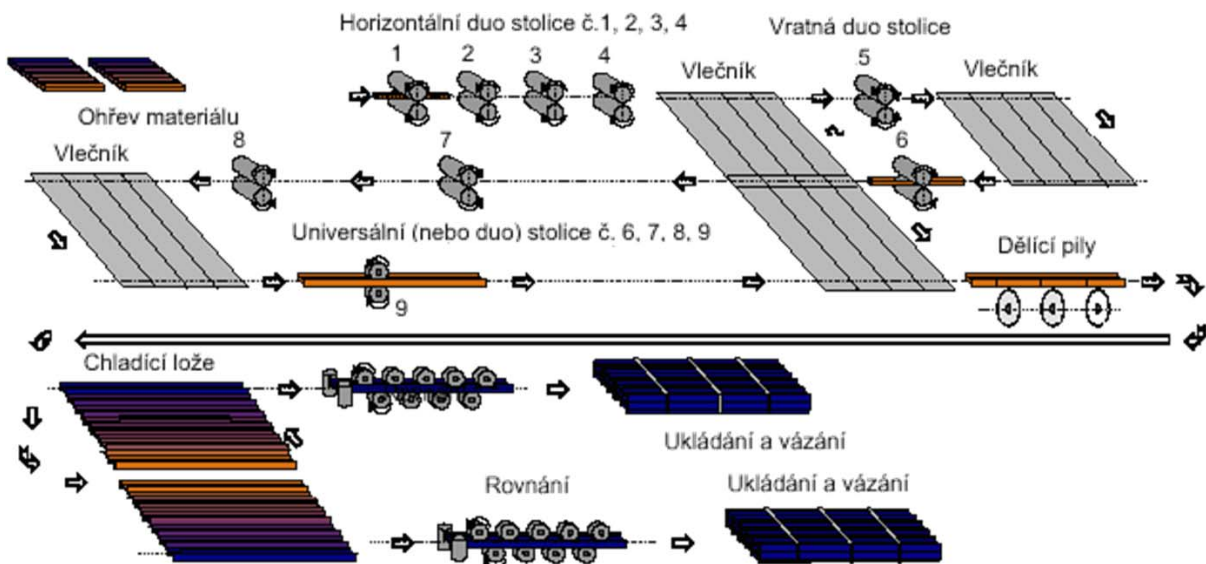
Válcovací stolice číslo 1. až 4. předválečního pořadí jsou konstrukcí jednosměrná horizontální dua, uložená v ocelolitinovém otevřeném rámu. V pořadí 5. stolice může pracovat jako vratné duo se třemi průchody. Válcovací stolice 6. až 9. jsou jednosměrná horizontální dua s možností přestavby jako univerzální stolice (stolice č. 9. viz. **obr. 6.41.**). Mezi stolicemi v jednotlivých pořadích se rozvalky dopravují valníky, posun mezi pořadími zajišťují lanové vlečnický. Dělení vývalků se provádí pomocí saňových okružních pil. Po odřezání předních konců jsou vývalky dopravovány valníkem k řetězovému chladníku ke zchlazení. Celkové uspořádání válcovací tratě je patrné ze schématu na **obr. 6.42.**



**Obr. 6.40.** Pohled na přesazené uspořádání válcovacích stolic tratě HCC



Obr. 6.41. Hotovní stolice č. 9, vlevo stolice č. 8 a příčný dopravník ke stolici č. 9, vpravo detail



Obr. 6.42. Schéma uspořádání tratě HCC a úpraven

Na trať technologicky plynule navazuje hala úpraven. Prostor úpraven je orientován kolmo na technologický tok zpracovávaného materiálu. Naválcovaný materiál je z chladicího lože odebrán k finálnímu zpracování (dělení na přesné délky, rovnání, vrtání, broušení, svazkování a vážení) na dvou shodných úpravenských linkách. Každá linka obsahuje následující technologické zařízení: rovnačka SIMAC (obr. 6.43.), sběrné kapsy, magnetické ukladače, děrovací lisy, dělicí kotoučové pily, strojní vazačky svazků, váha Metripod a další zařízení. Manipulace s materiálem se provádí pomocí mostových jeřábů. Ke každé válcovně tvarových vývalků patří sklad válců (obr. 6.44.).



CD-ROM 47 AMO HCC



**Obr.6.43.** Válečková rovnačka SIMAC k rovnání profilových tyčí



**Obr. 6.44.** Sklad válců

#### □ Pásová trať P1500 Steckel (Minihut')

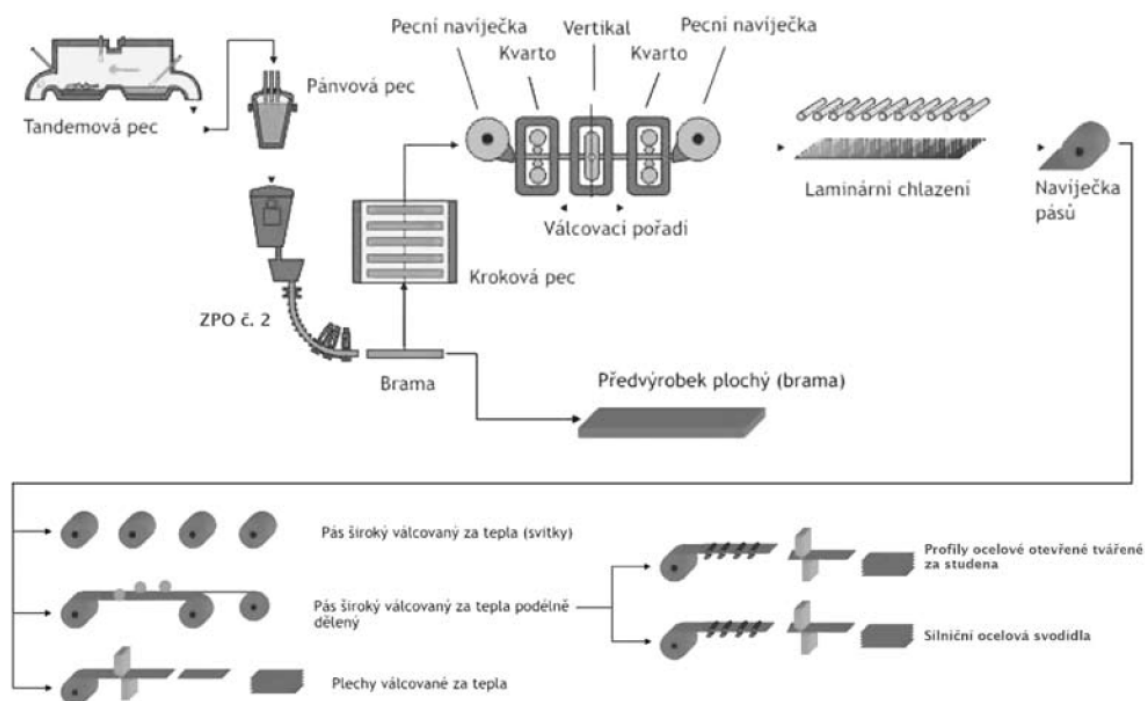
Schéma tratě je uvedeno na **obr. 6.45**. Tekutá ocel v licích pánvích je převážecími vozy dopravována do prostoru Minihutě, kde je tekutá ocel dále mimopecně zpracována na pánvové peci.

Na pánvové peci se provedou následující výrobní operace:

- teplotní a chemická homogenizace,
- desoxidace oceli a přesné nalegování na požadované chemické složení oceli,
- odsíření oceli,
- snížení obsahu nekovových vměstků,
- úprava teploty na předepsanou teplotu odlévání.

Po ukončení sekundárního zpracování oceli na stanovišti pánvové pece je licí pánve s tekutou ocelí usazena do otočného licího stojanu na zařízení plynulého odlévání a z licí pánve je ocel odlévána přes mezipánve do krystalizátoru. Je možné odlévat PLP šířky 740 až 1575 mm při tloušťce 150 mm. PLP je palivovým hořákem dělen na jednotlivé požadované délky (max. 18 m).

PLP je válečkovým dopravníkem dopraven v teplém stavu ke krokové předehřívací a vyrovnávací peci. Po ohřátí na válcovací teplotu jsou PLP dopravovány do prostoru válcovacích stolic válcovny P-1500 Steckel. Po odstranění okují je PLP zaveden do dvoustolicové tandemové vratné válcovací tratě s jednou vertikální pěnovací stolicí. Válcovací trať je vybavena dvěma pecními navíječkami, které zrovnoměrní teplotu válcovaného pásu v průběhu válcování. Po posledním průchodu válcovací stolicí je pás veden válečkovým dopravníkem přes 7 sekcí laminárního chlazení do navíječky hotového pásu. Po navinutí, adjustáži a signování jsou svitky dopraveny do skladu.



**Obr. 6.45.** Schéma tratě P1500 Steckel, ArcelorMittal Ostrava, a.s

Vlastní výrobní zařízení Steckelovy válcovny bylo projektováno na roční kapacitu cca 1 000 kt/rok. Postupnými technickými opatřeními byla roční kapacita výroby zvýšena na 1 270 kt/rok.



**CD-ROM** 48 AMO válcovna P1500

#### □ Středojemná válcovací trať

##### **Výrobní program**

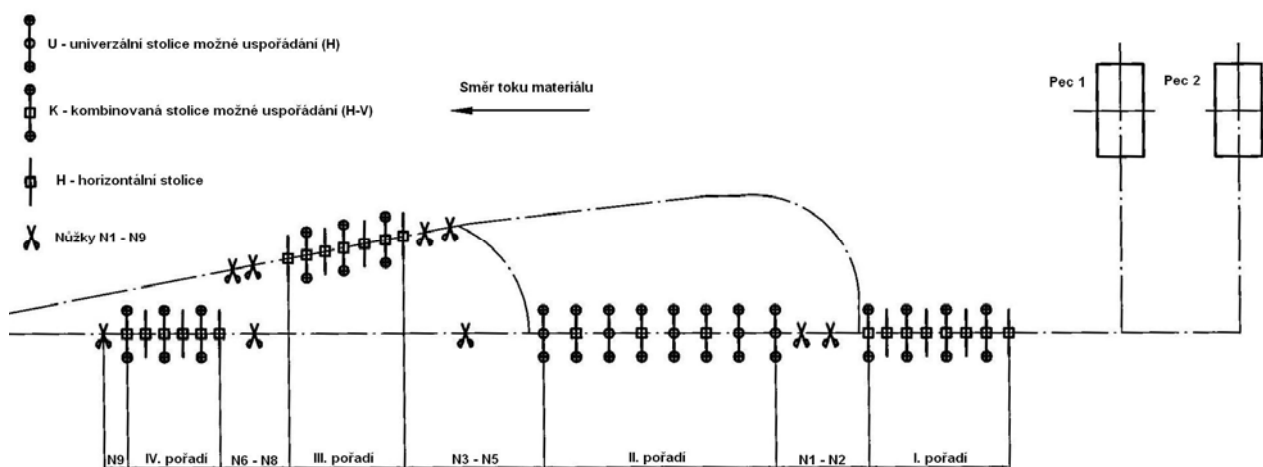
Tato středojemná válcovací trať se nachází v areálu závodu 14 společnosti ArcelorMittal Ostrava, a.s.

Výrobní program středojemné válcovny se skládá z:

- tyče kruhové - rozměry:  $d = 10 - 65$  mm,
- tyče šestihranné – rozměry: A20 – A34,
- tyče ploché – rozměry: šířka 20 – 120 mm, tloušťka 4 - 50 mm,
- tyče průřezu rovnoramenného L – rozměry: šířka ramen 38 x 38- 90 x 90, tloušťka 4 –13 mm,
- tyče průřezu IPE, IPEA – rozměry: 80, 100, 120, 140,
- tyče průřezu I – rozměry: 80, 100, 120, 140,
- tyče průřezu U, UE – rozměry: 50, 65, 80, 100, 120, (UE jen 100),
- tyče průřezu T – rozměry: T40,
- tyče pro výztuž do betonu – rozměr:  $d = 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 25, 28, 32, 39$ .

### Základní popis tratě

Základní schéma válcovací tratě je uvedeno na **obr. 6.46**.



**Obr. 6.46.** Schéma středojevné tratě, ArcelorMittal Ostrava, a.s

Válcovací trať obsahuje 4 samostatná spojitá pořadí, která lze různě zapojovat do válcovacího procesu. První a druhé pořadí mohou válcovat při přebudování kombinovaných stolic na horizontální dvoužilové z nápichu kvadrátu 115 mm. Mezi pořadími jsou zabudovány letmé nůžky, které zastřihávají přední a zadní konce případně šrotují vývalek při poruše. Stolice všech čtyř válcovacích pořadí jsou konstruovány jako bezstojanové, nepředepjaté. Podle druhu můžeme tyto stolice rozdělit na duo stolice a univerzální stolice. Rám se seřízenými válci a armaturou se zabuduje do válcovací polohy tj. do horizontální, záměnné, nebo do kombinované pohonné a upínací části stolice a po spojení s převodovkou a napojení energií, vody oleje a odpadu je stolice připravena k válcování jako komplex.

#### Hlavní parametry jednotlivých válcovacího pořadí

I. válcovací pořadí (viz. **obr. 6.47**.) je sestaveno z 8. válcovacích stolic a jejich technická specifikace je uvedena v **tabulce 6.1**. II. válcovací pořadí je sestaveno z 8. válcovacích stolic a jejich technická specifikace je uvedena v **tabulce 6.2**. III. válcovací pořadí je sestaveno z 7. válcovacích stolic a jejich technická specifikace je uvedena v **tabulce 6.3**. IV. válcovací pořadí je sestaveno z 6. válcovacích stolic a jejich technická specifikace je uvedena v **tabulce 6.4**.



**Obr. 6.47.** Pohled na I. válcovací pořadí

Tabulka 6.1. Technická specifikace I. pořadí

Číslo stolice	Typ stolice	Průměr x délka válců (mm)	Otáčky válců (o.min <sup>-1</sup> )	Výkon motoru (kW)
1	H	630 x 1040	3,1 - 28,7	1100
2K	H V	630 x 1040	4,5 - 36,4	
3	H	630 x 1040	6,0 - 45,6	
4K	H V	630 x 1040	8,3 - 60,2	
5	H	500 x 860	13,8 - 99,2	
6K	H V	500 x 860	18,9 - 130,3	
7	H	500 x 860	22,7 - 134	
8K	H V	500 x 860	30,5 - 170	

Tabulka 6.2. Technická specifikace II. pořadí

Číslo stolice	Typ stolice	Průměr a délka válců (mm)	Otáčky válců (o.min <sup>-1</sup> )	Výkon motoru (kW)
9	H	450 x 650	534 - 141	1500
	U	800 / Ø 560		
10	H	450 x 650	42 - 207	
	U	800 / Ø 560		
11	H	450 x 650	40,3 - 224	
	V		54,6 - 287,6	
12	H	450 x 650	53,2 - 234	
	U	800 / Ø 560		
13	H	450 x 650	66,8 - 375	
	V		85,1 - 426	
14	H	450 x 560	86,8 - 524	
	U	800 / Ø 560		
15	H	450 x 650	96,8 - 414	
	V		121,3 - 628	
16	H	450 x 650	124 - 613	
	V	800 / Ø 560		

Tabulka 6.3. Technická specifikace III. pořadí

Číslo stolice	Typ stolice	Průměr a délka válců (mm)	Otáčky válců (o.min <sup>-1</sup> )	Výkon motoru (kW)
17	H	Ø 355 x 500	86,2 - 382	1100
18	H	Ø 355 x 500	134,5 - 247	
	V		144 - 499	
19	H	Ø 355 x 500	167 - 816	
20	H	Ø 355 x 500	230,5 - 681	
	V		198 - 990	
21	H	Ø 355 x 500	285 - 1030	
22	H	Ø 355 x 500	371 - 538	
	V		370 - 1189	
23	H	Ø 355 x 500	425 - 1135	

Tabulka 6.4. Technická specifikace IV. pořadí

Číslo stolice	Typ stolice	Průměr a délka válců (mm)	Otáčky válců (o.min <sup>-1</sup> )	Výkon motoru (kW)
24	H	Ø 355 x 500	248 - 754	1100
25	H	Ø 355 x 500	317 - 904	
	V			
26	H	Ø 355 x 500	380 - 1030	
27	H	Ø 355 x 500	480 - 1135	
	V			
28	H	Ø 355 x 500	503 - 1135	
29	H	Ø 355 x 500	774 - 1135	
	V		788 - 1098	

### ***Dělení, ochlazování, měření teplot a kontrola výroby***

Jako hlavní dělicí agregáty tratě jsou používány nůžky. Na trati jsou použity dva typy nůžek: rotační nůžky a klikové letmé nůžky.

#### *Řízené ochlazování GOLEM*

K řízenému ochlazování slouží tlaková voda která je součástí vodního hospodářství.

Základní jednotkou chladicího systému na SDJ (Golem) pro válcování B14 – B32 je chladicí element o délce 8 300 mm. Je opatřen jednou nebo dvěma zástřikovými hlavami na vstupní straně a odpadem ve středu roury a na straně výstupní. Pro odstranění výtoku vody a úniku páry na výstupní straně jsou na konci jednotky použity stírací trysky.

Základní jednotkou chladicího systému SDJ (Golem) pro válcování B10 – B12 je sestava 2 nebo 3 rour, umístěna za sebou v ochranném pouzdře. Vzduchové stírací hlavy plní funkci stíracích trysek. Podle válcovaného průměru se používají jedna nebo dvě základní jednotky umístěné ve dvou sekcích. Základní jednotka I. sekce je umístěna bezprostředně za poslední stolicí III. nebo IV. pořadí společně s valníkem stejné délky na kyvném stole.

#### *Měření teplot*

Měření teplot se provádí na jednotlivých měřicích místech a na všech čtyřech pořadích se používá pyrometr PYROFAST jen na výběhovém valníku se používá pyrometr MAUER.

#### *Kontrola a zkoušení*

Kontrolované vlastnosti:

- rozměr, tvar,
- hmotnost,
- povrch,
- dodržení předepsaných vyrovnávacích teplot.

#### *Vychlazovací úsek*

Soustavou přívodních dopravníků a výhybek jsou vývalky z II. a IV. pořadí dopravovány na krokový chladník. Jednotlivé vývalky po nastřihání na nůžkách (podle toho z kterého pořadí vývalky vycházejí) jsou brzděny na příváděcích dopravnících chladníku. Po zabrzdění jsou ukládány do zářezu roštnic podle programu válcování. Vychlazené tyče můžou

být podle potřeby předány na rovnání. Maximální délka tyčí na chladník je 128 m, minimální potom 80 m.



**CD-ROM** 49 AMO středojemná válcovna

## 6.6. ArcelorMittal Tubular Products Ostrava, a.s.

Je největším výrobcem trubek v České republice. Nosným výrobním programem závodu jsou bezešvé trubky válcované na dvou tratích Stiefel v provedení trubek hladkých, závitových, přírubových a olejářských. Trubky na tratích St 4-10" a St 140 jsou vyráběny pouze z plynule odlévaných předlitků. Nejnáročnějším výrobkem jsou bezešvé trubky olejářské - pažnicové, čerpací, vrtné a naftovodné. Od roku 1957 je závod oprávněn označovat olejářské trubky monogramem Amerického Petrolejářského Institutu – API. Kromě běžných API závitů dodává závod i pažnicové a čerpací trubky s plynotěsným závitovým spojem.

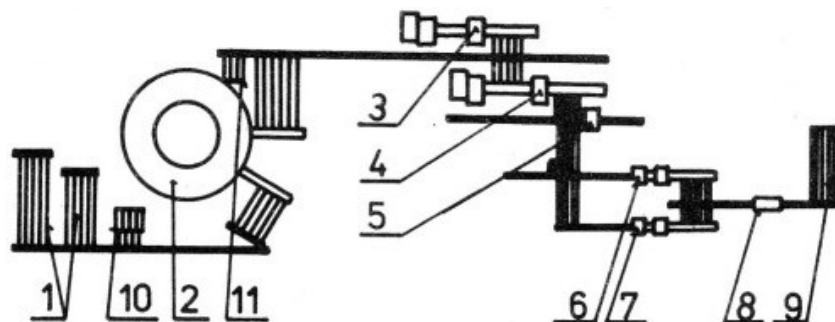


### Zajímavost

**Pažnicové trubky** se používají k vypažení vrtu při těžbě ropy a zemního plynu nebo při průzkumech. Vrtý dosahují často poměrně značných hloubek, které kladou vysoké nároky na trubky nejen z hlediska provozního namáhání, ale také co do působení chemických sloučenin jako produktu geochemického složení vyvrtaných hornin. Pažnicová kolona jako soustava závitově spojených trubek je ve vrtu kombinovaně namáhána za současného působení sirovodíku případně jiných chemických látek. Trubky jsou zejména zatěžovány vnějším přetlakem působením tektonických tlaků, tahem v důsledku hmotnosti kolony a vnitřním tlakem při působení vyvrtaných hornin. Provozní spolehlivost pažnic je velmi důležitá, protože jejich nedostatečná odolnost vytváří nebezpečné riziko havárie vrtného díla v hodnotě několika milionů korun.

#### □ Výroba bezešvých trubek na trati Stiefel 4-10“

Jedná se trať s automatikem, její schéma je uvedeno na **obr. 6.48.** kde 1- sázecí rošty, 2- karuselová pec, 3- děrovací stroj č.1, 4- děrovací stroj č.2, 5- automatik, 6, 7- hladicí stroje č.1, č.2, 8- kalibrovací stroj, 9- chladníky, 10- odkládací kapsa vadných sochorů, 11- odkládací kapsa zchladlých sochorů



**Obr. 6.48.** Schéma válcovací tratě



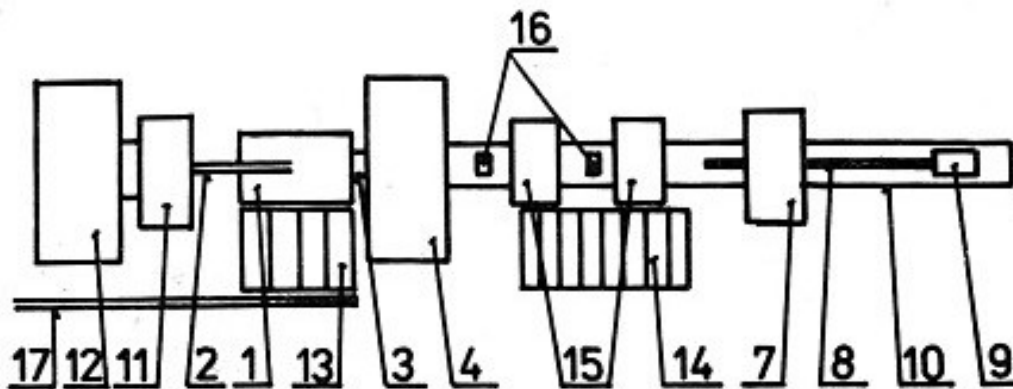
**Karuselová pec**

Ohřev materiálu pro výrobu trub se provádí v karuselové peci s prstencovou nístějí, na kterou se kladou sochory. Sochory mají průměr 160 a 210 mm. Nístěj je otočná, proti pevným stěnám je utěsněna vodním žlabem. Pomocí elektromotorů se nístěj pohybuje po válečcích, přičemž její pohyb je buď nepřetržitý, nebo přetržitý, tzv. krokový, s jednotlivými posuny o 1 až 3°. Nístějí lze otáčet i zpět. Ohřívací prostor pece je rozdělen na 4 zóny (předehřívací, ohřívací, vyrovnávací). Teplota v předehřívací netopné zóně činí 1 050 – 1 100 °C.

Teploty jsou snímány pomocí pyrometrů v pecním prostoru jednotlivých zón umístěných ve stropě pece. Doba otáčení a tím i dobu ohřevu lze měnit v širokých mezích, např. od půl hodiny do čtyř hodin. Karuselová pec má pouze dva pracovní otvory, sázecí a vytahovací. Sázení a vytahování sochorů z pece je mechanizované pomocí hydraulických kleští. Výkon pece 50 t/hod (max. možný 65 t/hod). Rychlost ohřevu je 5 až 7 minut na 1 cm průměru sochoru. Střední průměr pece je 20 m, šířka nístěje 4 340 mm. Pec se vytápí směsným plynem (koksový + vysokopecní) pomocí 39 kusů hořáků (25 kusů vně pece, 14 kusů na její vnitřní straně).

**Děrovací stroj č. 1**

Děrovací stroj č. 1 tvoří při výrobě bezešvých trubek na válcovací trati St. 4-10“ první a základní tvářecí agregát. Jedná se o stolici se šikmo uloženými válci v horizontální rovině a pevnými vodítky v rovině vertikální. Děrovací válce mají tvar soudečkový, vlivem šikmého uložení ve stolici jsou jejich osy mimoběžné. Trny se používají špičaté bez prostřiku chladicí vody, nebo dvoustupňové. Schéma je uvedeno na **obr. 6.49.**, kde: 1 – vběžný žlab, 2 – vsouvač, 3 – vběžná roura, 4 – vlastní děrovací stroj, 7 – kozlík, 8 – děrovací tyč, 9 – vozík, 10 – lože, 11 – převodová skříň, 12 – elektrický motor, 13 – rošt, 14 – rošt, 15 – středící jednotky, 16 – vytahovací válečky, 17 – válečková dráha.

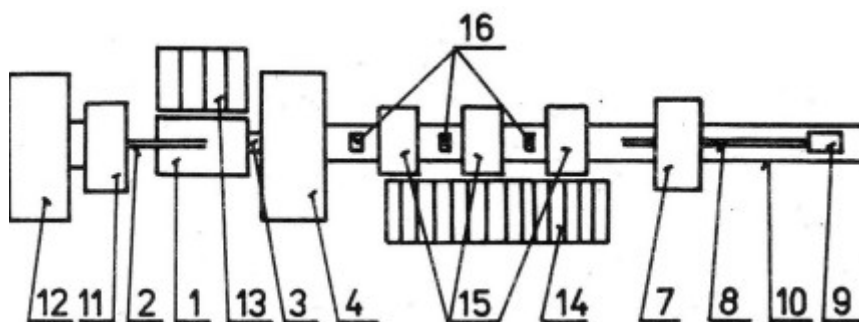


**Obr.6.49.** Schéma děrovacího stroje č. 1

Ohřátý sochor je z hlavní válnice přepraven do vběžného žlabu děrovacího stroje. Pneumatickou tlačkou je vsunut mezi válce děrovací stolice, které mají shodný směr otáčení. Kosým válcováním na trnu je proděrován na tlustostěnný předvalek. Poté vyjede vozík s tyčí z předvalku, a tento je dále přepravován k další operaci. Po znovu zajetí vozíku s trnovou tyčí mezi válce se celý proces opakuje.

### 3.5 Děrovací stroj č. 2

Je stejné konstrukce jako děrovací stroj č. 1. Zpracovává tlustostěnné předvalky z děrovacího stroje č. 1 tak, že je rozválcována na větší průměr i větší délku a slabší stěnu. Předvalky musí mít takové parametry, aby byly vhodné k dalšímu zpracování pro automatik. Tzn. musí mít požadované rozměry a tloušťku stěn, musí být bez vad na vnějším i vnitřním povrchu, musí být centrické s hladkými stěnami a s rovnoměrnou tloušťkou stěny jak v podélném, tak příčném průřezu a musí být zhotoveny dostatečně rychle, aby nezchladly. Schéma je uvedeno na **obr. 6.50.**, kde: 1- vběžný žlab, 2- vsouvač, 3- vběžná roura, 4- vlastní děrovací stroj, 7 - kozlík, 8 – děrovací tyč, 9 – vozík, 10 – lože, 11 – převodová skříň, 12 – elektrický motor, 13 – rošt, 15 – středící jednotky, 16 – vytahovací válečky.

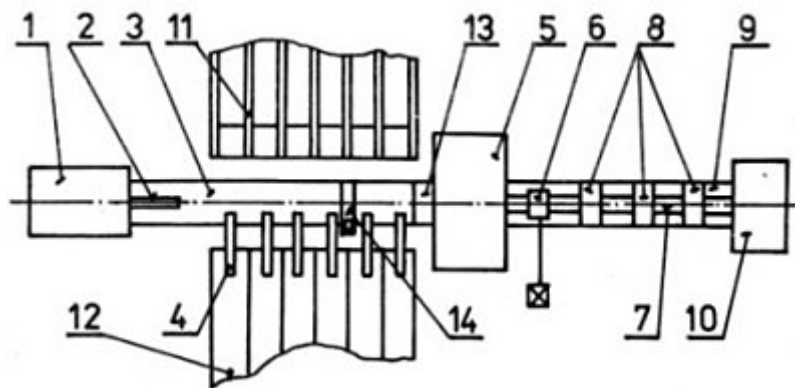


**Obr. 6.50.** Schéma děrovacího stroje č. 2

Předvalek z děrovacího stroje č. 1 je přepraven do vběžného žlabu děrovacího stroje č. 2 a kosým válcováním na tupém trnu je proválcován (elongován) na předvalek o větší délce, větším průměru a menší stěně. poté vyjede vozík s tyčí z předvalku a tento je dále přepraven na automatik. Po znovuzajetí vozíku s tyčí mezi válce se celý proces opakuje.

#### **Automatik**

Automatik se skládá ze dvou masivních stojanů, které jsou nahoře spojeny. V nich jsou uloženy dva pracovní válce, které se otáčejí proti sobě a jsou opatřeny 4 kalibry. Spodní válec je uložen pevně, horní válec je vyvážen a uložen pohyblivě. Za pracovními válci je umístěn pár vratných válců, které jsou nastavitelné, takže se umísťují vždy za kalibrem. Před automatikem je vběhový žlab s poháněnými válečky, který se může pohybovat podél automatiku, takže je nastavitelný proti kalibru, v němž se válcuje. Na konci žlabu, který je odvrácen od automatiku, je upevněn pneumatický tlakový válec s pístnicí zakončený tlačkou (tzv. beran), která zatlačuje provalek do kalibru automatiku. Mezi válečky ve žlabu je zabudováno zařízení, kterým je válcovaná trubka mezi jednotlivými stehy pootočená o 90° kolem své podélné osy. Mezi žlabem a kalibrem pracovních válců je zabudováno zařízení na výměnu trnů (tzv. kolotoč). Trny jsou samostavitelné, stojící proti trnové tyči, která je zabudována v opěrném rámu na druhé straně automatiku. Válce se pohánějí stejnosměrným motorem, otáčky se regulují přes stolicí hřebenových válců. Mezi motorem a stolicí hřebenových válců je setrvačnick, který tlumí nárazy při vstupu trubky do válců, takže se nepřenáší na motor. Schéma automatiku je na **obr. 6.51.**, kde: 1- tlakový válec, 2 – beran, 3 – vběžný žlab, 4 – vyhazovač, 5 – automatik, 6 – vratné válce, 7 – trnová tyč, 8 – vodící pouzdro, 9 – výběžný žlab, 10 – držák trnové tyče, 11 – rošt se zadržovačem, 12 – rošt k pile za tepla, 13 – automatický nasazovač trnů, 14 – obraceč trub.

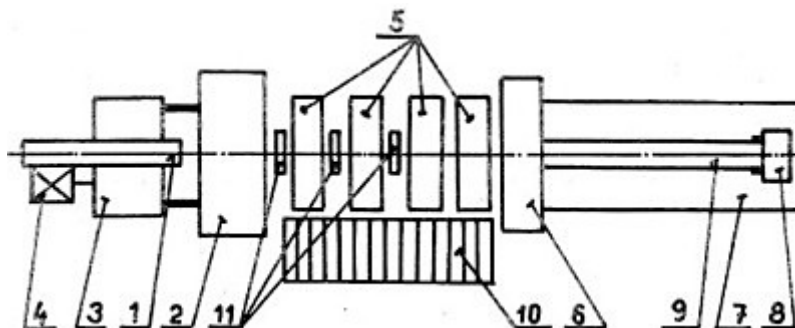


Obr. 6.51. Schéma automatiku

Předvalek z DS 2 je dopraven do žlabu automatiku, tlačkou je vsunut do sevřených pracovních válců a je podélným válcováním na trnu proválcován na 2 stehy na předepsanou délku a tloušťku stěny. Vracení trubky z výběžné strany zpět do vběžného žlabu se provádí vratnými válci. Mezi stehy dojde k otočení trubky o 90° a k automatické výměně trnu. Poté se celý proces opakuje. Trubka požadované délky a tloušťky stěny je přepravena rotačním vyhazovačem na pilu. Na pile dochází k odřezávání konců trubek (do tloušťky stěn 6,3 mm), a také profuku trubky (mazivo z automatiku, třísky) a k chlazení trubek na požadovanou teplotu.

### Hladicí stroje č.1, č.2

Hladicí stroje se svou konstrukcí úplně podobají děrovacímu stroji. Jsou to stolice se šikmo uloženými válci v horizontální rovině. Spodní vodítko je pevné, horní nahrazuje přítlačný váleček. Tvar válců a trnů je od děrovacího stroje poněkud odlišný, protože deformace provalku v hladicích strojích je menší a nevytváří se dutina v úplném předvalku, jen se rozšiřuje průměr o 4 až 9 %, při současném zeslabení stěny o 2,5 až 4 %. Válce mají tvar soudkovitý, trny mají tvar kuželový. Trn je opřen volně o hladicí tyč, která je posuvná ve vozíku. Schéma hladicího stroje je na obr. 6.52., kde: 1 – vběžná roura, 2 – vlastní stroj, 3 – převodová skříň, 4 – elektrický motor, 5 – středící jednotka, 6 – kozlík, 7 – výběžné lože, 8 – vozík, 9 – hladicí tyč, 10 – rošt, 11 – vytahovací válečky.



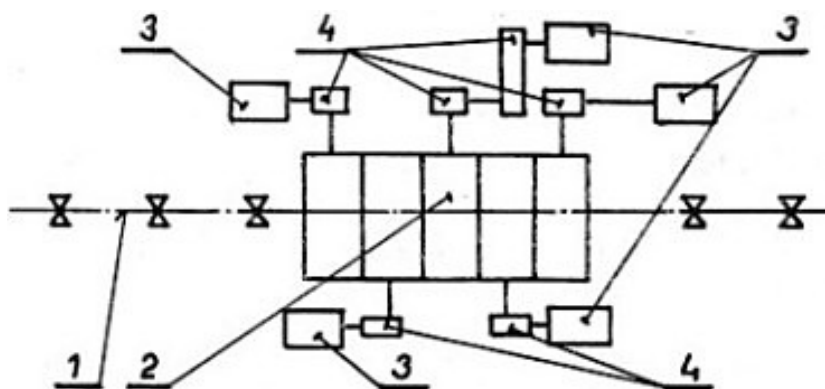
Obr. 6.52. Schéma hladicích strojů č.1, č.2

Trubky jsou dopraveny válečkovými drahami ke stolicím. Šikmo uložené válečky drah natáčejí trubky ve směru otáčení válců stolic. Vnitřní i vnější povrch trubek je příčným rozválcováním vyhlazen, přičemž se průměr trubky o 6-8 mm zvětšuje. Hlazení je řízeno

valcíři ovládním stavění jednoho z pracovních válců, druhý je pro daný rozměr předem nastaven. Po vyhlazení trubky vyjede vozík s tyčí z trubky, trubka je přepravena rotačním vyhazovačem na válnici ke kalibrovacímu stroji a celý proces hlazení se opakuje.

### ***Kalibrovací stroj***

Kalibrovací stroj sestává z 5ti stojanů, střídavě proti sobě otočených o 90°. Kalibry posledního a předposledního, tj. pátého a čtvrtého páru válců, jsou přesné kruhové. V kalibrovacím stroji se trubka kalibruje za tepla tak, že po zchladnutí má normou předepsaný vnější průměr. Schéma hladicího stroje je na **obr. 6.53.**, kde: 1 – vstupní válnice, 2 – stojany kalibrovacího stroje, 3 – motory, 4 – převodovky.



**Obr. 6.53.** Schéma kalibrovacího stroje

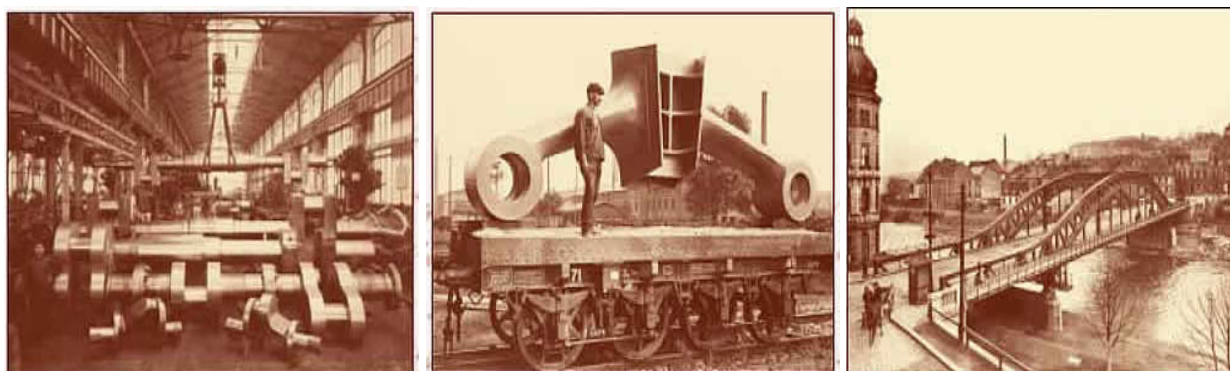
Teplá trubka je střídavě z hladicího stroje č. 1 či hladicího stroje č. 2 pouštěna na válnici do kalibrovacího stroje, kde je kalibrována na přesný průměr za tepla, a dále válnicí dopravená k chladicímu roštu a přepravována na něj přepravníkem. Z chladicích roštů je trubka válečkovým přepravníkem dopravena do rovnacího stroje.

## **6.7. Evraz Vítkovice Steel**

Nejstarší zmínka o vsi Vítkovice pochází z roku 1357. Na základě plánu vybudování střediska železárenského průmyslu v blízkosti ostravského koksovateľného uhlí, jehož autorem by skotský inženýr John Baildon (1810), se rozhoduje olomoucký arcibiskup arcivévoda Rudolf Jan zřídit moderních železářny ve Vítkovicích (1828). První pudlovací pec v rakouské monarchii byla zapálena v Rudolfově huti, jak byly železářny nazvány, v září 1830.

Po smrti arcibiskupa Rudolfa byly železářny pronajaty Jindřichu Geymüllerovi, vídeňskému bankéři, který je postoupil tzv. vídeňskému těžířstvu. Jeho majoritním podílníkem byl S.M. Rotschild, jež v roce 1843 železářny získal do vlastnictví. V té době sestával vítkovický závod z vysokopecního provozu se slévárnou, pudlovy a válcovny, kovárny, kotlářny, vrtárny a soustružny se strojním zámečnictvím a výroby žáruvzdorných cihel. Roku 1873 bylo založeno Vítkovické horní a hutní těžířstvo. Pod vedením generálního ředitele Paula Kuppelwiesera se v poslední čtvrtině 19.století orientoval dodávky železáren především pro zbrojní průmysl (pancéřové desky). První lodí opancéřovanou vítkovickými plechy byl křižník Maria Therezia.

Roku 1907 byla instalována jako první v Evropě Stiefelova válcovací trať, která byla v provozu až do roku 1996. Přední místo mezi evropskými železářskými podniky zajistilo Vítkovickým železárnám zahájení provozu v nové ocelárně a válcovně, postavené v Ostravě - Hulvákách v letech 1909-1912. Po vzniku Československé republiky v roce 1918 zůstaly Vítkovické železářny nadále ve vlastnictví dosavadních majitelů. K finálním výrobkům patřily parní stroje, mosty, železniční vagony, důlní nástroje, stroje pro hutě, železniční kola, výhybky či hřídele (**obr.6. 54.**).



**Obr.6.54.** Ukázka historických výrobků Vítkovických železáren.

V meziválečném období Vítkovické železářny vlastnily řadu dceřiných společností zabývajících se těžbou uhlí a rudy a chemickou výrobou, dopravou apod.

Vítkovické horní a hutní těžířstvo se nikdy nestalo během války německým vlastnictvím, avšak výrobní kapacity i obchodní vztahy železáren byly využívány pro zájmy nacistického Německa. Po válce byla v železárnách ustanovena národní správa a v prosinci roku 1945 vyhlášeno znárodnění Vítkovického horního a hutního těžířstva.

Zvláště v šedesátých letech se uskutečnila rozsáhlá investiční výstavba (největší investice byla stavba vysoké pece číslo 6, rekonstrukce válcovny, ocelárny a postavení haly pro těžkou mechaniku).

Od poloviny sedmdesátých let se budovala výrobní základna jaderné energetiky a následně výrobní základna pro opravárenství a výrobu zařízení jaderné energetiky. V roce 1979 se Vítkovické železářny staly oborovým podnikem s názvem VÍTKOVICE - Železářny a strojírny Klementa Gottwalda, ke kterému bylo přidruženo šest podniků s příbuzným výrobním programem. Od roku 1981 do poloviny roku 1989 byly VÍTKOVICE – ŽSKG největším z koncernových podniků koncernu VÍTKOVICE.

Po rozpadu koncernu a zřízení státního podniku VÍTKOVICE nastalo bouřlivé období. V polovině roku 1990 byl zpracován podnikatelský program podniku, s cílem změnit dosavadní stereotypy a nasměrovat vývoj k tržní ekonomice. Z podniku byly vyčleněny činnosti, které přímo nesouvisely s výrobou. Organizace podniku se neustále přetvářela i po založení akciové společnosti v únoru 1992. Založením dceřiné společnosti VÍTKOVICE - Strojírenství, a.s. na konci roku 2002 byl završen proces přeměny akciové společnosti VÍTKOVICE, a.s. na společnost holdingového charakteru. V rámci transparentního označení jednoznačné příslušnosti ke skupině VÍTKOVICE, podpory značky a cíleného oslovení klientů změnila společnost od 1.6.2005 název na VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY a.s.

### □ Kvarto 3,5 Evraz Vítkovice Steel, a.s.

Výroba na této trati započala v roce 1971.

Vstupním materiálem pro válcování na Kvartu 3,5 jsou většinou bramy z vlastního kontilití, které jsou ohřívány v narážecích pecích. Rozměry bram:

- tloušťka: 100 - 250 mm,
- šířka: 800 - 1 580 mm,
- délka: 1 700 - 3 100 mm.

Nejkratší délka bramy je omezena roztečí nosných skluznic a nejdelší světlou šířkou pece.

Narážecí pece č. 2 a č. 3 (NP2 a NP3) jsou třípásmové:

- I. pásmo pece (předehřívací zóna) - vsázka se ohřívá (především) odcházejícími spalinami.
- II. pásmo pece (ohřívací zóna) - vsázka se intenzivně ohřívá po délce i průřezu.
- III. pásmo pece (vyrovnávací zóna) - vyrovnává se teplota po délce i průřezu.

Každá pec má dvě pecní řady, ale jinou konstrukci, systém řízení i jiné výkonostní a technologické parametry ohřevu. Základní technické parametry NP2 a NP3 udává **tabulka 6.5**.

**Tabulka 6.5.** Parametry narážecích pecí na válcovně 3,5 Kvarto

Ukazatel	NP2	NP3
Palivo	zemní plyn	zemní + konvertorový (směsný) plyn
Světlá šířka pece	6 800 mm	7 000 mm
Činná délka pece	24 366 mm,	25 000 mm
Maximální výkon pece	75 t/h	90 t/h

#### ***Sázení a ohřev bram v narážecích pecích***

Jsou dvě možnosti sázení bram :

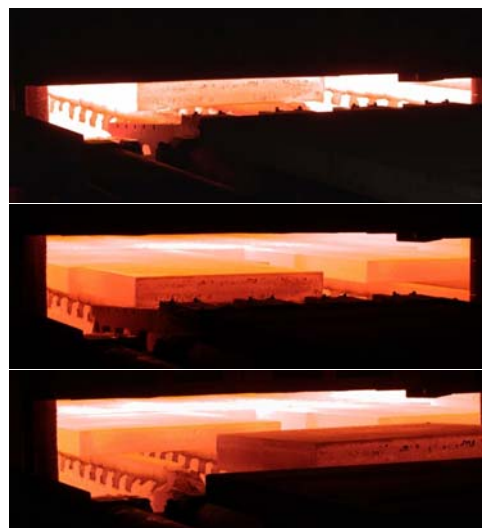
- sázení bram ze skladu (viz. **obr. 6.55.**) 3,5 Kvarto - bramy jsou uloženy na skladě a jsou odsazeny do pecí podle předem připraveného sázecího plánu,
- sázení bram přímou cestou - bramy jsou dopravovány z výběhového úseku ZPO jen po nutném vychlazení a jsou odsazeny do narážecích pecí. Bramy mají zpravidla vyšší teplotu, která závisí na době vychlazení a dopravy.

Ohřev v narážecích pecích se provádí tak, aby nedošlo při ohřevu k poškození bram. Bramy jsou podle jakosti rozděleny do skupin, každá skupina má jinou strategii ohřevu. Skupiny oceli jsou označeny číslicemi 1 - 9. Jednotlivé oceli jsou přiřazeny do skupin ohřevu v systému SRHV (Systém řízen hutní výroby). Tepelný režim pecí je řízen procesním počítačem ORS (Ofen rechner system) v závislosti na tempu válcování tak, že je zaručen

ohřev na předepsanou teplotu a rovnoměrné prohřátí bram. Oceli běžných jakostí jsou ohřívány na průměrnou teplotu bramy 1 220 °C (při tloušťce vývalku do 6,4 mm na 1 250 °C - rychlejší ochlazování při válcování). Legované, mikrolegované a výšeuhlíkové oceli jsou ohřívány na průměrnou teplotu bramy 1 250 °C (větší deformační odpor při tváření- více úběrů a tím rychlejší ochlazování).



**Obr. 6.55.** Sklad bram



**Obr. 6.56.** Sekvence vytahování bram z pece

### ***Vytahování bram z narážecích pecí***

Na základě signálu od procesního počítače válcovací stolice (PRG) nebo signálu od operátora, se z odpovídající řady pece vytahuje ohřátá brama pomocí vytahovacího zařízení (viz. **obr. 6.56.**). Brama se pokládá do osy zastavené sekce valníku za pecí. Po uložení bramy na valník se brama dopravuje k hydraulickému odokujovači. Vytahování a doprava bram je řízena systémem základní automatizace úseku pecí. Rychlost dopravy bramy je  $1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , přičemž před odokujovačem je rychlost snižována na nastavenou rychlost (např.  $0,75 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ).

Vytahování bram z pecí se provádí v souladu s programem válcování. Signál pro vytahování bramy z pece se vydává tak, že bere na zřetel dobu cyklu vytahovacího zařízení a rozdílnou dobu dopravy bram od pecí ke stolici. Jsou dvě možnosti:

Při konvenčním válcování (KV) nebo teplotně kontrolovaném válcování (TKV), kdy nepatrné snížení teploty bramy před válcováním nemá podstatný vliv se signál na vytahování bramy z pece vydává tak, aby brama byla dopravena na sekci valníku za odokujovačem s určitým malým časovým předstihem. Odtud se pak brama dopravuje před válcovací stolici, jakmile je válcovací stolice uvolněna.

Při řízeném válcování (ŘV, TM) se signál na vytahování bramy z pece vydává tak, aby byl dodržen pevný rytmus válcování skupiny bram a nová brama mohla být dopravena ke stolici bez zdržení.

Oscilace na sekci valníku (za odokujovačem) se provádí rychlostí  $\pm 0.15 \text{ m.s}^{-1}$ , aby se zamezilo místnímu ochlazení bramy a přehřátí válečků.

### **Hydraulický odokujovač bram**

V hydraulickém odokujovací se odstraňují primární okuje z horního a spodního povrchu bram vodou o tlaku 23 MPa (na tryskách). V závislosti na tloušťce bramy se plynule nastavuje odpovídající vzdálenost horních trysek od povrchu bram. Spodní trysky jsou napevno pod úrovní valnic. Tloušťka bramy je zadávána systémem řízení odokujovače buď z ORS nebo manuálně z kabiny operátora. Po průchodu odokujovačem se brama:

- dopravuje přiváděcím valníkem k válcovací stolici, nebo
- osciluje na sekci valníku za odokujovačem.

### **Základní technické parametry válcovací stolice 3,5 Kvarto**

Válcovací stolice má čtyři válce: dva pracovní a dva opěrné.

- Pracovní válce (viz. **obr. 6.57.**). - průměr max. 1 005 mm  
- průměr min. 940 mm.  
- délka těla válce 3 500 mm.
- Opěrné válce (viz. **obr. 6.58.**). - průměr max. 1 900 mm  
- průměr min. 1 750 mm.



**Obr. 6.57.** Pár pracovních válců s ložisky připravený k výměně



**Obr. 6.58.** Opěrné válce, vepředu odstojený válec, vzadu válec s ložisky a chladicími tryskami

Stolice K3,5 je zobrazena na **obr. 6.59.** až **6.62.** Tlaková schopnost stolice (maximální hodnota válcovací síly včetně dynamických špiček, působící ve válcovací mezeře, na kterou je válcovací stolice dimenzována, a která nesmí být při normálním provozu překročena) je 62 MN.





Obr. 6.59. Pohled ze předu



Obr. 6.60. Pohled z velina

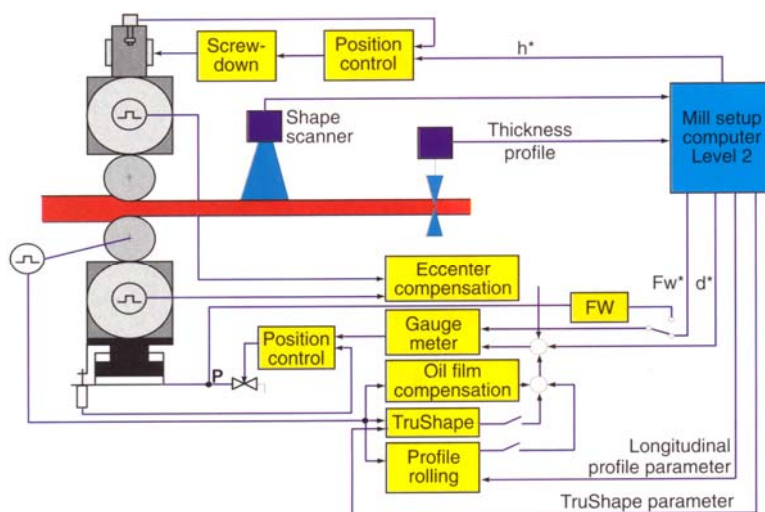


Obr. 6.61. Pohled z boku



Obr. 6.62. Pohled ze zadu

Nastavování válcovací mezery zajišťuje hrubé stavění (elektromechanické) a jemné stavění (hydraulické). Hydraulické válce AGC: jsou to hydraulické písty, které jsou uloženy do vybrání v dolních příčných válcovacích stojanů pod ložiskovými tělesy opěrného válce. Vyrovnávají odskoky válců (při teplotních rozdílech v jednotlivých částech vývalku - tam kde je materiál chladnější tak více přitlačí) a fungují jako spodní jemné stavění (viz. Obr. 6.62).



Obr. 6.63. Automatický systém stavění válcovací mezery

Chlazení pracovních válců: segmentový systém chlazením, které zároveň slouží k ovlivňování teplotní roztažnosti pracovních válců. Segmentové chlazení je rozděleno do tří zón po délce těla válce (kraj - střed - kraj).

Hydraulické odokujování na stolici: hydraulický ostřík se provádí vždy ve směru proti vstupu válcovaného materiálu mezi válce. Horní trysky se nastavují současně se zdvihem horního kompletu válců, takže není zapotřebí jejich výškové nastavování. Spodní trysky jsou stacionární.

Protiohyb pracovních válců: jsou využívány hydraulické válce pro přítlak pracovních válců k opěrným.

### **Technologické měření**

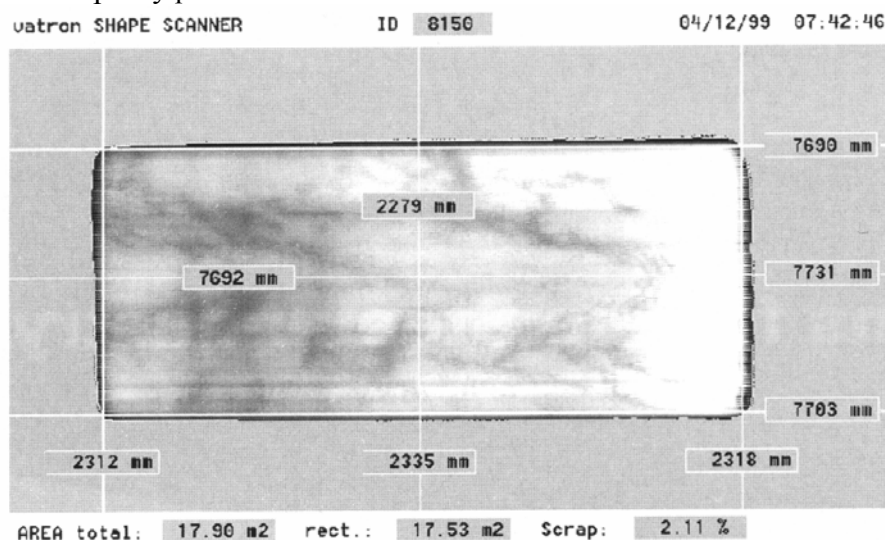
Skutečná **tloušťka** hotového vývalku se měří u každého vývalku po posledním průchodu pomocí bezkontaktního měřiče tloušťky se třemi hlavami. Měření tloušťky je prováděno za pohybu vývalku uprostřed plechu a současně cca 150 mm od obou okrajů vývalku tak, aby nebyl narušován plynulý průběh válcování. Při měření tloušťky je automaticky kompenzován vliv teploty a chemického složení oceli.

**Šířka** vývalku se měří pravítky nebo měřičem tvaru.

Měření **teploty** bram a rozvalků se provádí před a za válcovací stolicí pyrometry.

Měření **tvaru** válcovaného materiálu (viz. **obr. 6.64**): válcovaný materiál je opticky měřen pomocí měřice tvaru (Shape Scanner). Měřič tvaru je umístěn kolmo nad točnicí na výstupní straně stolice nad jeřábovou dráhou. Tvar válcovaného materiálu je zobrazen opticky na senzorové ploše. Přitom se pro příjem využívá vlastní záření teplého materiálu. Jsou měřeny :

- obrysy válcovaného materiálu a z toho odvozeny rozměry: délka a šířka,
- největší vepsaný pravoúhelník.



**Obr. 6.64.** Měření tvaru plechu



**CD-ROM**

50 Vítkovice Kvarto 3,5

□ **Výroba profilů a ocelových tyčí, Evraz Vítkovice Steel, a.s.**

Válcovna profilů je tvořena těžkou profilovou tratí s přidruženou 5. stolicí. Tato stolice představuje sochorovou duo stolicí přičleněnou k těžké profilové trati se společným ohřevem v narážecí peci a osádkou. Výrobní kapacita je 170 tis. t/rok. Odbavovací a úpravárenské technologie obou tratí jsou samostatné. Základní technická vybavenost je následující:

**Těžká profilová trať**

**Výrobní sortiment:** kruhové a čtvercové tyče, nosníky, úhelníky, štetovnice, jeřábové kolejnice, pražce, ráfky a speciální tvarové profily s metrovou hmotností 18 až 141 kg.m<sup>-1</sup>. Maximální expediční délka profilů je 21 m. K dispozici je plynová narážecí pec o výkonu 60 t/h (viz. obr. 6.65. a 6.66.)



*Obr. 6.65. Výstupní strana strkací pece*

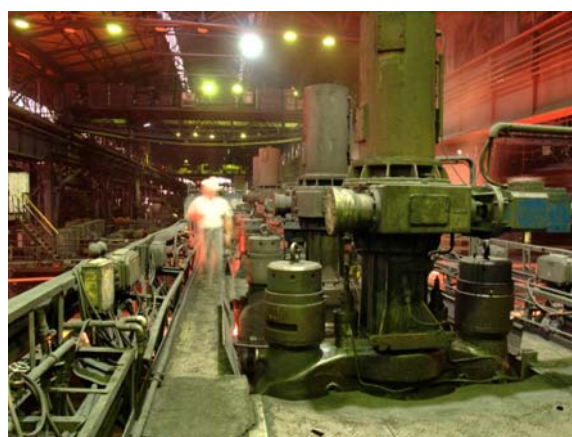


*Obr. 6.66. Pec pohled shora*

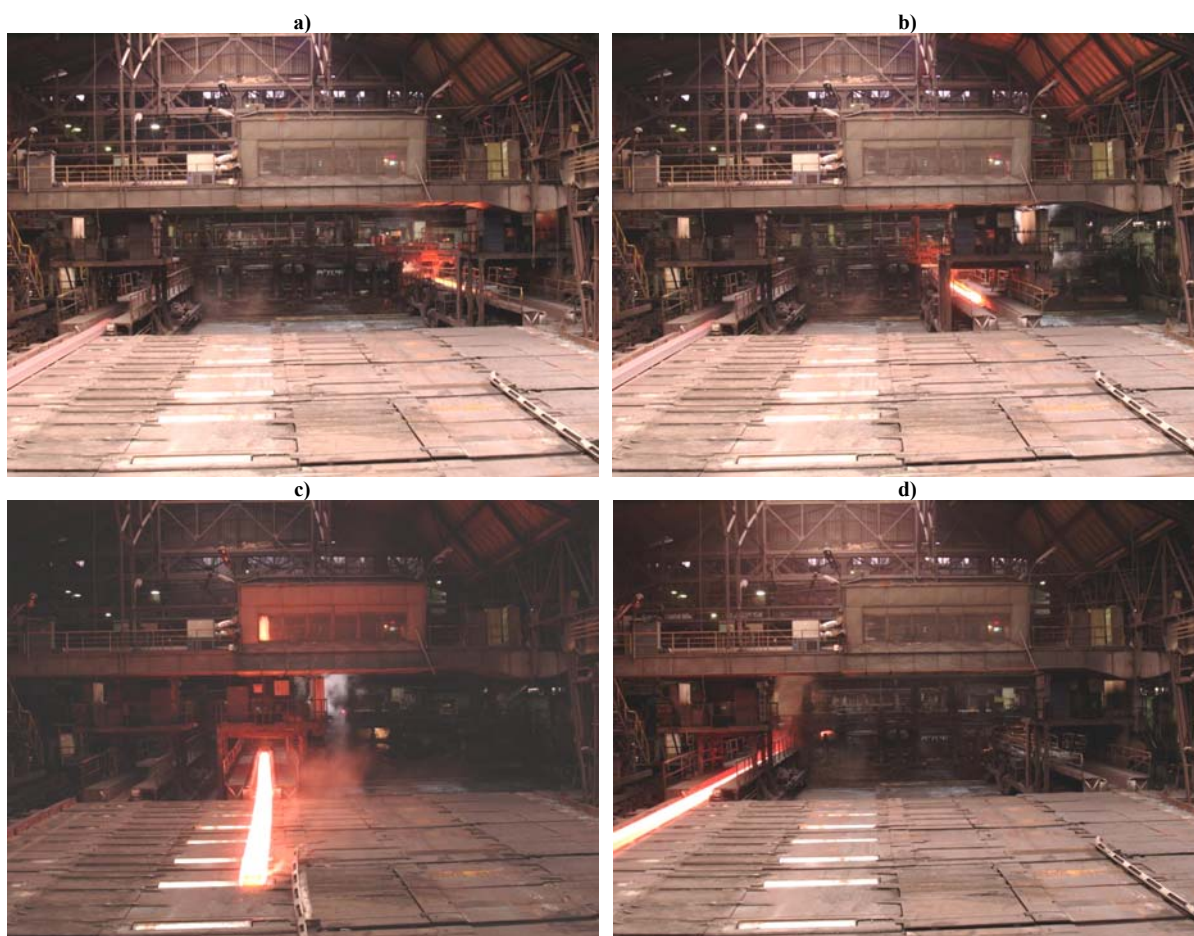
Trať je vybavena 4 vratnými dui (viz. obr. 6.67.), přičemž 4. stolice (obr. 6.68.) je přestavitelná na univerzální s nepoháněnými vertikálními válci a pěchovací stolicí pro válcování nosníků. K příčnému přesunu vývalků mezi stolicemi slouží 2 manipulační vozy. Jejich činnost dokumentuje série fotografií na obr. 6.69. Maximální průměr válců je 940 mm a délka těla válců je 2 300 mm.



*Obr. 6.67. Pohled na stolice z leva do prava 4. 3. 2. a 1. stolice*



*Obr. 6.68. Stavění válců stolice č. 4*

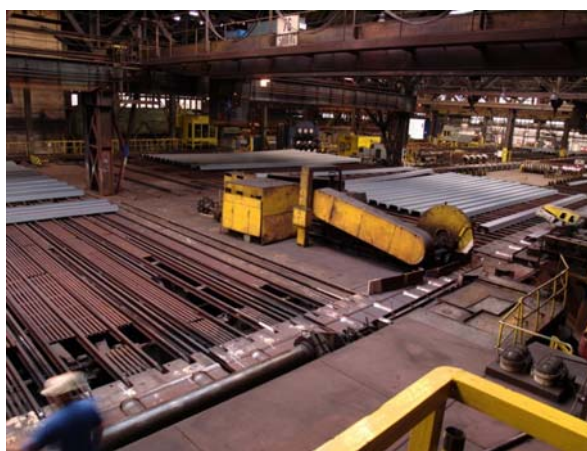


**Obr.6.69.** Práce manipulačních vozů, a) válcování ve stolici č. 1, b) válcování ve stolici č.2, c) válcování ve stolici č. 3, d) válcování ve stolici č. 4

K odřezání konců a k dělení na expediční délky se využívají 3 pily za tepla (viz. **obr. 6.70.**). K chladnutí slouží dva chladníky s délkou 21 m (viz. **obr. 6.71.**). Rovnání probíhá na sedmiválečkové rovnačce (viz. **obr. 6.72.**). Na **obr. 6.73.** můžete vidět pár hotovných válců připravených k zabudování do stolice č.4.



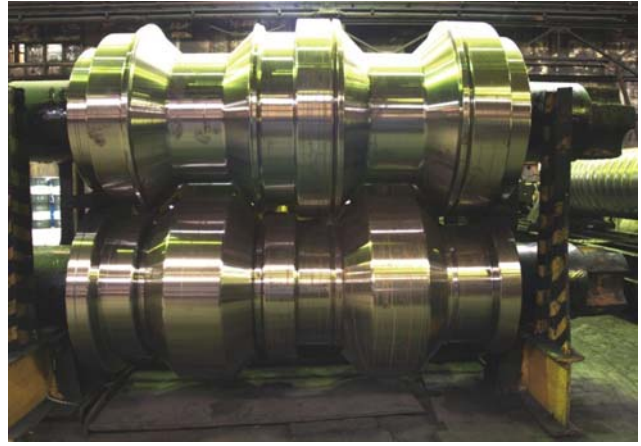
**Obr.6.70.** Dělení štětovnic na obchodní délky



**Obr.6.71.** Chladníky



Obr. 6.72. Rovnáni štětovnic



Obr. 6.73. Válce se dvěma hotovými kalibry



**CD-ROM**

51 Vítkovice válcovna – těžké profily

## 5. stolice těžké profilové tratě

**Výrobní sortiment:** obdélníkové a čtvercové sochory o šířce od 120 do 300 mm a délce do 12 m. Maximální průměr válců je 920 mm a délka těla válců je 2 200 mm. Tato stolice využívá pro ohřev stejnou pec jako profilová trať. K dělení sochorů slouží jednak 2 pily za tepla, ale také nůžky za tepla.

Úpravy těžké profilové tratě jsou vybaveny těmito zařízeními:

- 7 válečková rovnačka profilů, kruhových čtvercových tyčí,
- boční lis pro rovnání tyčí,
- hyperbolická rovnačka pro kruhové tyče,
- zkručovací rovnačka pro jeřábové kolejnice a obdélníkové tyče,
- 3 pily za studena,
- vychlazovací kroková pec - řízené vychlazování, protivločkové žíhání a žíhání na měkko pro válcované tyče,
- bruska sochorů a bram,
- loupací stroj pro loupání povrchu kruhových tyčí,
- bruska na broušení kruhových tyčí,
- zařízení na magnetickou defektoskopii povrchu kruhových sochorů,
- ultrazvuková kontrola (nakupovaná služba dle požadavků zákazníků),
- linka na párování štětovnic, lisování zámek a kontrolní zařízení pro testování pevnosti spoje zámek lisováním.

## 6.8. ŽDB Group, a.s. Bohumín

### □ Závod válcovna - Jemná trať

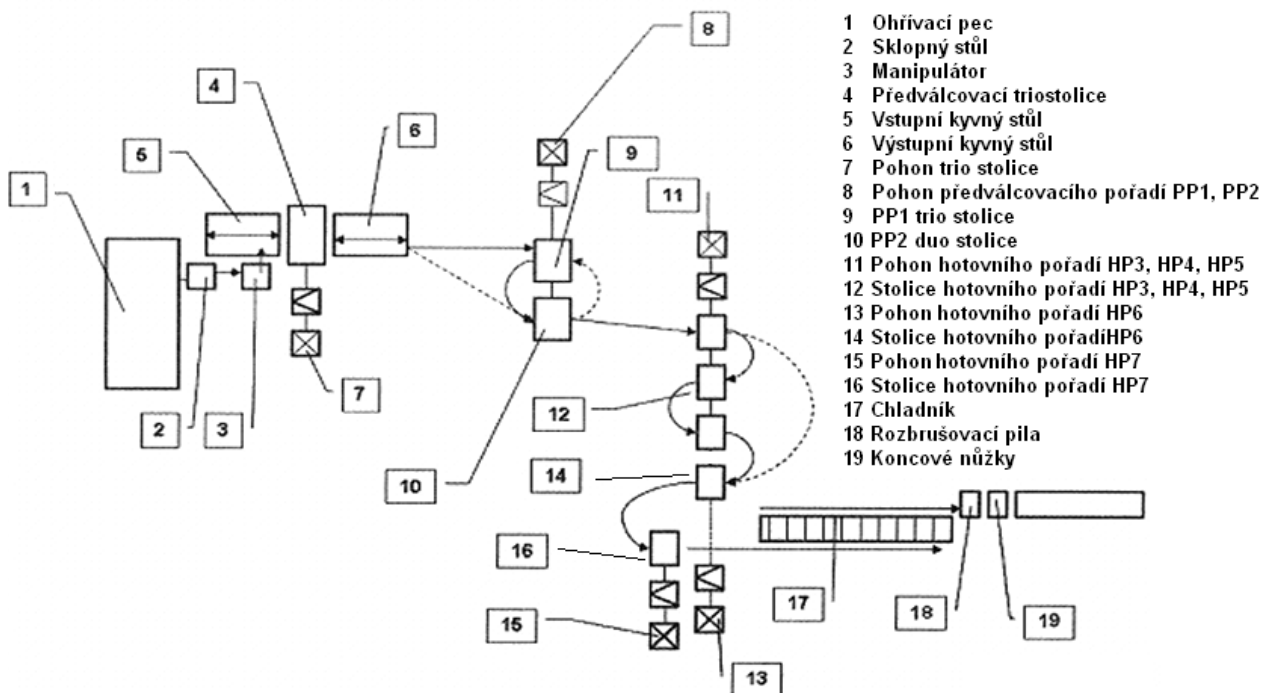
Jemná trať byla uvedena do provozu v letech 1947–48 a vyráběla sortiment odpovídající jemné trati (betonářská ocel, kruhová, čtvercová ocel, úhelníky, T profily) s malým podílem profilů zvláštních tvarů.

Poslední rekonstrukce trati proběhla v roce 2007. Spojité předválcovací pořadí Morgan bylo nahrazeno trio stolicí s kyvnými stoly. Tato rekonstrukce umožnila zvýšit nápichový průřez z původně maximálního kv. 08 až na kv. 130 mm. Jemnou trať lze charakterizovat jako polospojitou válcovací trať se třemi pořadími. A to :

- předválcovací trio stolice s kyvnými stoly,
- otevřené předválcovací pořadí PP1, PP2,
- otevřené hotovné pořadí HP.

Úpravárenskou část tvoří :

- letmé nůžky za tepla,
- chladicí lože o délce 51 m,
- nůžky za studena,
- dělicí pila Braun,
- sběrné kapsy,
- dva rovnací stroje HRL 40.



**Obr. 6.74.** Blokové schéma JT ŽDB GROUP a.s.

Výchozím materiálem pro válcování na Jemné trati jsou čtvercové sochory průřezu 100, 105, 125 a 130 mm délky 1 700mm až 2 550 mm. Rozhodující podíl tvoří jakosti S235JR, S355J2, S355J0 (dle EN 10025-2:2004) a v menší míře oceli uhlíkové a nástrojové. Sochory jsou dodávány v násobcích přesných délek. Na sázecí délku jsou děleny stříháním nebo pálením na sochorovém hospodářství. Odtud se sochory dopravují k ohřívací peci.

Po zvážení se sochory ohřívají na počáteční válcovací teplotu. Po průchodu pecí jsou ohřáté sochory vytlačovány na sklopný stůl a odtud zaváděny válečkovým dopravníkem přes box ostříku okují pod manipulátor, který dopraví sochory na vstupní kyvný stůl předválcovací trio stolice. Po proválcování je provalek z výstupního kyvného stolu trio stolice odveden

pomocí výhybky a válečkového dopravníku do dvoustolicového předválcovacího pořadí PP1 a PP2. Provalky vystupující z tohoto předválcovacího pořadí jsou dále válcovány na pětistolicovém hotovném pořadí HP. Způsob pohybu materiálu je zachycen schématicky na **obr. 6.74**.

Po odválcování do tyčí se vyválcovaný materiál dělí na letmých nůžkách na chladňkové délky. Na chladícím loži se vývalky ochlazují a po ochlazení se dělí na pile BRAUN nebo na koncových nůžkách na požadované délky. Nadělené tyče se hromadí v zásobnících kde se svazkují. Svazky válcovaného materiálu se váží a poslední operace před expedicí k zákazníkovi je rovnání na rovnačkách.

### ***Narážecí pec***

Ohřívací pec válcovny je narážecí, třízónová se spodním předeřhřivacím, ohřívacím a vyrovnávacím pásmem. Vstupní materiál (sochory) se sází čelně a do pece je tlačén tlačkou. Po průchodu pecí jsou ohřáté sochory vytlačeny bočně tlačkou na sklopný stůl. Pec je průběžná jednořadá pro ohřev sochorů délek min. 1 700 mm a max. 2 550 mm. Je vytápěna degazačním plynem.

### ***Předválcovací trio stolice***

Předválcovací trio stolici tvoří dva otevřené ocelolitínové stojany, které jsou k základové desce připevněny základovými šrouby. Víko stolice je zajištěno hydraulickými maticemi. Stavění válců je ruční. Horní válec se staví tlakovým šroubem, střední válec je zabudován ve stojanu napevno a spodní válec se staví pomocí klínového zařízení. Válcce jsou chlazeny vodou.



***Obr.6.75. Trio stolice***

Před a za trio stolicí jsou umístěny kyvné stoly, osazené kalibrovánými válečky, pravítky a překlápěcím mechanismem pro zajištění správného zavedení vývalku do kalibrů. Pohled na vlastní stolici a kyvné stoly je zachycen na **obr. 6.75**.

Válcce trio stolice jsou z tvárné litiny, průměr horního max. 440 mm, středního max. 437 mm a spodního max. 434 mm.

### ***Předválcovací pořadí PP1, PP2***

Otevřené předválcovací pořadí tvoří jedna trio a jedna duo stolice, uspořádané vedle sebe. Válcovací stolici tvoří dva otevřené ocelolitínové stojany, které jsou v horní části

spojené rozpěrami a k základové desce připevněné základovými šrouby. Stavění je ruční, horní válece tlakovým šroubem a spodní válece stavěcím šroubem.



**Obr. 6.76.** Smyčka za trio stolicí předválcovacího pořadí PP1.



**Obr. 6.77.** Stalice předválcovacího pořadí PP1 a PP2, zadní konec provalku je před stolicí PP1, přední konec už prošel stolicí PP2

Válce jsou z tvárné a tvrzené litiny, průměr max. 475 mm. Předválcovací pořadí je poháněno asynchronním elektromotorem o výkonu 630 kW, 590 ot/min. Převodová skříně přenáší kroutící moment přes stolicí hřebenových válců na pracovní válce. Způsob vedení materiálu mezi stolicemi je velmi dobře patrný z **obr. 6.76.** a **6.77.**

#### ***Stalice hotovního pořadí HP3, HP4, HP5***

Toto pořadí je otevřené a skládá se ze tří stolic "střídavé duo" uspořádané vedle sebe (viz. **obr. 6.78.**). Válcovací stolice se skládá ze dvou otevřených ocelolitinových stojanů se snímatelnou hlavou připevněnou ke stojanu klíny. Stojany jsou v dolní části spojeny rozpěrami. Stavění válců je ruční. Horní válece se staví tlakovým šroubem, spodní klínovou maticí. Nastavování polohy dolního pracovního válce do válcovací úrovně se provádí vymezovacími podložkami podkládanými pod dolní ložisková tělesa pracovních válců. Válce jsou z tvárné a tvrzené litiny, průměr min. 266 mm a max. 320 mm.

#### ***Stalice hotovního pořadí HP6***

Válcovací stolice se skládá ze dvou otevřených ocelolitinových stojanů. Víko stolice je zajištěno hydraulickými maticemi. Stavění válců je ruční. Horní válece se staví tlakovým šroubem a spodní válece klínovou maticí. Nastavování polohy dolního pracovního válce do válcovací úrovně se provádí opět vymezovacími podložkami pod dolní ložisková tělesa pracovních válců (viz. **obr. 6.79.**).

Pohon tvoří stejnosměrný el. motor SIEMENS. Stolice je poháněna samostatně, přímo od hlavního motoru přes hřebenovou převodovku. K přenosu kroutícího momentu je použita zubová spojka. Průměr pracovních válců min. 266 mm a max. 320 mm.





**Obr. 6.78.** Smyčky mezi stolicemi hotovního pořadí HP4-HP5 a HP6-HP7



**Obr. 6.79.** Stolice hotovního pořadí HP7 (na snímku vlevo dole) a HP6 až HP3 (na snímku uprostřed v zákrytu), smyčky vlevo jsou mezi stolicemi HP3-HP4 a HP5-HP6

### ***Stolice hotovního pořadí HP7***

Vlastní stolice je polostojanová, spojená čtyřmi výklopnými kotvami za horní ložisková tělesa. Kotvy jsou uchyceny pomocí válcových matic ve spodní části stojanu a hydraulicky předepnuty v horní části ložiskových těles. Výšková úroveň horního pracovního válce se ustavuje pomocí podložek. Spodní válec se výškově ustavuje pomocí spodního stavění. Stavění spodního válce je motorické. Axiální stavění je pouze u spodního válce ručně pákovým mechanismem.

### ***Chladicí lože***

Vyválcovaný materiál vybíhá ze stolice hotovního pořadí na válečkový dopravník. Potom se dělí na letmých nůžkách na chladíkové délky. Chladicí lože má délku 51 m a šířku 4 m (viz obr.6.80.).



**Obr. 6.80.** Chladicí lože



**CD-ROM**

52 ŽDB jemná trať



**Aktualita: Jemná trať, ŽDB Group, a.s. Bohumín je od září 2011 uzavřena z důvodu nerentability výroby.**



## Otázky 6.

- 6.1) Jaké znáte těžké profilové tratě?
- 6.2) Čím se liší jemná trať v Bohumíně a v Dobré?
- 6.3) Jaká je konfigurace válcovací tratě Steckel 1500?
- 6.4) Platí při válcování jemných profilů v Bohumíně mezi stolicemi PP1 a PP2 rovnice kontinuity? Odpověď zdůvodněte.
- 6.5) Kolika úběry se válcuje štetovnice ve Vítkovicích?
- 6.6) Čím je limitován sortiment válcovny speciálních profilů v Dobré?
- 6.7) Která z uvedených válcoven válcuje tyče do betonu?
- 6.8) Ve které válcovně se setkáte s největším průměrem válců?
- 6.9) Popište sortiment tratě K3,5.
- 6.10) Ve kterých válcovnách, popsanych v této kapitole, nedochází k hranění vývalku?
- 6.11) Jaký typ pece je nejběžnější v představených válcovnách?
- 6.12) Jaké způsoby odstraňování okují jsou běžně používány ve válcovnách za tepla?
- 6.13) Ve které válcovně se válcuje na nejvíce průchodů?
- 6.14) Která válcovna dosahuje největší roční produkce?
- 6.15) Kde se válcují sochory?



## Úlohy k řešení 6.

- 6.1) Stanovte střední součinitel prodloužení při válcování:
  - a) Kolejnice UIC60 na vratné trati TŽ, a.s. Plocha kolejnice je  $S = 76,86 \text{ cm}^2$ .
  - b) Drátu o průměru 5,5 mm na KDT Třinec.
  - c) Rovnoramenného úhelníku s délkou ramen  $a = 50 \text{ mm}$  a tloušťkou  $t = 6 \text{ mm}$  na trati HCC AMO.
- 6.2. Po shlédnutí příslušného videa nakreslete pomocí programu pro vytváření vektorové grafiky schéma těžké profilové tratě Vítkovice Steel, a.s.
- 6.3. Do vámi vybrané válcovací tratě navrhnete nějaký nový technologický prvek, který výrazně zlepší kvalitu nebo produktivitu výroby.



## Další zdroje

- [01] [www.trz.cz](http://www.trz.cz)  
 [02] [www.zdb.cz](http://www.zdb.cz)  
 [03] <http://www.arcelormittal.com/ostrava/>  
 [04] <http://www.evrazvitkovicesteel.com/>  
 [05] [www.vuhz.cz](http://www.vuhz.cz)

## 7. KOVÁNÍ



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

- Vysvětlit rozdíly mezi volným a zápustkovým kováním 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 vysvětlí funkci výronku při zápustkovém kování
- Popsat stroje a nástroje pro kování
- Získat přehled kovárnách v ČR



### Obsah kapitoly

7.1.	Úvod.....	219
7.2.	Výchozí materiály pro kování .....	221
7.3.	Vliv kování na strukturu a vlastnosti výkovků.....	224
<input type="checkbox"/>	Změna makrostruktury .....	225
<input type="checkbox"/>	Změna mikrostruktury .....	226
<input type="checkbox"/>	Změna mechanických vlastností.....	226
<input type="checkbox"/>	Stupeň prokování.....	227
7.4.	Volné kování .....	229
<input type="checkbox"/>	Charakteristické znaky volného kování.....	229
<input type="checkbox"/>	Základní kovářské operace volného kování .....	230
7.5.	Zápustkové kování .....	243
<input type="checkbox"/>	Charakteristika zápustkového kování .....	244
<input type="checkbox"/>	Vstupní polotovary:.....	245
<input type="checkbox"/>	Přípravné dutiny .....	245
<input type="checkbox"/>	Dokončovací dutiny .....	245
<input type="checkbox"/>	Výronek (flash).....	246
7.6.	Stroje pro kování .....	247
<input type="checkbox"/>	Buchary .....	248
<input type="checkbox"/>	Hydraulické lisy .....	249
<input type="checkbox"/>	Pomocná zařízení pro kování .....	250
7.7.	Kovárny v ČR.....	252
<input type="checkbox"/>	Vítkovice Heavy Machinery, a.s. ....	252
<input type="checkbox"/>	Ostroj, a.s. Opava .....	255
<input type="checkbox"/>	Pilsen Steel, s.r.o. Plzeň.....	258
<input type="checkbox"/>	Přehled dalších kováren.....	260

### 7.1. Úvod



**Čas ke studiu: 0,5 hodiny**



### Pojmy k zapamatování

Volné kování, zápustkové kování, stupeň volnosti tvářeného kovu



## Výklad

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

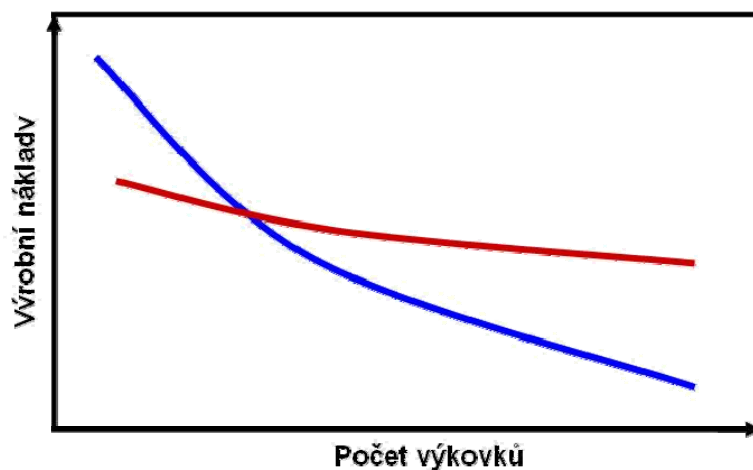
Hmotnost výkovků se pohybuje od desítek gramů (zápustkově kované součásti strojů) až po 600 t (volně kované rotory turbín).

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. 7.1.** poskytuje vhodné vodítko pro takovou rozvahu. Je tedy zřejmé, že od určitého počtu vyrobených kusů je ekonomičtější používat specializované nástroje – zápustky.



**Obr. 7.1.** 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 výkovků a výrobní náklady.



## Otázky 7.1.

- 7.1.1) Jaký podíl mezi tvářenými výrobky zaujímají výkovky?
- 7.1.2) V jakém rozmezí hmotnosti se pohybují výkovky?
- 7.1.3) Vyjmenujte hlavní rozdíly mezi zápusťkovým a volným kováním.
- 7.1.4) Na základě čeho se rozhodnete zda použijete volné či zápusťkové kování?



## Úlohy k řešení 7.1

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

## 7.2. Výchozí materiály pro kování



**Čas ke studiu: 1 hodina**



## Pojmy k zapamatování

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



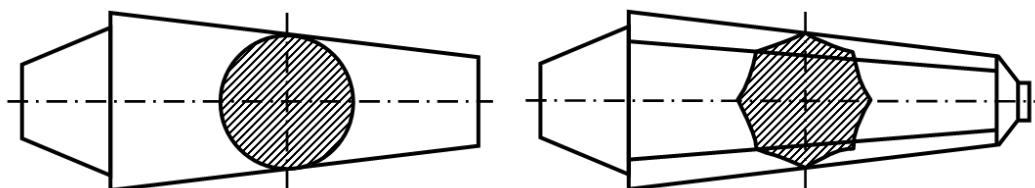
## Výklad

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

Kovářské ingoty se liší od ingotů pro válcování:

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

Kovářský ingot je většinou určen pro konkrétní výkovek (podle hmotnosti viz. **obr. 7.2.**). Ostatní výchozí materiály (bloky, sochory, tyče, ...) se musí dělit na tzv. špalky, přířezy či nápichy.



Ingot 0K 125 až 955 kg

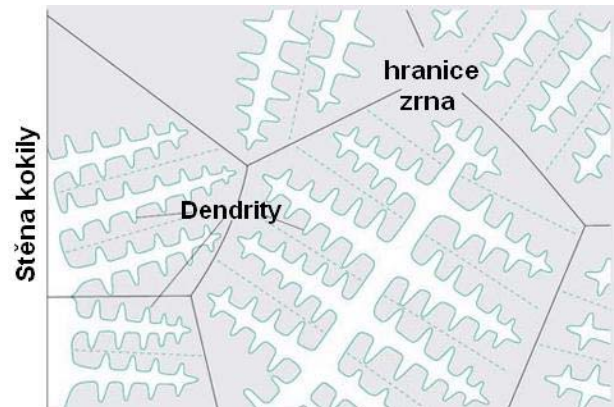
Ingot 8K 1 100 až 259 000 kg

*Obr. 7.2. Kovářské ingoty*

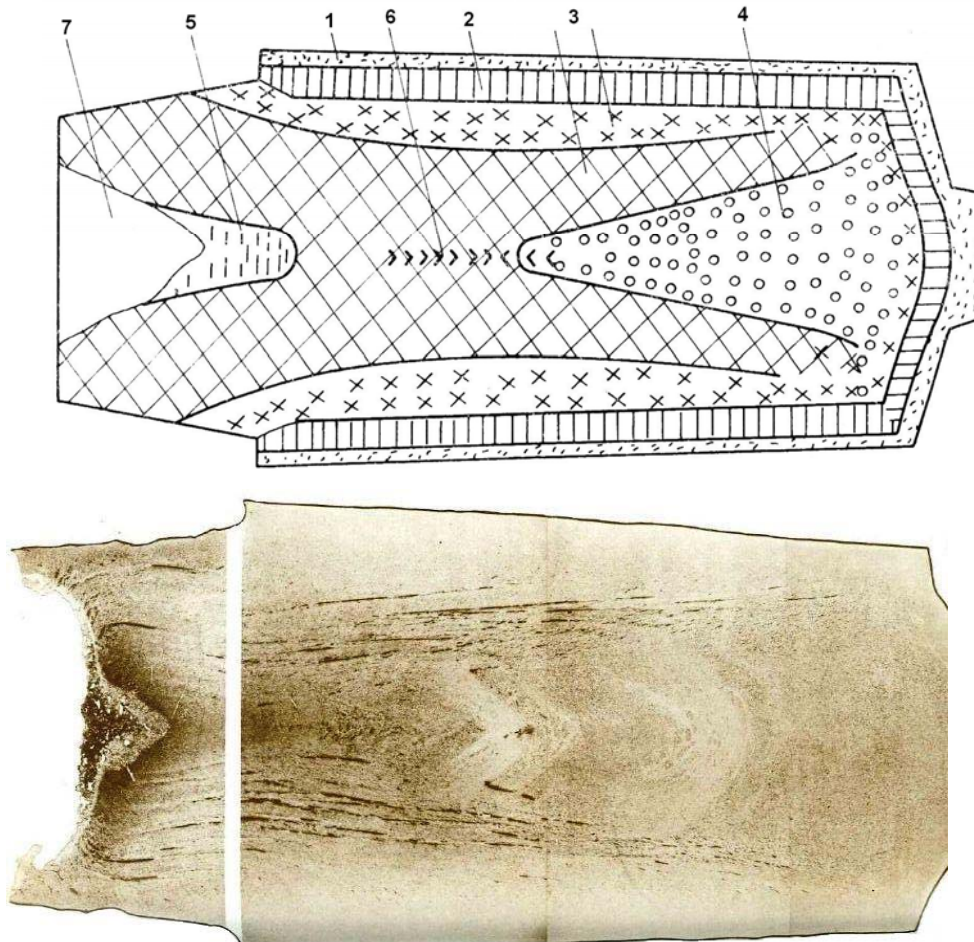
### Struktura kovářských ingotů

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. 7.3.**):

1. **Licí kůra** podobě velmi tenké vrstvy neuspořádaných rovnoosých dendritů (viz. **obr. 7.4.**). Následkem rychlého ochlazení neobsahuje žádné segregace a svým chemickým složením se blíží průměrnému složení ingotu.



**Obr. 7.4.** Schéma růstu dendritů



**Obr. 7.3.** 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. Zvláště 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 výkovicích je toto pásmo totiž velmi náchylné k vzniku **vloček** (krátké, křivolaké, stříbřitě zbarvené trhliny, které postihují vnitřní části ochlazených výkovek) a prasklin.

4. Střední pásmo globulitických zrn stržených vlastní vahou 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 vměstky.

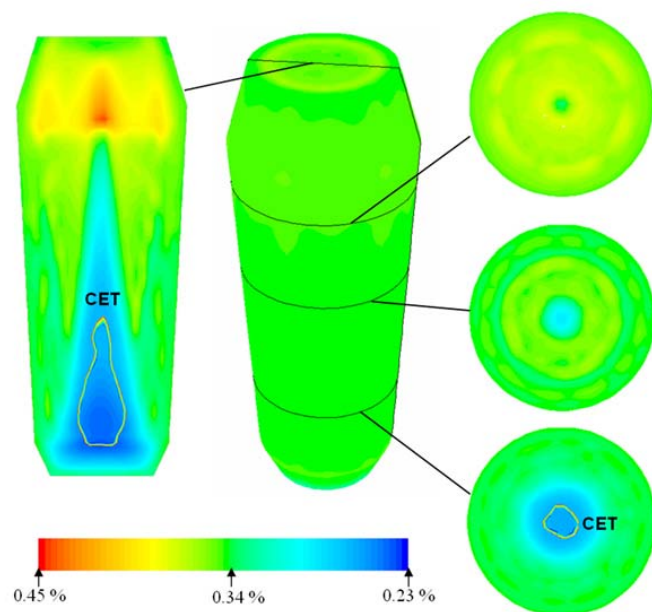
5. Malé, segregací prosté pásmo těsně pod hlavou ingotů, resp. primární **staženinou**.

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. 7.5.**), jestliže chemické složení se různí v rámci dendritu, nebo rázu makroskopického (pásmová segregace, viz. **obr. 7.3.**), 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 zasazených pásmovou segregací jsou horší než ve



**Obr. 7.5.** 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. 7.3.**), 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 tvářeni (v případě velkých ingotů pak výhradně při kování) musíme volit takový stupeň protváření, aby došlo k přeměně lici struktury na strukturu protvářenou, dynamicky zrekrytalizovanou, a aby došlo ke svaření vnitřních necelistvostí.



## Otázky 7.2.

- 7.2.1) Jaké polotovary se používají v kovárnách?
- 7.2.2) Jakých hmotností dosahují nejtěžší ingoty?
- 7.2.3) Proč mají mnohoúhelníkové ingoty vyduté stěny?
- 7.2.4) Popište technologii výroby ingotu. Co je to hlava a pata ingotu?
- 7.2.5) Charakterizujte mikrostrukturu ingotu.
- 7.2.6) Proč sloupcovité dendrity rostou kolmo na stěnu kokily?
- 7.2.7) Kde najdeme lunkr?
- 7.2.8) Co je to makroskopická segregace?
- 7.2.9) Co je to mikroskopická segregace?
- 7.2.10) Jaký vliv má velikost ingotu na segregaci?



## Úlohy k řešení 2.1.

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

## 7.3. Vliv kování na strukturu a vlastnosti výkovků



**Čas ke studiu:** 1 hodina



## Pojmy k zapamatování

Stupeň prodlužování, stupeň pýchování, stupeň prokování, vláknitost





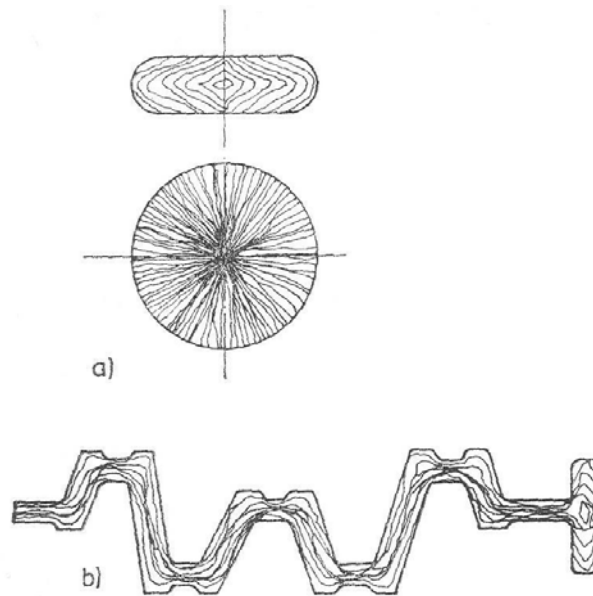
## Výklad

### □ Změna makrostruktury

Dendritická struktura kovářského ingotu se vyznačuje výraznou chemickou i fyzikální nestejnorodostí a velkým výskytem vnitřních nečistostí 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. Vlákňitost se objevuje v jádře ingotu po dvojnásobném až trojnásobném stupni prodlužování, kdežto v celém průřezu ingotu až po desetinasobném 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. 7.6.** a **7.7.**)

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



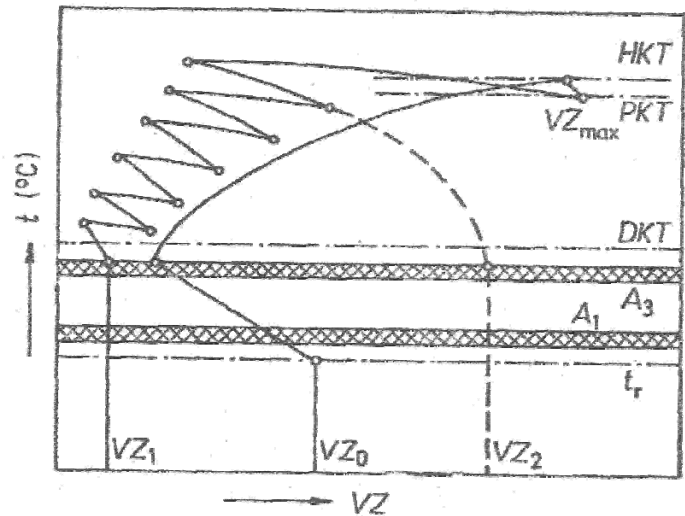
**Obr. 7.6.** Charakteristický průběh vláken výkovků **a)** pýchovaným kotoučem, **b)** zalomeným hřídel kovaným v zápustce



**Obr. 7.7.** 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. 7.8. Výchozí polotovary 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. 7.8. 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).

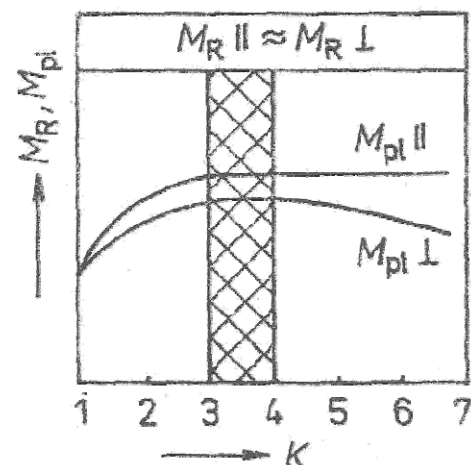
Při přerušení nebo ukončení kovacího pochodu po prvním úderu (např. následkem poruchy tvářecího stroje), tedy v oblasti vysokých teplot, se dalším nerušeným ochlazováním dospěje k zrnu o velikosti  $VZ_2 > VZ_0$ , což je krajně nevýhodné, zejména pak tehdy, jde-li o jednofázovou ocel, jejíž zhrublé zrno 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. 7.9., 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 krouževnatost  $KC$ ).

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. 7.9. 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 pēchování.

#### □ Stupeň prokování

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

Pro **podélné výkovky a kované tyče**:



#### Vzorec k zapamatování

$$PK_a = A^n P^n K \quad (7.1)$$

Kde  $A$  je pēchovací ekvivalent,

$$A = 0,7 \text{ až } 0,9,$$

$$P \text{ je stupeň prokování ingotu } P = \frac{S_{ip}}{S_i}, \quad (7.2)$$

$$K \text{ je stupeň prodlužování ingotu } K = \frac{S_i}{S_v}, \quad (7.3)$$

$n$  je počet pēchovacích operací,

$S_{ip}$  je plošný obsah středního příčného průřezu napēchovaného 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

$$PK_b = PK_a \sqrt{P'} \quad (7.4)$$

Kde  $PK_a$  je stupeň prokování špalku,

$$P' \text{ je stupeň pēchování v poslední operaci } P' = \frac{S_{vp}}{S_s}, \quad (7.5)$$

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

$S_s$  je plošný obsah příčného průřezu špalku.

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 pěchování 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 kovadlo příliš úzké, zůstane jádro výkovku při prodlužování neprokováno i při stupni  $PK \geq 3$ .

**Σ 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 nečistostí. 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 7.3.**

- 7.3.1) Jak vzniká ve výkovcích vláknitost?
- 7.3.2) Jak lze vláknitost odstranit?
- 7.3.3) Jak se nazývá operace, kterou se zvětšuje délka ingotu?
- 7.3.4) Jak se mění hustota oceli při kování ingotů?
- 7.3.5) Jakým měřitelným parametrem lze charakterizovat mikrostrukturu výkovků?
- 7.3.6) Definujte teplotu rekrystalizace?
- 7.3.7) Jakým mechanismem dojde ke zjemnění zrna při kování?
- 7.3.8) Jaký vliv má stupeň prokování na mechanické vlastnosti oceli?
- 7.3.9) Co způsobuje anizotropii mechanických vlastností při vysokých hodnotách stupně prokování?

**Úlohy k řešení 7.3.**

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

## 7.4. 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 výkovek 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 tvářeni (válcování, protlačování), které se vyznačují laminárním charakterem deformace;

3. výroba výkovek 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 výkovek, 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 kováním;

2. značné materiálové přídatky na povrchu volných výkovek (u největších výkovek až několik desítek milimetrů!), které se při dalším obrábění mění v kovový odpad;

3. omezenou tvarovou složitost volných výkovek;

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.

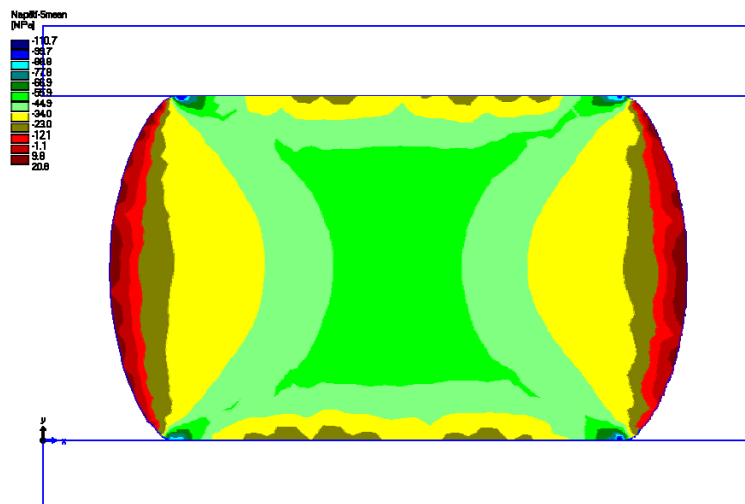
Nejtěžší výkovky o hmotnosti až 600 t se zhotovují na hydraulických lisech o síle  $F = 3$  až 180 MN. Na základě současného vývoje se předpokládá postupné převedení tvarových výkovků těžších než 100 kg a jednoduchých výkovků nad 750 kg z bucharů na rychloběžné hydraulické lisy.

### □ Základní kovářské operace volného kování

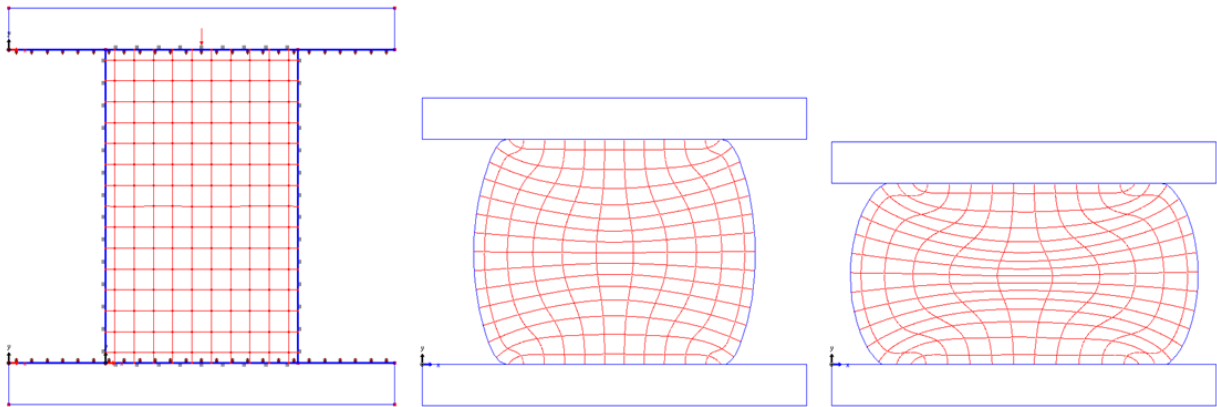
#### Pěchování (upsetting)

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. 7.10.), jehož vnějším příznakem je soudkovitost napěchovaného polotovaru. V obvodových oblastech pěchovaného polotovaru se tak vyvolávají přídavná tahová napětí (viz. obr. 7.11.), která mohou u nízkotvařitelných ocelí vyústit ve vznik podélných povrchových trhlin. Tahové namáhání je pro tvářený kov nejméně příznivé, a proto se pěchování často uplatňuje jako náročná zkouška jakosti kovu.



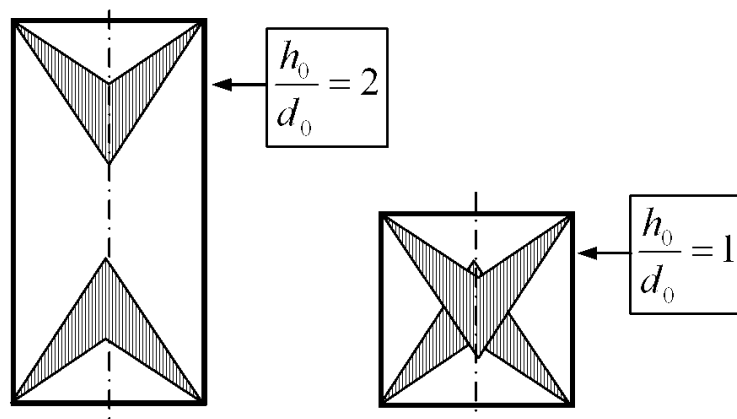
**Obr. 7.11.** Matematické modelování: Rozložení oktaedrického (středního) napětí po průřezu napěchovaného soudku. Kladné hodnoty indikují přítomnost nežádoucího tahového stavu napjatosti.



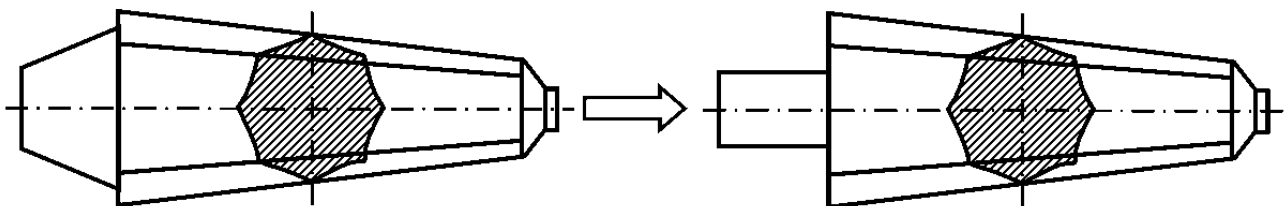
**Obr. 7.10.** Matematické modelování: Deformace čtvercové (Lagrangeovy) sítě v jednotlivých časových krocích pěchování odhaluje místa největší intenzity deformace. Zleva doprava: počáteční stav, deformace 25%, deformace 50 %

### Základní pravidla pěchování

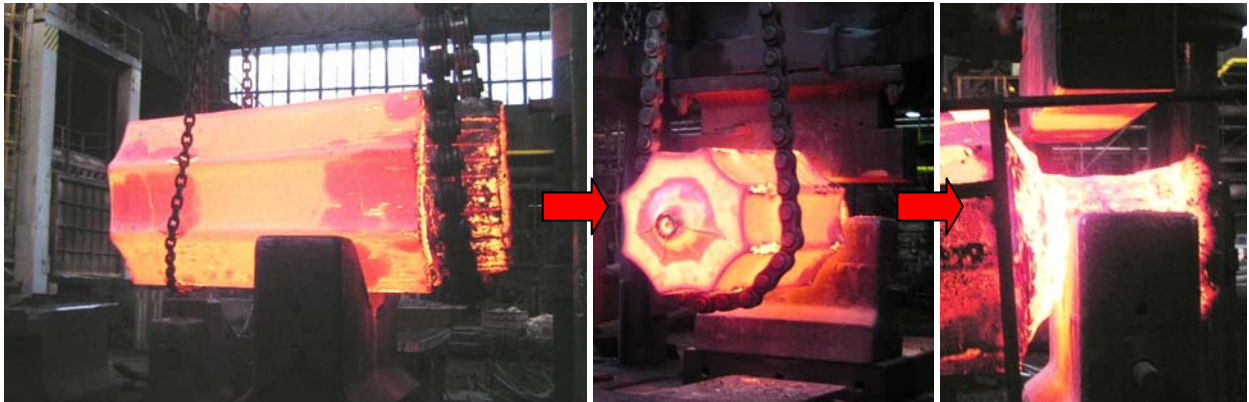
1. Rovnoměrně prohrát polotovár.
2. Upravit čelní plochy (zajisti vzájemnou rovnoběžnost).
3. Štíhlost  $h_0/d_0$  max. 2,5 (zabránění ohybu pěchovaného tělesa) (viz. **obr. 7.12.**).
4. Před pěchováním z ingotu, vykovat z jeho hlavy manipulační čep (viz. **obr. 7.13.** a **obr. 7.14.**).
5. Pro ingoty volit stupeň pěchování  $P_{min} = 2,8$ .



**Obr. 7.12.** Zjednodušené znázornění oblastí intenzivní deformace v pěchovaném tělese pro různé stupně štíhlosti výchozího polotovaru.



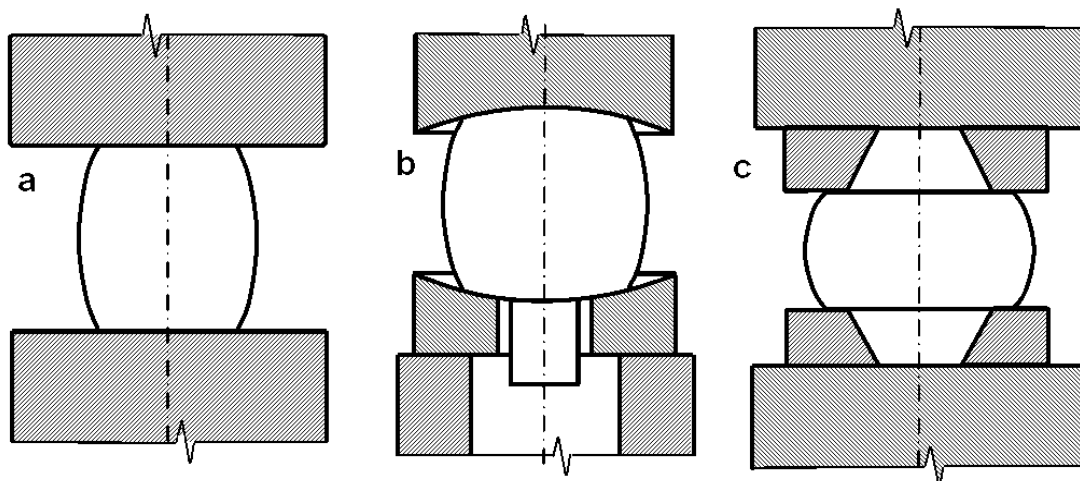
**Obr. 7.13.** Způsob vykování manipulačního čepu z hlavy ingotu



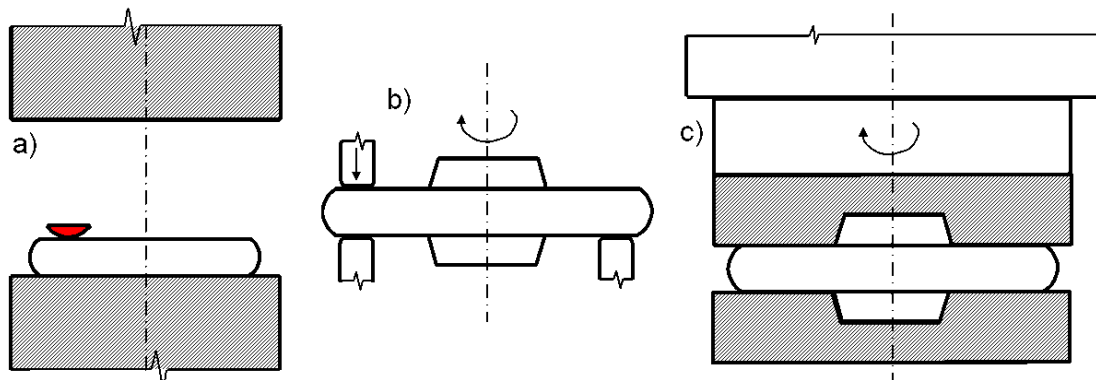
**Obr. 7.14.** Postup při kování manipulačního čepu z hlavy ingotu

### Základní způsoby pěchování

Na **obr. 7.15.** jsou uvedeny různé způsoby pěchování. U výkovek kotoučů a desek o velkém průměru a malé tloušťce se po pěchování zařazuje některý z následujících způsobů rozkování (viz. **obr. 7.16.**).



**Obr. 7.15.** Pěchování **a)** rovnými deskami, **b)** tvarovými deskami, **c)** v přípravcích



**Obr. 7.16.** Pěchování desek **a)** příložkou, **b)** rovnými kovadly, **c)** úzkým tvarovým kovadlem

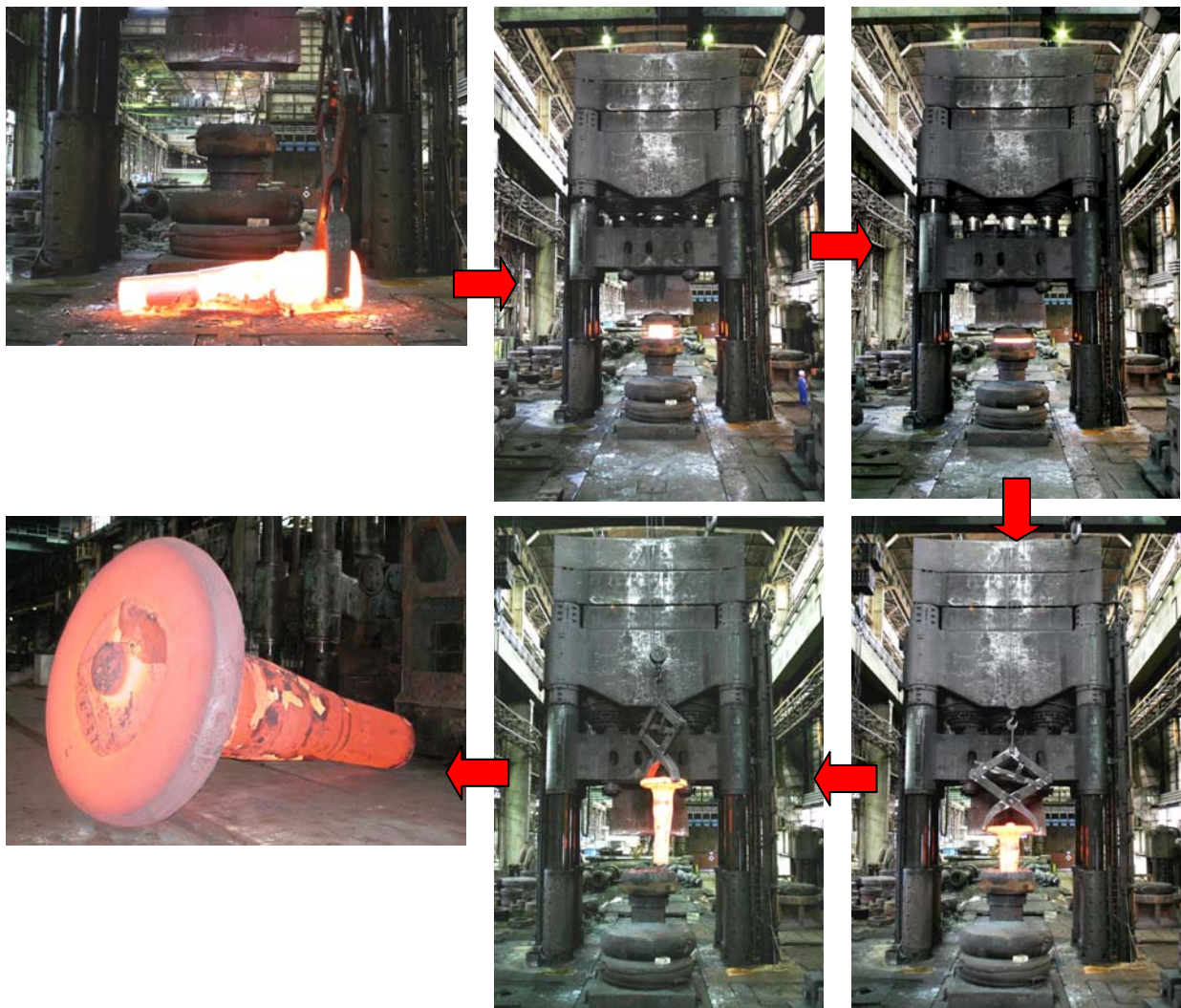
Zajímavým praktickým příkladem pěchování je závěrečná operace kování rotoru větrné elektrárny na velkém lise v Pilsen Steel, a.s. Jedná se o výkovek, který je díky svému tvaru slangově nazýván „hřebík“ (viz. **obr. 7.17.**).



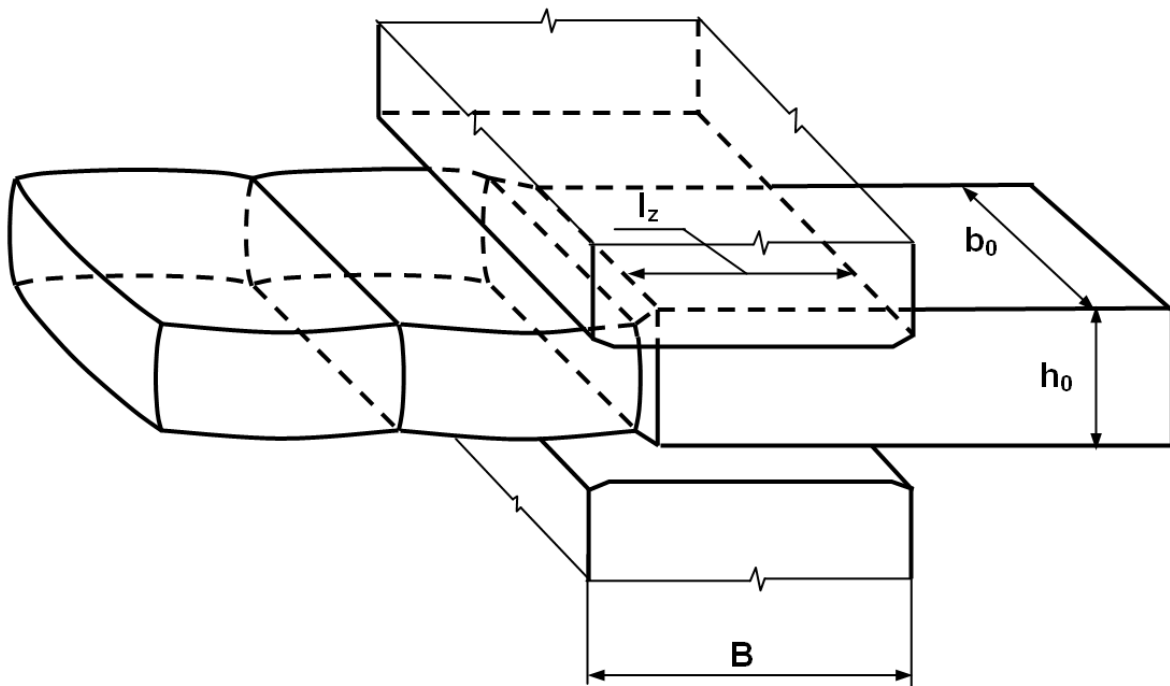

**CD-ROM** 53 *Laboratorní pēchování*
**Prodlužování** (drawing out, fullering)

Je to nejrozšířenější kovářská operace, při níž se zmenšuje příčný průřez polotovaru a jeho délka výrazně vzrůstá. Prodlužuje se na rovných a tvarových kovadlech. Zjednodušeně lze na prodlužování pohlížet jako na sled po sobě následujících pēchování, při nichž je šíření omezeno tzv. **tuhými konci**, tj. oblastmi, které přímo navazují z obou stran na pásmo deformace.

Na začátku záběru působí kovadla na polotovaru po určité délce záběru  $l_z$ , která je vždy kratší než šířka kovadla  $B$  (viz. **obr. 7.18.**). O délku **záběru** se polotovaru posouvá ve směru své podélné osy po každém záběru. Několik po sobě následujících záběrů pokrývajících celou délku prodlužovaného polotovaru je **průchod** a řada po sobě následujících průchodů prokládaných hraněním, tj. otáčením polotovaru kolem jeho podélné osy, tvoří pak v nejjednodušší podobě náplň prodlužování.



**Obr. 7.17.** Postup při závěrečném pēchování rotoru větrné elektrárny v Pilsen Steel, a.s.



Obr. 7.18. Schéma prodlužování

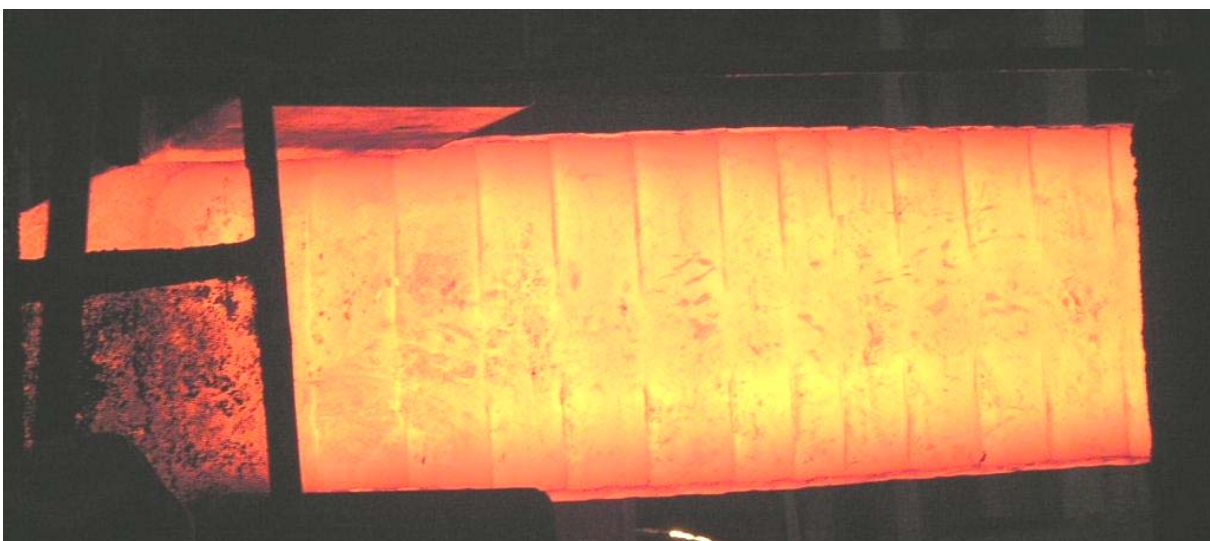


**CD-ROM** 54 Prodlužování ingotu MKP



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

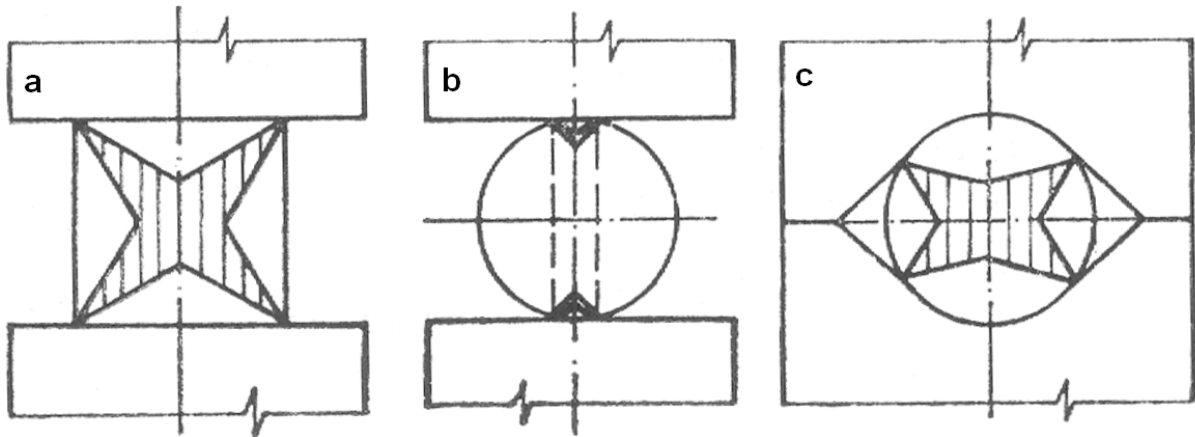
Použitá délka záběru  $l_z$  je na výkovku obvykle dobře čitelná (viz. obr. 7.19.).



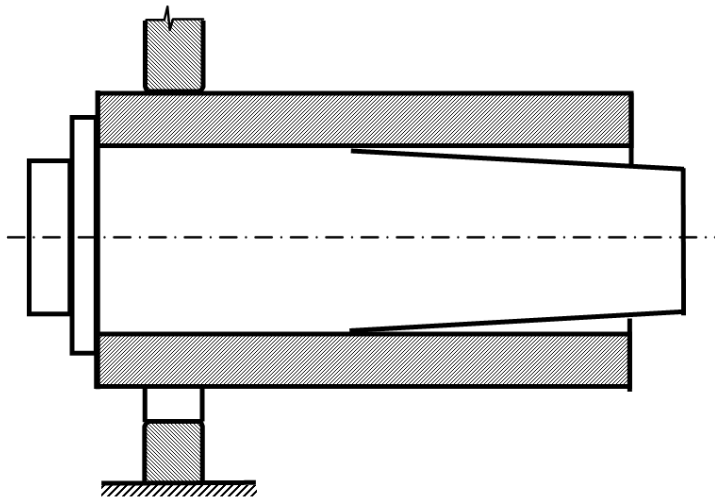
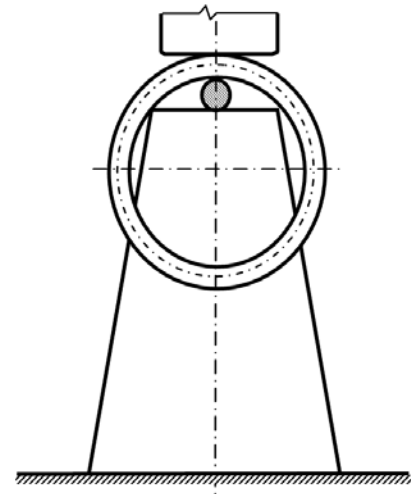
Obr. 7.19. Stopy kovačny na výkovku dávají představu o délce záběru

**Základní způsoby prodlužování**

- Prodlužování výkovků pravoúhlého průřezu na rovných kovadlech (viz. **obr.7.20. a**).
- Prodlužování výkovků kruhového průřezu na rovných kovadlech (viz. **obr.7.20. b**).
- Prodlužování výkovků kruhového průřezu na tvarových nebo kombinovaných kovadlech (viz. **obr.7.20.c**).

**Obr. 7.20.** Základní způsoby prodlužování**Zvláštní způsoby prodlužování dutých výkovků:**

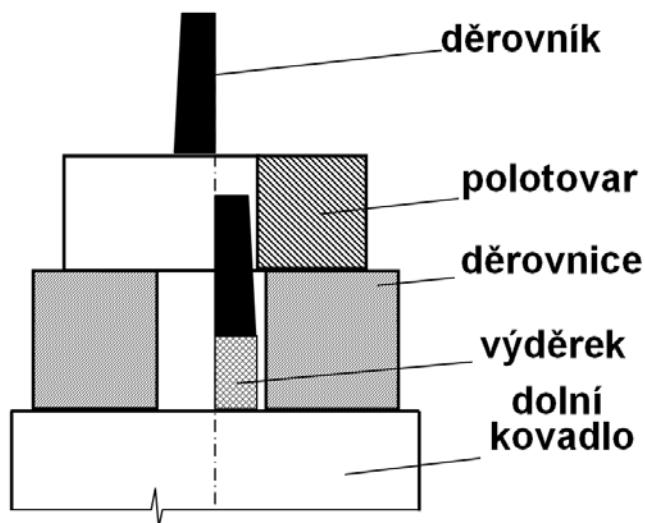
- Prodlužování na trnu: kotlová tělesa, bubny, pouzdra, apod. (viz. **obr. 7.21**).
- Rozkování na trnu: kování kroužků (viz. **obr. 7.22**).

**Obr. 7.21.** Prodlužování kotlového tělesa na trnu:**Obr. 7.22.** Kování kroužků na trnu**Děrování (piercing, holing, punching)**

Prostřednictvím této operace se dosahuje ve výkovku průchozí díry (viz. **obr. 7.23**). Pokud se označí vnější průměr výkovku  $D$  a jeho výška  $H$ , pak průměr díry  $d$ :

$$1/3 D \geq d \geq 0,4 H \quad (7.6)$$

I při děrování je nutné rovnoměrné prohnutí 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. 7.24.**), čímž se sníží odpad a zjednoduší děrování. Při děrování polotovarů vykovanych 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.

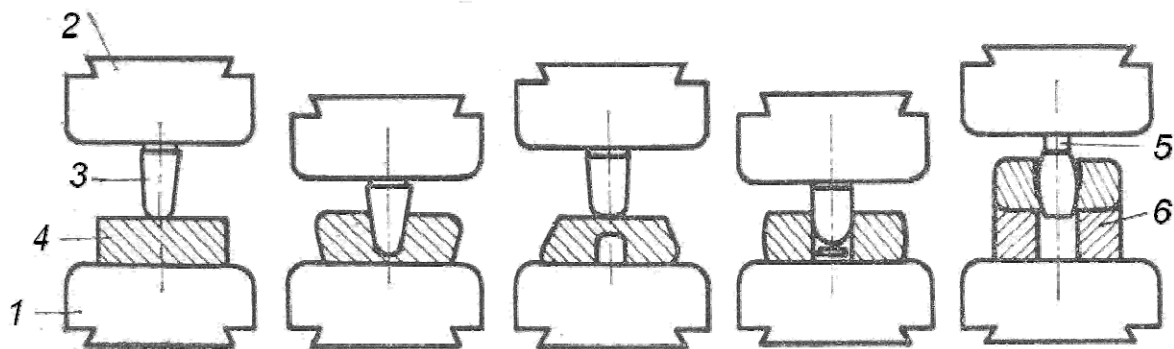


**Obr. 7.23.** Schéma děrování, vlevo před, vpravo po



**Obr. 7.24.** Děrování (Škoda)

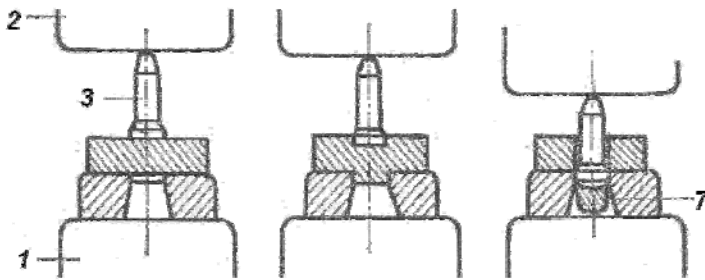
Nejrozšířenější je **děrování plným trnem** (viz. **obr. 7.25.**). Na napěchovaný polotovar 4 se postaví kuželovitý trn 3, který se horním kovádlem 2 zatlačí asi do 2/3 výšky polotovaru. Po otočení polotovaru se prostřihne tenká blána - jediný odpad při děrování. Aby se dosáhlo požadovaného tvaru, protlačuje se pak dírou soudkovitý kalibrační trn 5.



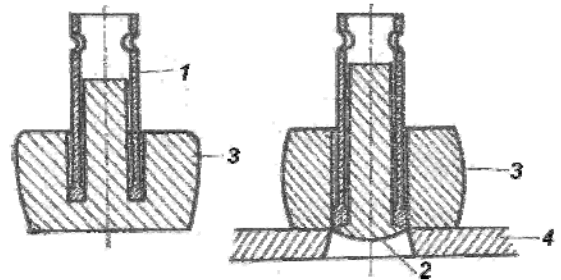
**Obr. 7.25.** Postup děrování plným trnem

**Tenčí výkovky** se děrují následujícím způsobem; vzniká při něm poměrně velký odpad 7, ale díra je natolik přesná, že nevyžaduje další kalibraci (viz. **obr. 7.26.**).

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. 7.27.**).



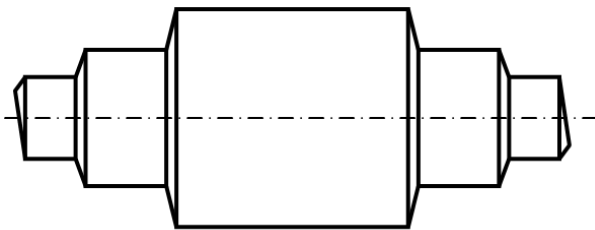
Obr. 7.26. Děrování tenkých výkovků



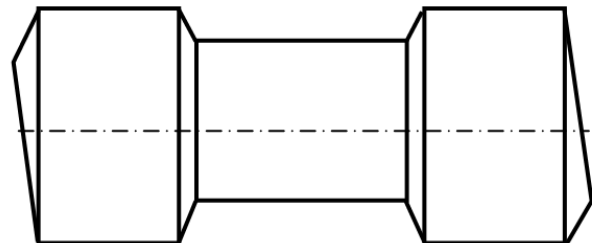
Obr. 7.27. Děrování dutým trnem

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

Zvláštní případy prodlužování vymezených částí výkovku. Osazuje se na koncových částech, vzniká osazení (viz. obr. 7.28. a obr. 7.30.), prosazuje ve středových částech, vzniká prosazení (viz. obr. 7.29. a obr. 7.30.), ve zvláštním případě mohou vzniknout příruby.



Obr. 7.28. Osazený výkovek

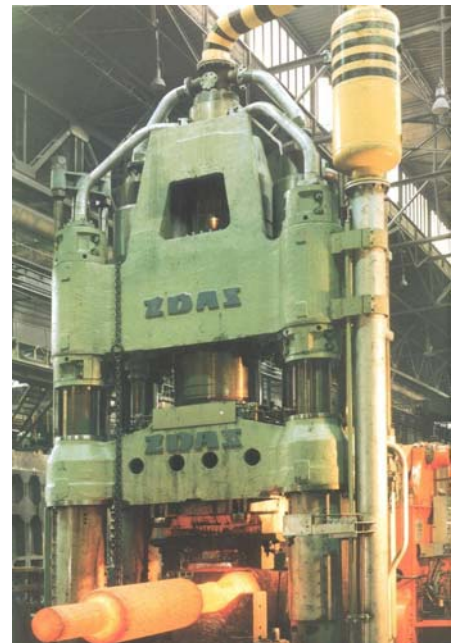


Obr. 7.29. Prosazený výkovek

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 zbývající části výkovku (notching).



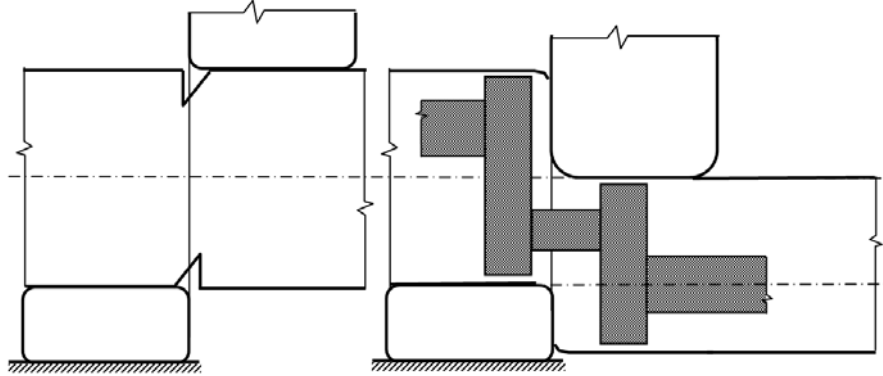
Obr. 7.30. Osazování



Obr. 7.31. Prosazování

**Přesazování (offseting)**

Příčné přemístění vymezeného objemu výkovku, přičemž podélná osa vzniklého přesazení je rovnoběžná s podélnou osou zbyvající části (viz. **obr. 7.32.**). Je nepostradatelnou operací při kování zalomených hřídelů.



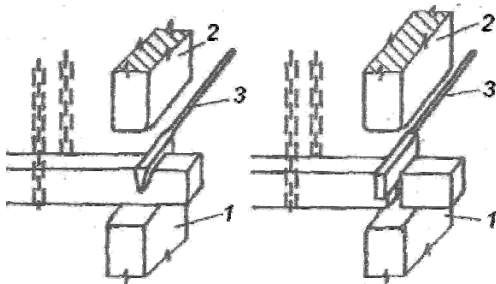
**Obr.7.32.** Schéma přesazování, tmavě je vyznačena budoucí kliková hřídel

**Sekání (cutting off)**

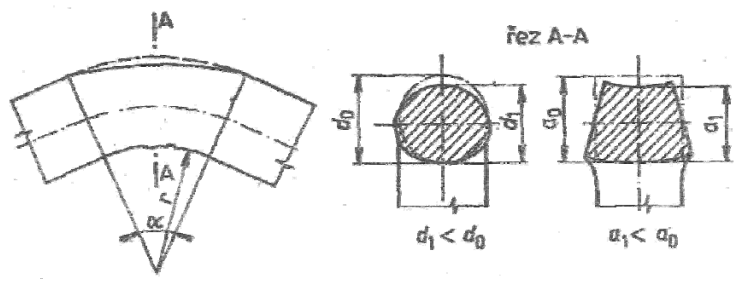
Sekání se užívá k dělení výchozího materiálu na jednotlivé polotovary, ale častěji k oddělování přebytečného a odpadového materiálu od výkovků. Záměrně úzký nástroj, sekáč 3, vytváří tak štíhlé pásmo deformace, že v něm převládají přídatná tahová napětí, která vedou k žádoucímu porušení soudržnosti (2 horní a 3 dolní kovadlo) (viz. **obr. 7.33.**).

**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. 7.34.**, přičemž tyto změny jsou tím výraznější, čím tlustší je ohýbaný polotovaz, menší je poloměr ohybu  $r$  a větší úhel ohybu  $\alpha$ .



**Obr. 7.33.** Sekání



**Obr.7.34.** 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 neúčinnější hnací zařízení současného světa. Vyrobila 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

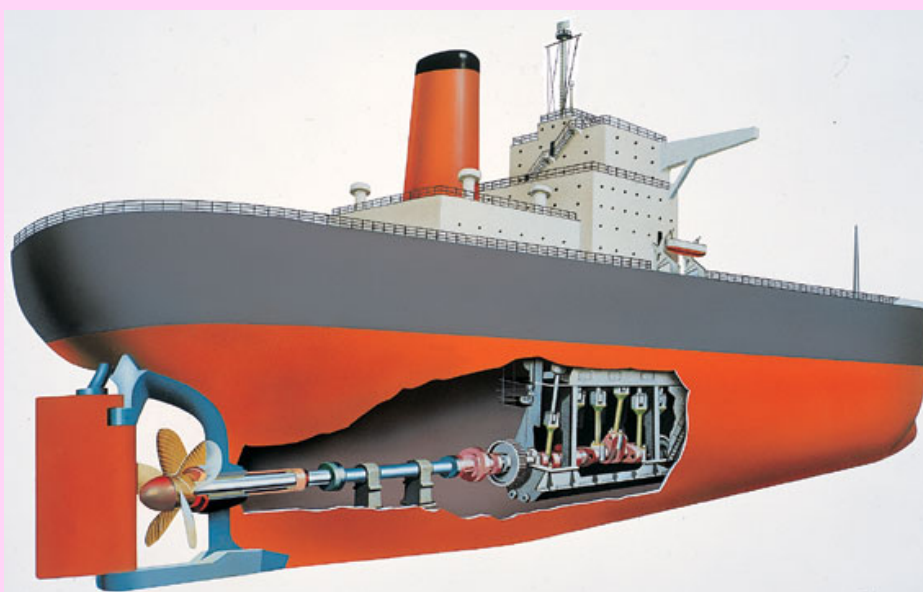
Celkový objem (14 válců): 25 480 litrů

Celková hmotnost: 2 300 tun

(jenom kliková hřídel váží 300 tun)

Délka: 27,1 m

Výška: 13,4 m



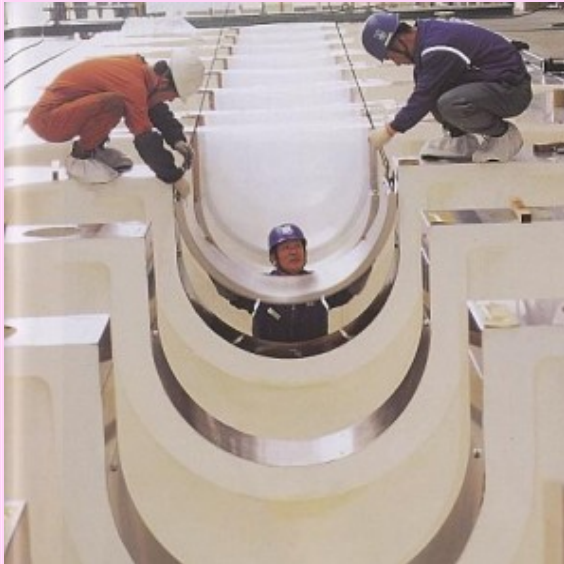
Maximální výkon: 81 221 kW při 102 otáčkách za minutu

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

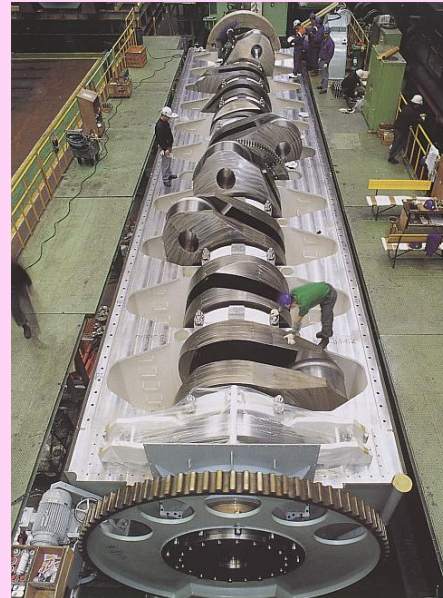
Spotřeba paliva při maximálním výkonu je 0,278 lbs/hp/hod

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.



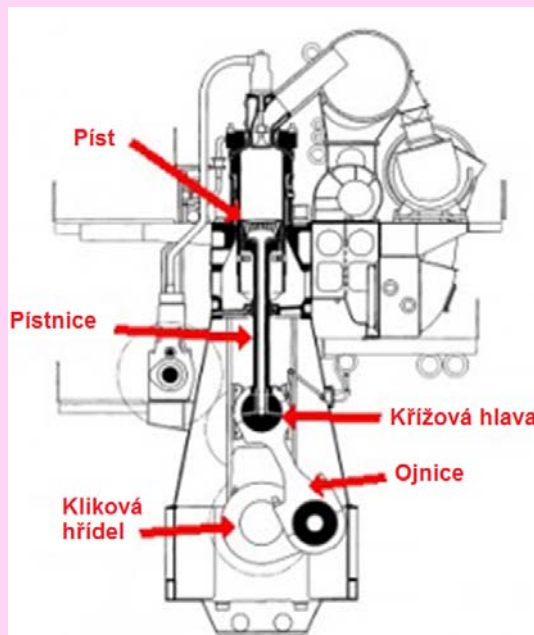
*Instalace ložisek na ojnici, průměr čepu je 965,2 mm a šířka je 406,4 mm.*



*Montáž klikové hřídele do skříně.*

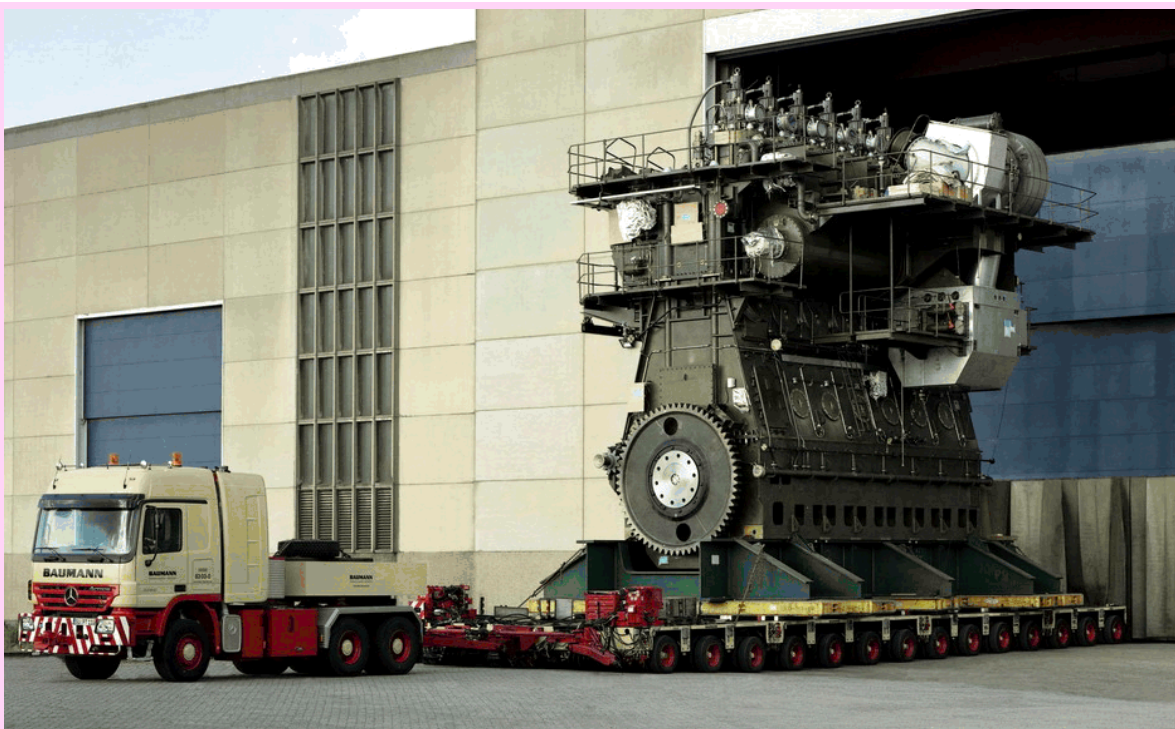


*Spojení pístu (nahore) a pístnice. Čtvercová deska dole slouží k připojení ke křížové hlavě.*



*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: pēchování, 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 7.4.

- 7.4.1) Vyjmenujte rozdíly mezi volným a zápusťkovým kováním.
- 7.4.2) Proč je volné kování účinnější při rozrušování lité struktury než válcování.
- 7.4.3) V čem je volné kování lepší než obrábění?
- 7.4.4) Vyjmenujte nevýhody volného kování oproti zápusťkovému kování
- 7.4.5) Rozdělte stroje pro kování podle hmotnosti výkovků
- 7.4.6) Definuňte pēchování
- 7.4.7) Jak vzniká soudkovitost?
- 7.4.8) Jaké jsou důsledky nerovnoměrnosti deformace při pēchování?



## Otázky 7.4.

- 7.4.9) Proč je zapotřebí upravit před pěchováním čelní plochy polotovaru?
- 7.4.10) Co je to štíhlost výkovku?
- 7.4.11) Načrtněte základní způsoby pěchování.
- 7.4.12) Vyjmenujte rozdíly mezi volným a zápustkovým kováním.
- 7.4.13) Proč je volné kování účinnější při rozrušování lité struktury než válcování.
- 7.4.14) V čem je volné kování lepší než obrábění?
- 7.4.15) Vyjmenujte nevýhody volného kování oproti zápustkovému kování
- 7.4.16) Rozdělte stroje pro kování podle hmotnosti výkovků
- 7.4.17) Definujte pěchování
- 7.4.18) Jak vzniká soudkovitost?
- 7.4.19) Jaké jsou důsledky nerovnoměrnosti deformace při pěchování?
- 7.4.20) Proč je zapotřebí upravit před pěchováním čelní plochy polotovaru?
- 7.4.21) Co je to štíhlost výkovku?
- 7.4.22) Načrtněte základní způsoby pěchování.
- 7.4.23) Jaký je rozdíl mezi **obr. 7.15. c** a **obr. 7.16. c**?
- 7.4.24) Která operace je silově náročnější, pěchování nebo prodlužování téhož ingotu? Proč?
- 7.4.25) Která operace je časově náročnější, pěchování nebo prodlužování téhož ingotu? Proč?
- 7.4.26) Co je to délka záběru při prodlužování? Jaké pravidla platí při jejím stanovení?
- 7.4.27) Čím při prodlužování ovlivňujeme hloubku proniku plastické deformace?
- 7.4.28) Kdy bude větší hloubka proniku při prodlužování rovnými kovadly tyče čtvercového nebo kruhového průřezu? Vysvětlíte pomocí náčrtku.
- 7.4.29) Jaký musí platit vztah mezi průměrem díry a průměrem výkovku při děrování?
- 7.4.30) Jaký musí platit vztah mezi průměrem díry a výškou výkovku při děrování?
- 7.4.31) Jaké znáte druhy děrování? Uveďte výhody a nevýhody.
- 7.4.32) Co je to osazování?
- 7.4.33) Co je to prosazování?
- 7.4.34) Co je to přesazování?
- 7.4.35) Jaké výkovky se vyrábí ohýbáním?
- 7.4.36) Popište způsob kování klikové hřídele velkého lodního motoru.

## 7.5. 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.).

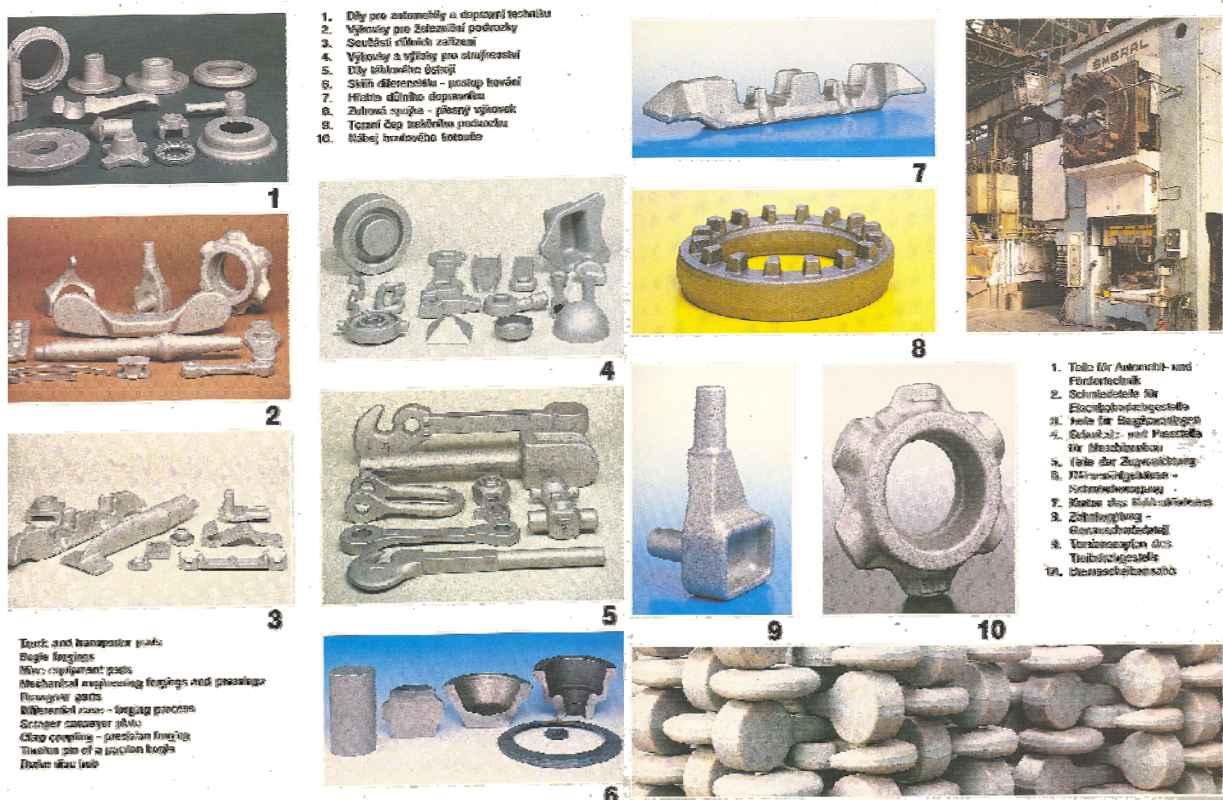
### □ Charakteristika zápustkového kování

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 výkoveků za hodinu, na automatických linkách i přes 1 000 výkoveků za hodinu;

2. zhotovení **tvarově členitých výkoveků** (viz. **obr. 7.35.**) s minimálními materiálovými přídávky (v některých případech zcela bez přídavek anebo s přídávky jen na některých, funkčně nejnáročnějších plochách), vysokou rozměrovou přesností (u výkoveků 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. 7.35. Portfolio zápustkových výkoveků

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.

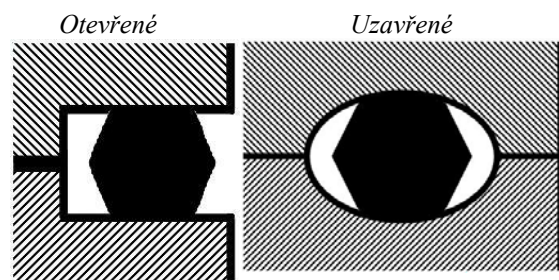
#### □ Vstupní polotovary:

**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. 7.36.**) je doprovázeno vždy určitým **nedostatkem** materiálu. Porušení této podmínky má za následek vytvoření nežádoucího výronku, s následným nebezpečím vzniku přeložky v dokovací dutině.



**Obr. 7.36.** Přípravné dutiny



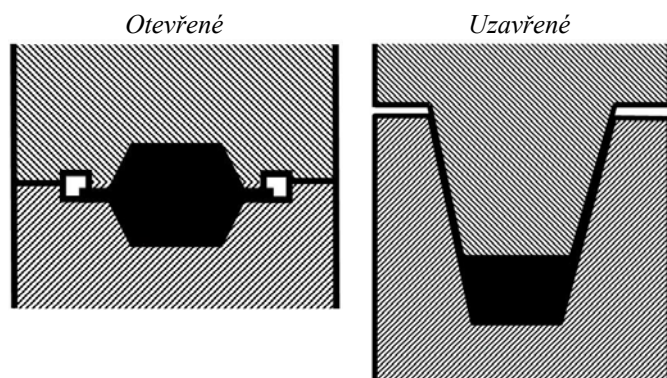
**CD-ROM**

55 Laboratorní kování v otevřených zápustkách

#### □ Dokončovací dutiny

Charakteristickým znakem otevřených dokončovacích zápustek (viz. **obr. 7.37. vlevo**) je výronková drážka, do které odtéká přebytečný kov v podobě **výronku**.

Do uzavřených dutin se vkládá polotovar o stejném objemu, jako má hotový výkovek. Tato technologie se však dá použít pouze pro jednoduché rotačně symetrické výkovky, za předpokladu zvýšení rozměrové přesnosti vstupních polotovarů (viz. **obr. 7.38. vpravo**).

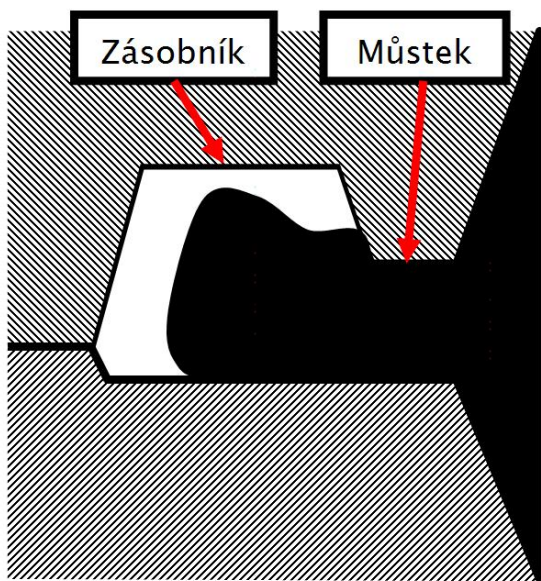


**Obr. 7.37.** Dokončovací dutiny

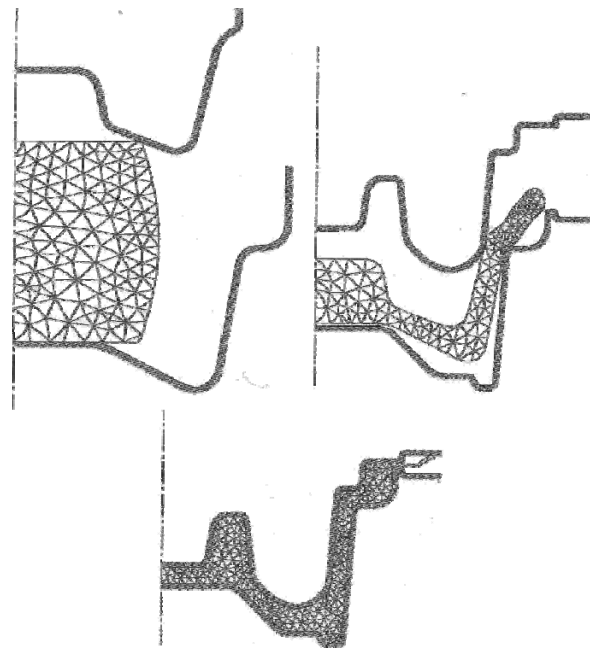
### □ Výronek (flash)

Výronek (viz. **obr. 7.38.**) sice představuje materiálovou ztrátu (10 až 30 %), avšak současně plní některé významné úkoly:

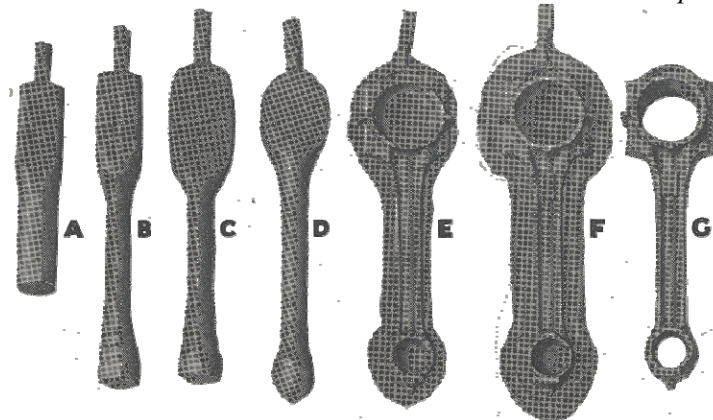
- Těsně před semknutím zápustky musí výronek svým tvarem, především velmi velkou plochou (což vede ke zvýšení deformačního odporu), zvýšit odpor proti vytékání kovu ze zápustkové dutiny. Kov potom teče do uzavřených přírub (viz. **obr. 7.39.** třetí operace).
- Ve výronku se vyrovnávají objemové rozdíly výchozího polotovaru (i rozdíly způsobené opotřebením zápustky).
- Výronek též působí jako tlumič rázů mezi dosedajícími díly zápustky.



**Obr. 7.38.** Výronek v řezu



**Obr. 7.39.** Matematické modelování: Postup zápustkového kování, začátek druhé operace v uzavřené zápustce, začátek a konec třetí operace v otevřené zápustce.



**Obr. 7.40.** Postupná změna tvaru polotovaru při kování ojnice a) předkování b) rozválcování c) d) otevřené přípravné dutiny, e) předhotovni uzavřené dutiny (vznik výronku) f) dokování g) odštěžení 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 tvářeni 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 7.5.**

- 7.5.1) Co způsobilo rozvoj zápusťkového kování?
- 7.5.2) K čemu se používá zápusťkové kování?
- 7.5.3) Vymezte zápusťkové kování vůči kování volnému.
- 7.5.4) Jaké jsou přednosti zápusťkového kování?
- 7.5.5) Jaké jsou nedostatky zápusťkového kování?
- 7.5.6) Jaké výrobky se vyrábějí zápusťkovým kováním?
- 7.5.7) Jaké jsou požadavky na zápusťky?
- 7.5.8) Jaké se používají vstupní polotovary pro zápusťkové kování?
- 7.5.9) Jaké znáte dokončovací dutiny?
- 7.5.10) Co je to výronek?
- 7.5.11) Jaké jsou funkce výronku?
- 7.5.12) Vysvětlete důvod zvýšení deformačního odporu ve výronku.

**7.6. 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 lisy**, které zpracovávají kov klidným tlakem vyvíjeným kapalným médiem v hydraulickém systému lisu.

### □ Buchary

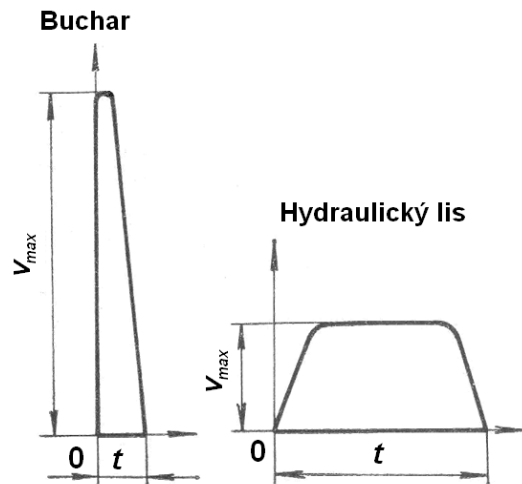
U bucharu se pracovní rychlost  $v$  mění z maxima  $v_{max}$  na nulu v neobyčejně krátkém čase  $t$ , který se udává v setinách až tisícinách sekundy. Největší rychlosti,  $v_{max} = 4,5$  až  $9 \text{ m.s}^{-1}$ , dosahuje beran v okamžiku, kdy dopadne na polotovar. Pracovní rychlost hydraulického 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. 7.41**).

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.

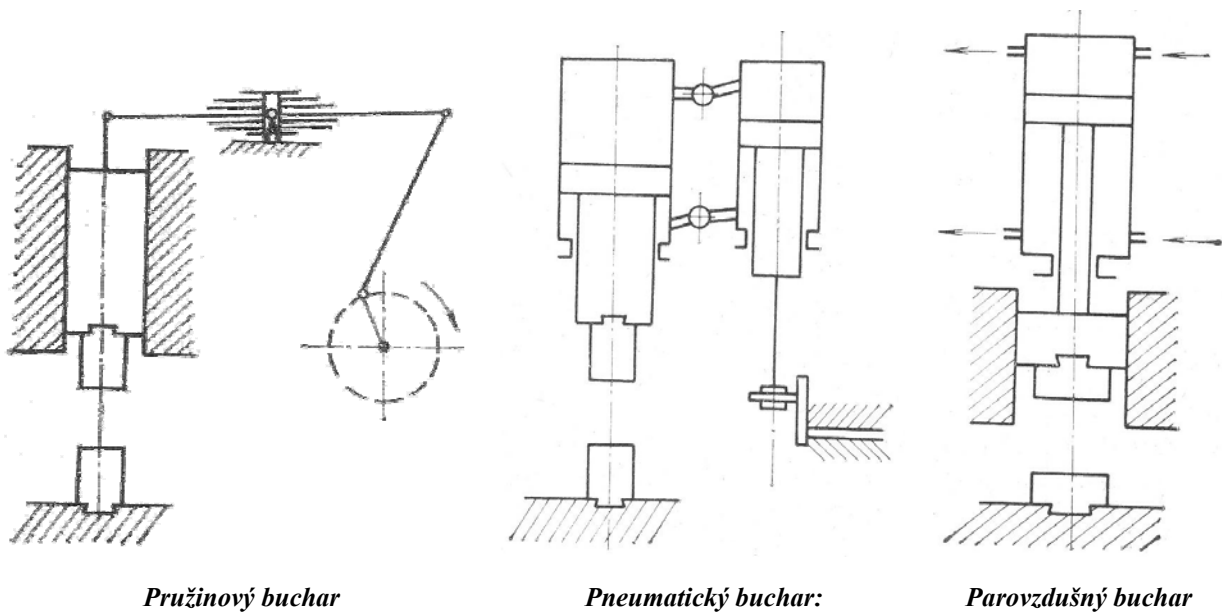
Výkovky velkého průřezu se nemají kovat na bucharu, protože jím nelze dosáhnout rovnoměrného a dokonalého prokování v celém objemu výkovku. Na začátku kování je totiž zdvih beranu malý, a tím i nízká rázová energie, na konci kování je tomu opačně.

Buchary pro volné kování se dělí na pružinové, pneumatické a parovzdušné. Nástin činnosti jednotlivých typů bucharů přináší **obr. 7.42**. **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. 7.41.** Pracovní rychlost strojů pro kování.





Pružinový buchar

Pneumatický buchar:

Parovzdušný buchar

Obr. 7.42. Nástin činnosti jednotlivých typů bucharů

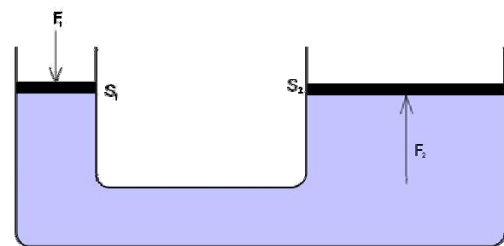


CD-ROM

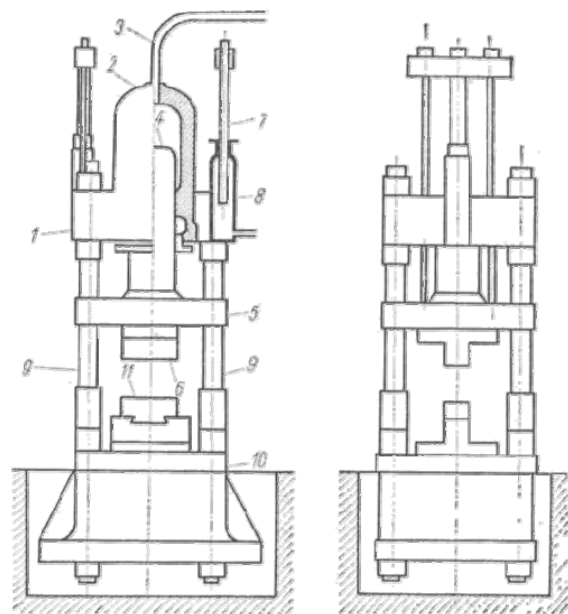
57 Technologie kování na bucharrech

### □ 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. 7.43.). 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:  $F_2/F_1 = S_2/S_1$ .



Obr. 7.43. Princip hydraulického lisu.



Obr. 7.44. Schéma hydraulického lisu.

Schéma hydraulického lisu je na obr. 7.44. 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 kovádko 6.

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 kovadlo 11.

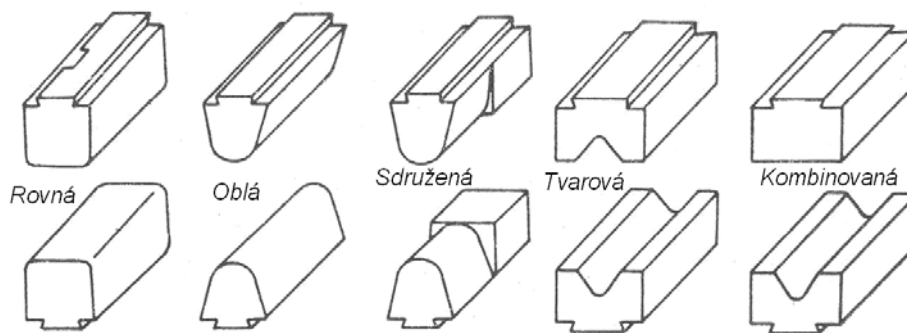


## CD-ROM

58 Technologie kování na lisech

### □ Pomocná zařízení pro kování

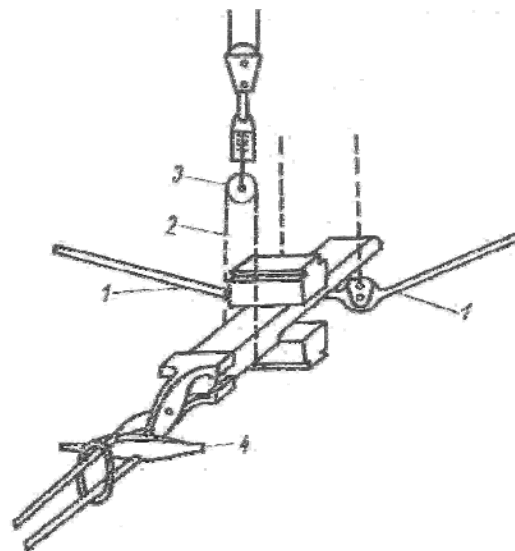
K základním nástrojům patří různě tvarovaná **kovadla** (viz. **obr. 7.45.**).



**Obr. 7.45.** Typy kovadel

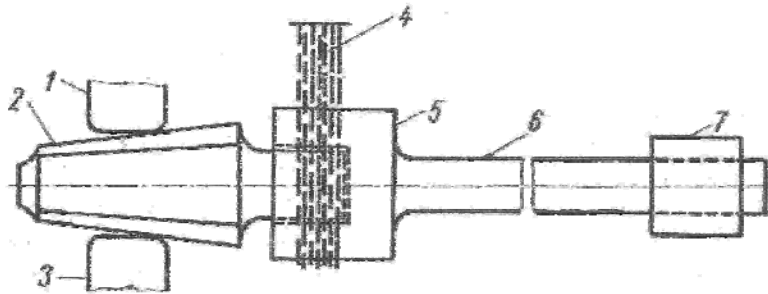
Pomocné nástroje a zařízení usnadňující **manipulaci** s výchozím polotovarem při kování. Patří k nim různé druhy kleští, používané při kování menších výkovků na bucharech, a speciální, na jeřábu zavěšené kleště k dopravě ingotů a kovaných polotovárů.

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 polotovar je sevřen ručními kleštěmi a zavěšen na článkovém řetězu 2 pružně zavěšeného kladkostroje 3. Polotovar se otáčí kolem své podélné osy prostřednictvím vratidla 4 a současně se nadzvedává zavěšenými pákami 1 (viz. **obr. 7.46.**).



**Obr. 7.46.** Princip ruční manipulace s výkovkem.

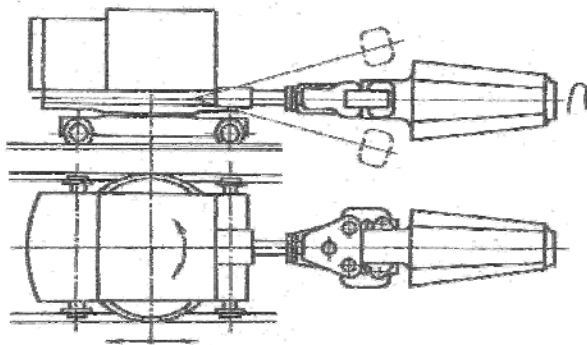
Manipulace s těžšími ingoty a polotovary (viz. **obr. 7.47.**) se děje za pomoci dlouhého vahadla 6, do jehož objímky 5 se zasouvá manipulační čep ingotu 2 (viz. **obr. 7.48.**). Vahadlem, a tím i kovaným polotovarem otáčí prostřednictvím Gallova řetězu 4 elektricky poháněné otáčedlo zavěšené na jeřábu. Správné vyvážení celé zavěšené sestavy zajišťuje protizávaží 7, které se nasouvá na volný konec vahadla. Dokonalejším pomocným zařízením je kovací manipulátor (viz. **obr. 7.49. a 50.**).



**Obr. 7.47.** Manipulace pomocí vahadla a Gallova řetězu



**Obr. 7.48.** Transport výkovku do pece (Vítkovice Heavy machinery)

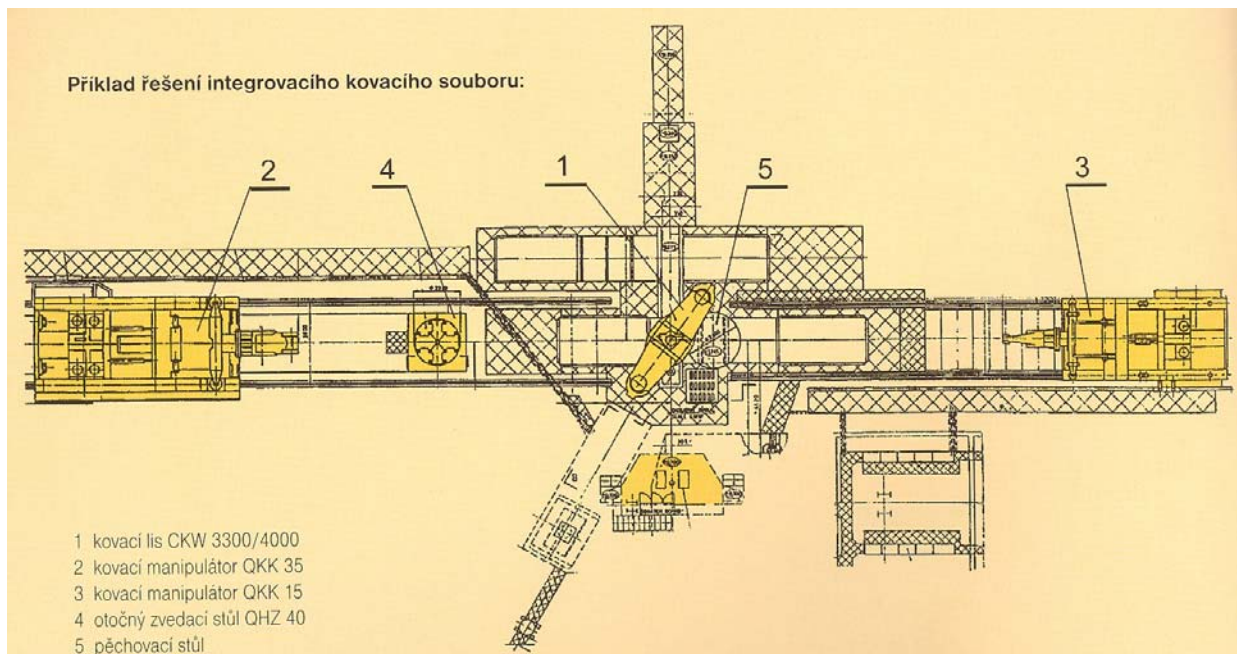


**Obr. 7.49.** Schéma kovacího manipulátoru



**Obr. 7.50.** 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. 7.51.**).



**Obr. 7.51.** Kovací soubor (Žďas, a.s.)

## 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 tvářeni 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 7.6.

- 7.6.1) Jaké znáte typy strojů pro kování?
- 7.6.2) Nakreslete závislost rychlosti kovádky na čase bucharu a hydraulického lisu.
- 7.6.3) Jaké jsou výhody a nevýhody kování na bucharu?
- 7.6.4) Na čem závisí energie bucharu? Jak lze energii zvýšit?
- 7.6.5) Jaké znáte konstrukční řešení bucharů?
- 7.6.6) Vysvětlete princip hydraulického lisu.
- 7.6.7) Co řadíme mezi pomocná zařízení pro kovářny?
- 7.6.8) Jaké znáte typy kovádek?
- 7.6.9) Jak lze při kování manipulovat s polotovarem?
- 7.6.10) Co je to Gallův řetěz?
- 7.6.11) Co je to kovací soubor?

## 7.7. Kovárny v ČR



**Čas ke studiu: 1 hodina**



### Výklad

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

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

dochovaný soubor parních bucharů (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 palicích strojích za tepla i za studena
- Rovnání za tepla i za studena

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

- Hydraulické lisy – 60 MN (viz. obr. 7.52.). (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. 7.53.)
- Ohřívací pece (7 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. 7.52. Vítkovice – lis 60 MN, příprava operace pýchování*



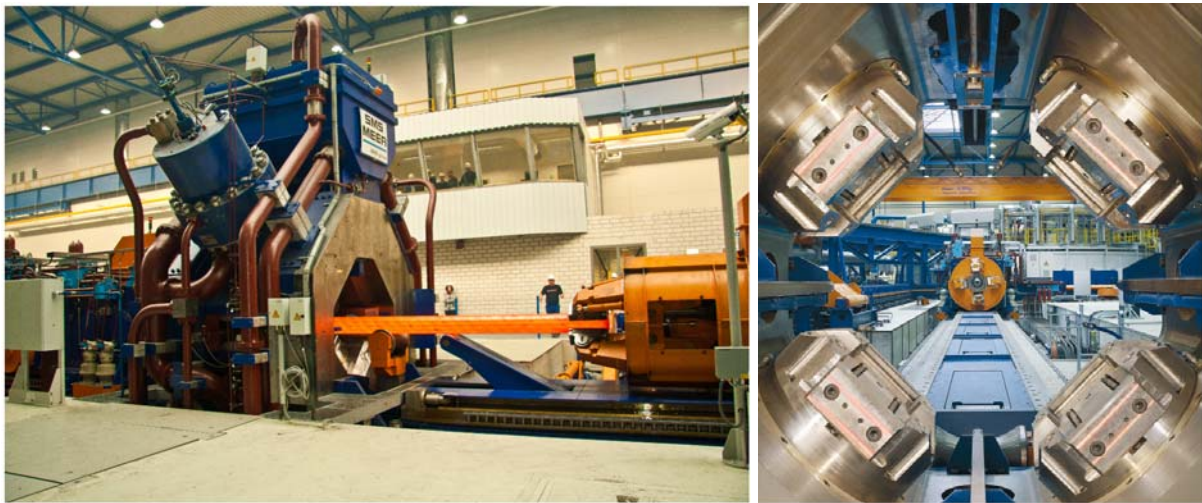
*Obr. 7.53. Vítkovice – lis 120 MN, před rekonstrukcí v roce 2008*

3.10. 2011 Strojírenská skupina VÍTKOVICE MACHINERY GROUP dnes rozjela supermoderní rychlokovárnu VÍTKOVICE HAMMERING (viz. **obr. 7.54.**). 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 kovající 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. 7.54.** 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. 7.55.**), hřeblové a pásové dopravníky (**obr. 7.56.**), pásové vleky, pluhové soupravy (**obr. 7.57.**), hydraulické stojky a válce.



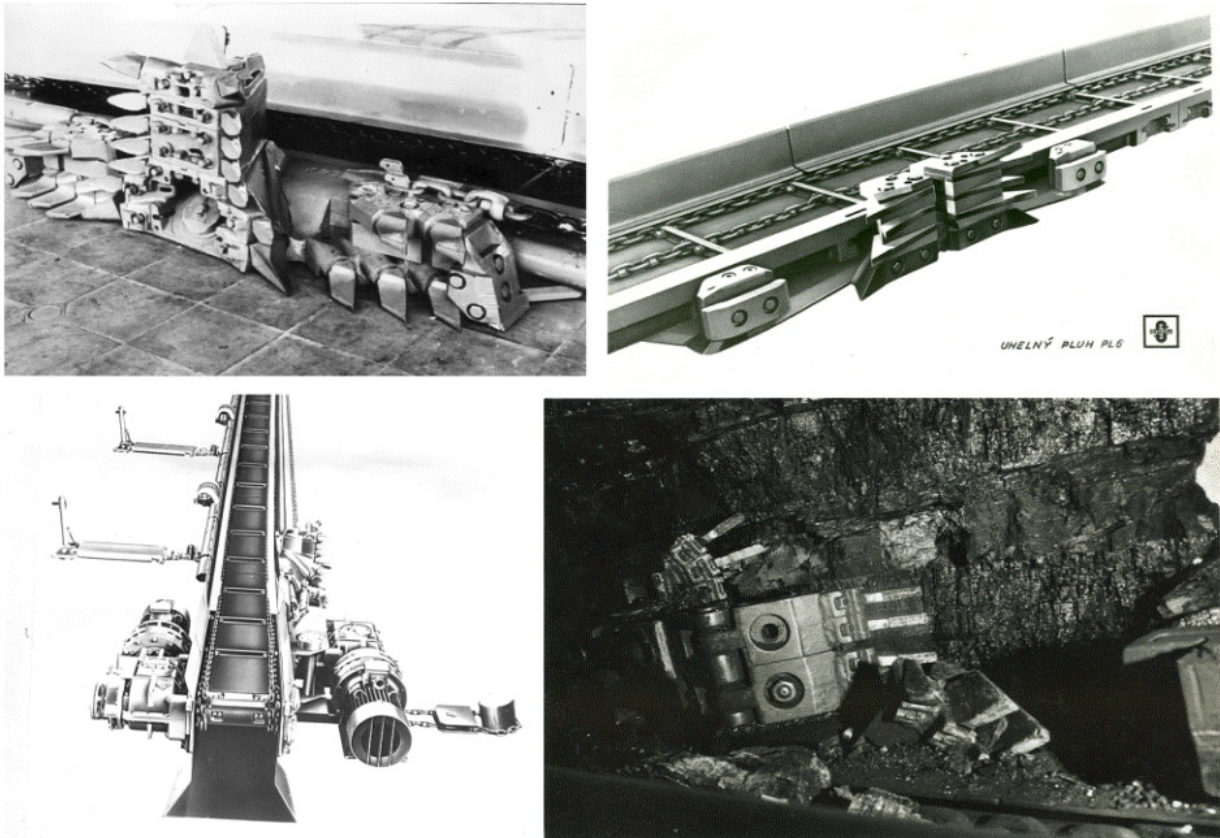
**Obr. 7.55.** Mechanizované výztuže



**Obr. 7.56.** 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. 7.57. 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  
třídačka přehřátých a nedohřátých kusů



*Obr. 7.58. Kovací linka LKZ 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  
třídačka přehřátých a nedohřátých kusů



*Obr. 7.59. 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  
třídačka 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  
třídačka 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  
třídačka přehřátých a nedohřátých kusů  
ostřih LDO 500



*Obr. 7.60. 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. 7.61.** a **7.62.**)

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. 7.63.**)



**Obr. 7.61.** Kovací lis CKV 105 MN, Pilsen Steel, s.r.o.



*Obr. 7.62. 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. 7.64.**)



**Obr. 7.63.** Kalení hřídele větrné elektrárny



**Obr. 7.64.** Kování kotle – redukce tloušťky stěn, kterému předcházelo děrování viz. obr.7.24.

#### □ 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, nezelezných 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. 7.65**.



**Obr. 7.65.** 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 chladnutí 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. 7.66.**) . 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. 7.66.** 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. 7.67.**)



*Obr. 7.67. 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. 7.68.**)



*Obr. 7.68. 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

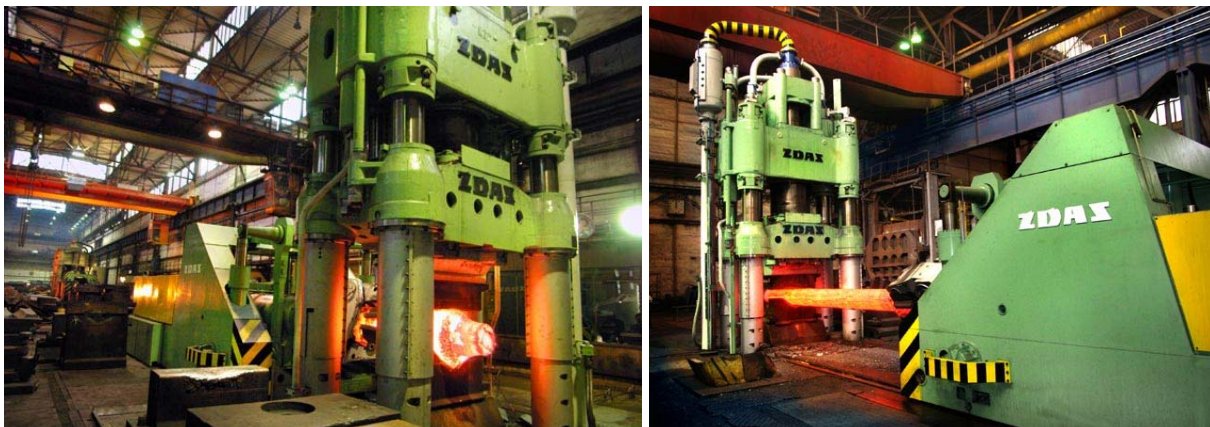
Akciová společnost **ŽĎAS** se sídlem ve městě Žďár nad Sázavou, zahájila svoji výrobu před více než 60 lety. V současné době má cca 2720 zaměstnanců a objem výroby za rok 2007 představuje cca 150 milionů eur. ŽĎAS patří do skupiny firem Železiarne Podbrezová Group, jejímž lídrem je přední světový výrobce 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. 7.69.**),
- 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. 7.69.** Lis CKV 2250 - ŽĎAS



## Otázky 7.7.

- 7.7.1) Jaké jsou maximální hmotnosti Vítkovických výkovků?
- 7.7.2) Jaké kovací stroje mají k dispozici ve Vítkovických kovárnách?
- 7.7.3) Jaké jsou maximální hmotnosti Vítkovických výkovků?
- 7.7.4) Co je náplní výrobního programu Ostroje Opava?
- 7.7.5) V jakých váhových kategoriích se pohybují výkovky zápusťkové kovárny Ostroj Opava?
- 7.7.6) Jaké mají v Ostroji k dispozici kovářské linky?
- 7.7.7) Jaké kovací stroje mají k dispozici v Pilsen Steel?
- 7.7.8) Jaké jsou maximální hmotnosti výkovků v Pilsen Steel?
- 7.7.9) Jaká firma byla předchůdcem Pilsen Steel?
- 7.7.10) Která firma Vítkovice nebo Pilsen Steel vyrábí větší výkovky?
- 7.7.11) Která profesní organizace sdružuje kovárny v České Republice?
- 7.7.12) Ve kterých kovárnách najdete rychlokovací stroje?
- 7.7.13) 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, Czestochowa 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/>



## 8. TVÁŘENÍ ZA STUDENA



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

- Vysvětlit mechanismy odstraňování okují z polotovarů
- Rozdělit sortiment pásů válcovaných za studena.
- Popsat klíčové technologické aspekty válcování za studena.
- Rozdělit sortiment drátů tažených za studena.
- Vypočítat deformaci a rozměry drátu při tažení a navrhnout úběrovou řadu pro tažení..
- Popsat základní principy práce tažných stolic.
- Popsat základní principy protlačování.



### Obsah kapitoly

8.1.	Povrchové úpravy před tvářením za studena .....	265
<input type="checkbox"/>	Okuje .....	266
<input type="checkbox"/>	Odstraňování okují.....	266
8.2.	Válcování za studena .....	272
<input type="checkbox"/>	Přehled vyráběného sortimentu pásů válcovaných za studena.....	273
<input type="checkbox"/>	Válcovací tratě a stolice pro válcování za studena .....	273
<input type="checkbox"/>	Arcelor Mittal Frýdek Místek, a.s – závod válcovna za studena .....	276
8.3.	Tažení drátů a tyčí.....	279
<input type="checkbox"/>	Základní rozdělení ocelových tažených drátů.....	279
<input type="checkbox"/>	Požadavky na vybrané druhy drátů.....	280
<input type="checkbox"/>	Teorie tažení .....	281
<input type="checkbox"/>	Tažné stolice .....	286
<input type="checkbox"/>	Průvlaky.....	288
<input type="checkbox"/>	Maziva .....	289
<input type="checkbox"/>	Pomocné vybavení.....	290
<input type="checkbox"/>	Drátovny .....	291
8.4.	Protlačování .....	293
<input type="checkbox"/>	Způsoby protlačování .....	295
<input type="checkbox"/>	Technologie protlačování .....	296
<input type="checkbox"/>	Vítkovice cylinders, a.s.....	297

### 8.1. Povrchové úpravy před tvářením za studena



**Čas ke studiu:** 1,5 hodiny



#### Pojmy k zapamatování

Wüstit, magnetit, hematit, moření, křehkost po moření, nosič maziva, borax

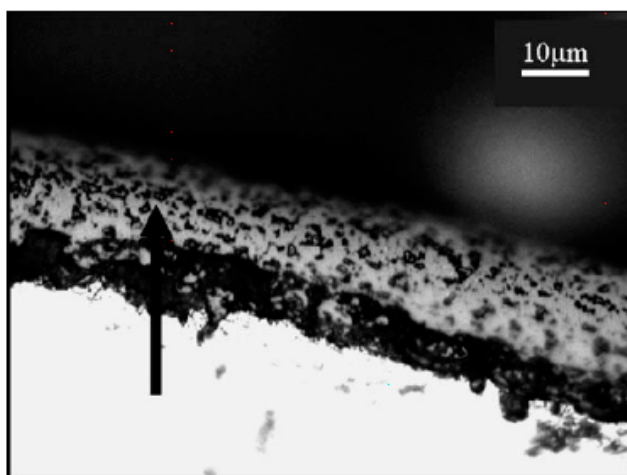


## Výklad

### □ Okuje

Vstupním polotovarem pro tvářeni za studena jsou pásy, dráty nebo tyče válcované za tepla. Tento materiál, stejně jako materiál po tepelném zpracování bez použití ochranné atmosféry, má povrch pokryt vrstvou okují, která vzniká při styku s kyslíkem ze vzduchu při vyšších teplotách. Okuje jsou v uhlíkových ocelích tvořeny na sebe navazujícími vrstvami (viz. **obr. 8.1.**), lišícími se navzájem váhovým poměrem železa a kyslíku, v pořadí **wüstit** – FeO, **magnetit** Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> a **hematit** – Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (viz. **tabulka 8.1.**). Tyto názvy vám určitě nejsou neznámé, jedná se o **železné rudy**. Je zajímavé, že slučování železa s kyslíkem je vlastně obrácený pochod než ten, kterým bylo železo z těchto rud získáno. Železo se tak vlastně vrací do původního stavu.

Okuje rozlišujeme **primární** (vznikají při ohřevu před tvářením za studena (před vlastním tvářením jsou odstraněny např. vysokotlakým ostříkem) a okuje **sekundární**, které vznikají buď během válcování (opět bývají průběžně odstraňovány ostříkem před vstupem do válců) nebo při ochlazování na okolní teplotu (tyto okuje na vývalcích zůstávají a odstraňují se až před tvářením za studena).



**Obr. 8.1.** Mikrostruktura zokujeného povrchu

**Tabulka 8.1.** Vybrané vlastnosti oxidů železa v okujové vrstvě

Název oxidu	Obsah O <sub>2</sub> [hm. %]	Hustota [g.cm <sup>-3</sup> ]	Barva	Odstranění okují	
				v kyselinách	mechanicky
FeO - wustit	22,27	5,9 až 6,0	šedočerná	velice snadné	obtížné
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> - magnetit	27,64	4,6 až 5,3	černá	obtížné	snadné
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - hematit	30,05	5,1 až 5,25	červenohnědá, červenošedá	velice obtížné	snadné

### □ Odstraňování okují

Rozeznáváme dva základní způsoby odstranění sekundárních okují:

- chemické (moření),
- mechanické (lámání, tryskání, kartáčování).

Kromě odokujování se před tvářením za studena provádějí další operace jejichž účelem je zajistit kvalitní lesklý povrch finálního výrobku (odmašťování, nanášení nosiče maziva).

### Chemické odokujování – moření (pickling)

Jedná se o pochod při němž jsou okuje vystaveny, chemickému, mechanickému a tepelnému působení. Jedná se o velice složitý a komplexní pochod. Z 90 % je prováděno v kyselině sírové a chlorovodíkové.

Z chemického hlediska je moření vlastně rozpouštění oxidů, které tvoří vrstvu okují a současně i vlastního kovu v kyselinách.

Okujová vrstva je tvořena několika odlišnými vrstvami různých oxidů, ovšem bez výrazně ostrého rozhraní. Tato vrstva je chemicky i mechanicky nehomogenní, obsahuje mnoho nepravidelností v krystalové mřížce, množství pórů a bublin, trhlin apod. Podle podmínek vzniku okují se tedy liší nejen jejich chemické složení a rozvrstvení, ale i tloušťka, pórovitost a soudržnost, a proto i doba moření.

Při reakci kyseliny a okují vznikají volné anionty železa a voda, s kyselinou ovšem reaguje i samotné železo za vzniku **vodíku**.

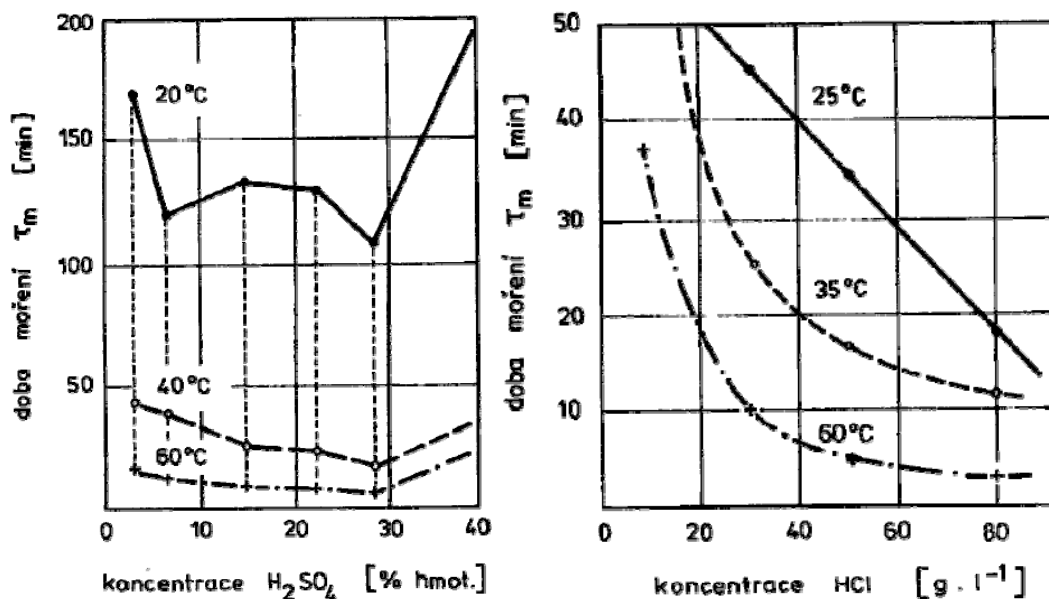
Při vlastním moření vodík napomáhá odtrhávání hůře rozpustných okují, po moření se však vyšší koncentrace vodíku v oceli projeví:

- Vznikem puchýřů – atomární vodík se v matici kovu sloučí do molekulární formy, děje se tak v místě bublin, ale častěji v místě výskytu např. zaválcovaných okují. Zvyšování tlaku plynného vodíku v takovéto dutině (např. při ohřevu) vede ke vzniku puchýřů.
- Vadami způsobenými unikajícím vodíkem – při zahřátí materiálu (např. zinkování, nebo při vytváření smaltových povlaků) má nedifundovaný vodík snahu unikat z materiálu a narušovat vznikající povlak.
- Zhoršením mechanických vlastností – interstiticky rozpuštěný vodík zvyšuje pevnost a snižuje tažnost oceli, tomuto jevu se říká vodíková křehkost (křehkost po moření).

Atomární vodík lze z materiálu odstranit žiháním při teplotách od 100 do 400 °C, nebo ponořením materiálu do vařící vody. Jeli však vypuzování H příliš rychlé, může to vést např. ke snížení pevnosti v ohybu.

#### *Moření – základní poznatky*

- Kyselina chlorovodíková moří při stejné koncentraci podstatně rychleji než kyselina sírová.
- Kyselina sírová vyšší oxidy téměř nerozpouští – vznikají okujové kaly.
- Při moření v kyselině sírové dochází k rozpouštění Fe v poměru k oxidům 1:4.
- Rychlost moření se zvyšuje a doba moření se zkracuje:
  - zvýšením teploty moření,
  - zvýšením koncentrace (u kyseliny sírové jen do určité hodnoty) (viz. **obr. 8.2.**),
  - zvýšením rychlosti relativního pohybu,
  - aplikací vibrací.
- Ke snížení rozpustnosti základního kovu jsou aplikovány inhibitory.
- Atomární vodík difundující do matrice způsobuje vodíkovou křehkost (zhoršení kontrakce a tažnosti). H se odstraní použitím vyšší teploty sušení.



Obr. 8.2. Vliv teploty a koncentrace na dobu moření v kyselině sírové a v kyselině chlorovodíkové.



### Řešený příklad

Je nutno připravit 100 kg 15 % kyseliny chlorovodíkové. Použitá kyselina má hustotu 22 °Bé (stupňů Baumé).

Z tabulek nejprve určíme koncentraci kyseliny. 22 °Bé = 35,39 hm. % HCl.

$x$  kg 35,39% HCl musí odpovídat 100 kg 15 % HCl (v této koncentraci se kyselina HCl neprodává).

$$x = 15 \cdot \frac{100}{35,39} = 42,38 \text{ kg HCl}$$

Je tedy zapotřebí 42,38 kg HCl s koncentrací 35,39 % doplnit do 100 kg vodou.

### Povrchová úprava po moření

Na moření navazuje v různých technologických variantách povrchová úprava s cílem neutralizovat zbytky kyselin, odstranit z povrchu zbytky solí železa a vytvořit povlak s funkcí nosiče maziva, zabezpečující dobrý průběh plastické deformace, odpovídající jakost povrchu a malou spotřebu energie, nízké opotřebení nástrojů (válců, průvlaků, matic) a maziva.

#### Vodní oplach

Cílem je odstranit z povrchu zbytky mořidla, soli železa a kaly. Je třeba provádět ihned po ukončení moření, jinak se vytvoří na povrchu vrstva nesnadno rozpustných solí Fe. Ukazatelem úrovně oplachování je koncentrace škodlivin ulpěných na povrchu po vytažení z posledního oplachu. Někdy se před oplachem používá lázeň sloužící k odstranění tmavého povlaku z povrchu oceli (tzv. zesvětlování lázeň). Jedná se o krátkodobý ponor do kyseliny dusičné.

Často je nutné odstranit i poslední zbytky kyseliny ulpělé v pórech kovu, které by mohly způsobovat drobné rezivění. Je proto vhodný ještě jeden oplach, s alkalickými látkami (NaOH), které neutralizují kyseliny (neutralizační oplach).

*Nosič maziva*

Po moření a oplachu se na ocelový polotovár určený k tváření za studena nanáší nejrůznější druhy nosiče maziva, které ve spojení s mazivem významně zlepšují proces tváření.

K základním druhům nosičů (NM) maziv patří:

- NM s mechanickou přilnavostí: vápno, borax
- NM s mechanickou vazbou na kov (lepší přilnavost): fosfáty
- Kovové povlaky: měď, zinek

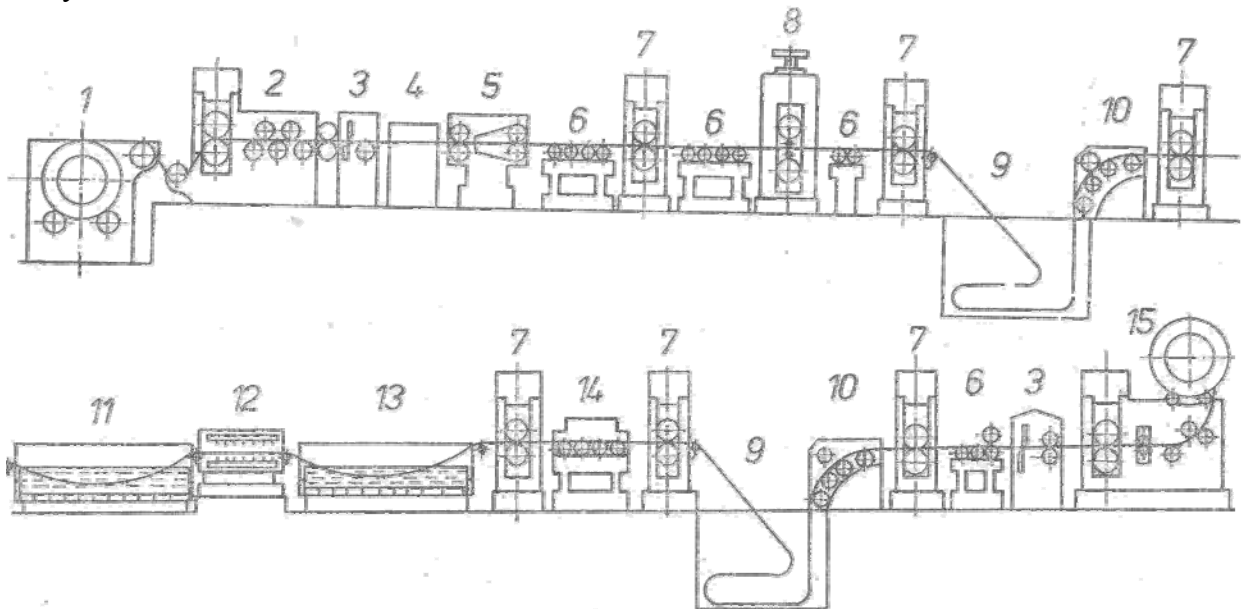
*Sušení*

Cílem je odstranit vlhkost z povrchu a zamezit tak další korozi a odstranit vodík nadifundovaný do povrchu při moření.

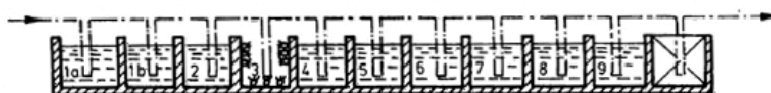
*Technologická zařízení k moření*

Typ technologického zařízení závisí na druhu moření, geometrickém tvaru a uspořádání materiálu (svitek, závit, žíla), na navazujících úpravách odokujovaného polotovaru, na stupni mechanizace a automatizace a předpokládaném zpracování odpadů.

Zařízení k diskontinuálnímu moření jsou aplikovány na svitky drátu či pásu, kontinuální pochody pro zpracování drátu a pásu v žilách, smyčkách nebo závitech. Schéma průběžné mořicí linky na pásy je na **obr. 8.3.**, kde 1) odvíječka, 2) válečková rovnačka s lamačem okují, 3) ostříhovací nůžky, 4) svářečka, 5) obrobení svaru, 6) válečkový dopravník, 7) tažné válce, 8) válcovací stolice, 9) smyčková jáma, 10) rovnací válečky, 11) mořicí vany, 12) oplach studený, 13) oplach teplý, 14) sušení, 15) navíječka. Na **obr. 8.4.** až **obr. 8.5.** jsou schémata moření drátů ve svitcích (fotografie provozu je na **obr. 8.3.**) a rozvinutých smyčkách.

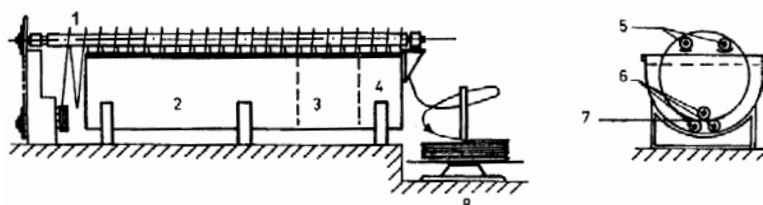


**Obr. 8.3.** Schéma průběžné mořicí linky na pásy



- |                             |                   |
|-----------------------------|-------------------|
| 1a, 1b - mořicí lázeň,      | 6 - mědění,       |
| 2 - úsporný vodní oplach,   | 7 - vodní oplach, |
| 3 - vodní oplach postřikem, | 8 - boraxování,   |
| 4 - oplach horkou vodou,    | 9 - vápnění,      |
| 5 - fosfátování,            | 10 - sušení.      |

Obr. 8.4. Mořicí linka na svitky drátu



- |  |                              |
|--|------------------------------|
| 1 - poháněná hřídel k ukládání závitů, | 5 - pohánění hřídele,        |
| 2 - mořicí lázně,                      | 6 - rovníací zařízení,       |
| 3 - vodní oplachovací lázně,           | 7 - vstup drátu do zařízení, |
| 4 - boraxování,                        | 8 - navijedlo.               |

Obr. 8.5. Mořicí linka na svitky drátu



Obr. 8.6. Pohled na linku pro moření svitků drátů – operace vápnění.



**CD-ROM** 59 AMO studená válcovna - mořirna

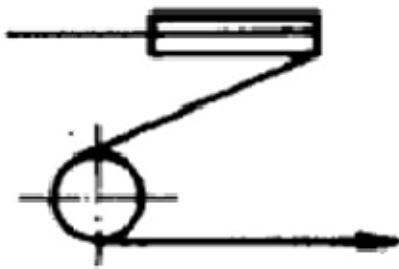
### Mechanické odokujování

V praxi se uplatňují tyto dva způsoby:

- ohýbání (nejčastěji) drátu v žilách s následným mechanickým čištěním povrchu (kartáčování),
- otryskání povrchu.

### Odokujování ohýbáním

Postup odokujování drátu ohýbáním přes systém dvou či více kladek v jedné nebo dvou rovinách vychází ze základních vlastností okují: křehkosti a malé tažnosti. Při deformaci nad 12 % dochází k lámání a odpadávání okují. Odokujování ohýbáním na kladkách je provozně nenáročné, jednoduché na obsluhu i údržbu, bohužel však nedokáže odstranit 100 % okují, část jich vždy zůstane na povrchu a způsobí problémy (hlavně zvýšení tření).



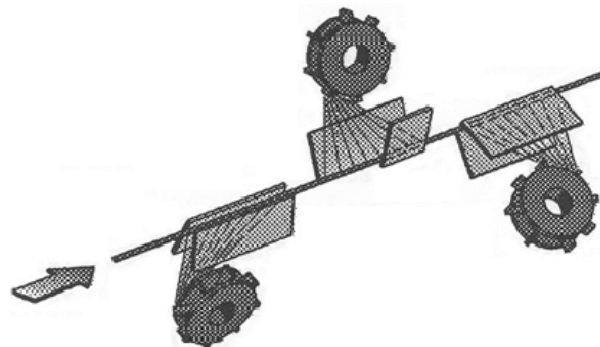
**Obr. 8.7.** Schéma ohýbání drátu ve 2 rovinách natočených o 90°



**Obr.8.8.** Příklad konfigurace ohýbacích kladek

### **Odokujování tryskáním**

Odokujování tryskáním využívá abrazivního účinku např. sekaného drátu, litinové drtě nebo granulátu, který naráží vysokou rychlostí na povrch. Tato metoda se kromě k odstraňování okují používá při odstraňování sazí (vzniklých zuhelnatěním zbytků maziva na povrchu při žíhání) a barev.



**Obr. 8.8.** Tryskání drátu v žíle – příklad rozmístění metacích kol.

## **Σ Shrnutí**

Při ochlazování polotovarů po tvářeni za tepla, vznikají na jeho povrchu sekundární okuje v pořadí od oceli k okolnímu prostředí: wüstit, magnetit a hematit. Tyto okuje se liší nejen chemickým složením, ale také mechanickými vlastnostmi, ústít se snadno rozpouští kyselinami zatímco magnetit a hematit se snadno odstraňují mechanicky. Moříme nejčastěji v kyselině sírové a chlorovodíkové, rychlost moření se zvýší zvýšíme-li koncentraci, teplotu nebo při aplikaci vibrací. Při moření se do materiálu difúzí dostává vodík a způsobuje zkřehnutí materiálu. Po moření se aplikuje oplach, sušení (žíhání pro odstranění křehkosti po moření) a náno nosiče maziva. Nejjednodušším způsobem mechanického odokujování je ohýbání přes kladku, ale existují i sofistikovanější metody např. tryskání.



### **Otázky 8.1.**

- 8.1.1) Co je to koroze?
- 8.1.2) Jaký je rozdíl mezi rzí a okujemi?
- 8.1.3) Jaké se okuje dělí podle chemického složení?
- 8.1.4) Co jsou primární a co sekundární okuje? Jak se odstraňují primární okuje?
- 8.1.5) Proč nám vadí primární okuje a proč sekundární?



### Otázky 8.1.

- 8.1.6) Jak bude probíhat moření pokud je povrch oceli pokryt všemi vrstvami okují?
- 8.1.7) Dá se proces moření v tomto případě nějak urychlit?
- 8.1.8) Jaký je vliv teploty a doby setrvání na této teplotě na množství okují?
- 8.1.9) Jak lze snížit množství okují na vývalku?
- 8.1.10) Vysvětlete podstatu moření a porovnejte s mechanickým odokujením.
- 8.1.11) Kdy při moření vzniká vodík?
- 8.1.12) Jaká jsou negativa a jaká pozitiva vývinu vodíku při moření?
- 8.1.13) Jak lze snížit obsah vodíku, který se dostane do oceli při moření?
- 8.1.14) Porovnejte výhody a nevýhody moření v běžných kyselinách.
- 8.1.15) Jaká je funkce nosiče maziva?
- 8.1.16) Jaké znáte konstrukce mořících linek?
- 8.1.17) Na čem je založena podstata lámání a otryskávání okují?
- 8.1.18) Vysvětlete princip metacího kola.
- 8.1.19) Jak lze eliminovat množství okují na drátě po ohýbání?



### Úlohy k řešení 8.1.

- 8.1.1) Mořící vana má obsah 1 000 litrů. Je potřeba připravit 15 % roztok kyseliny sírové. K dispozici máte kyselinu sírovou o hustotě 66 °Bé. Kolik kg této kyseliny budete potřebovat? Hustota 15 %  $\text{H}_2\text{SO}_4 = 1\,102\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , 66 °Bé = 96 %. (Přepočítejte koncentraci 15 % na  $\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ )
- 8.1.2) Nakreslete schéma a odvoďte vzorec pro výpočet průměru ohýbacích kladek v závislosti na průměru drátu.

## 8.2. Válcování za studena



**Čas ke studiu: 2 hodiny**



### Pojmy k zapamatování

Anizotropie, hlubokotažnost, bombírování, průhyb a zploštění válců, protiohyb válců,





## Výklad

Převážná část vyrobených pásů válcovaných za tepla přichází k dalšímu zpracování do válcoven za studena.

Jeho hlavním účelem jsou dosažení menší tloušťky pod 1,2 až 2,0 mm, zúžení tloušťkových tolerancí podél a napříč válcovaného pásu, zvýšení povrchové jakosti, dosažení potřebných rozmanitých kombinací pevnostních a plastických vlastností, speciálních fyzikálních a užitných vlastností (směrové **anizotropie**, **elektromagnetických vlastností**, **hlubokotažnosti** apod.), zlepšení stejnorodosti struktury a mechanických vlastností tenkých plechů a pásů, vytvoření podmínek pro nanášení speciálních kovových a nekovových povlaků atd.

### □ Přehled vyráběného sortimentu pásů válcovaných za studena

Ocelové pásy válcované za studena se vyrábějí v obdobných šířkách a hmotnostech svitků jako pásy válcované za tepla, tj. až do max. šířek kolem 2 000 mm, v některých speciálních případech se však válcují za studena i velmi úzké pásy předem z podélně dělených pásů širších, válcovaných za tepla nebo za studena. Maximální tloušťky vyráběných pásů válcovaných za studena obvykle nepřesahují 2,0 až 6,0 mm, převážnou část rozměrového výrobního sortimentu tvoří pásy válcované za studena o tloušťkách pod 2,0 mm, vyrábějí se pásy o minimálních tloušťkách běžně 0,10 až 0,50 mm, obzvláště tenké pásy i o tloušťkách několika setin, popřípadě tisícín mm.

Jakostní sortiment vyráběných ocelových pásů válcovaných za studena je obdobný jako u pásů válcovaných za tepla a zahrnuje velkou škálu různých druhů ocelí tříd 10 až 17 a 19.

Oceli válcované za studena se vyrábějí a dodávají buď v pásech (ve svitcích), nebo jako finálně rovnané a příčně dělené pruhy nebo tabule, a to buď ve stavu žíhaném, nebo zpevněném za studena různým stupněm celkové deformace. Pásy z kalitelných ocelí s vyšším obsahem uhlíku válcované za studena se dodávají také zušlechtěné kalením s následným popouštěním.

Pásy válcované za studena a zušlechtěvané pásy se dodávají s různou úrovní povrchové jakosti od neupravených běžných povrchů po válcování a tepelném zpracování, přes povrchy upravené válcováním za studena, broušením, popřípadě leštěním (povrchy lesklé i matné) až po povrchy barevně kolorované (modře nebo žlutě), používané u zušlechtěných pásů.

Pásy válcované za studena s lesklým nebo matným povrchem, vhodným k pokovování a nanášení různých povlaků, se mohou vyrábět a dodávat například jako pozinkované, poolověné, pochromované, poměděné, poniklované, pohlinikované, dále jako plastované, lakované, barevně desénované (pásy z korozivzdorných ocelí) apod.

### □ Válcovací tratě a stolice pro válcování za studena

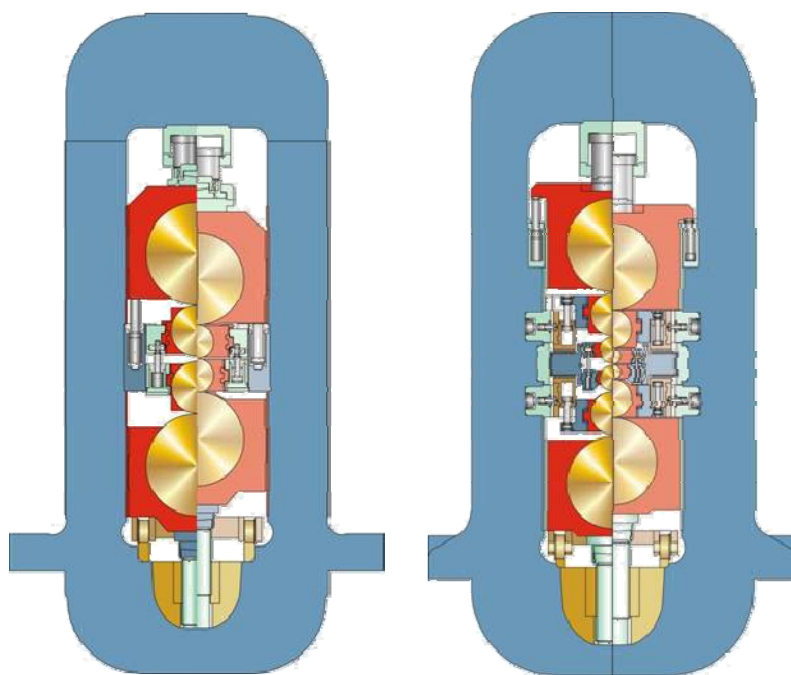
Mezi základní a nejvýznamnější typy válcovacích stolic patří stolice duo, klasické kvarto, kvarto s bočně podepřenými válci (systém MKW), šestiválcové stolice systému HC (high crown) a dvacetiválcové stolice systému Sendzimir.

Všechny tyto stolice mohou pracovat jako vratné nebo průběžné, ve druhém případě jednotlivě jako samostatné tratě nebo v tandemovém uspořádání dvou až šesti stolic za sebou. Vratné tratě mají před stolicí a za stolicí navíjecí a dovíjecí bubny, které jsou u průběžných tandemových tratí před první a za poslední stolicí.

**Stolice duo** je univerzálním, dnes již málo používaným typem. Poháněné válce se konstruuje až do průměru kolem 1 500 mm a jsou **bombírované** (vyduté). Pro dobré záběrové schopnosti je vhodná k zpracovávání tlustších výchozích pásů až do 7 mm, průhyb válců omezuje její použití k běžnému válcování s velkým celkovým tloušťkovým úběrem jen do max. šířky kolem 400 mm a pro válcování min. tloušťek nad 0,5 mm. Dnes se hlavně používá jako průběžná stolice pro malé redukce tloušťky pásu šířek 500 až 1 500 mm a tloušťek 0,4 až 1,1 mm při hladicím válcování žíhaných pásů válcovaných za studena pro dobré leštící nebo povrchově desénovací účinky (například k matování povrchu pásů zdrsňenými válci).

**Stolice kvarto** (viz. **obr. 8.9.**) má poháněné dva pracovní válce menšího průměru, které se opírají o dva opěrné válce většího průměru. Průměr pracovních válců bývá max. do 650 mm, průměr opěrných válců u klasických stolic kvarto přibližně třikrát větší než pracovních, zatím nejvýše asi do 1 700 mm. Hlavní předností proti stolici duo je **zmenšení průhybu pracovních válců**, což zvyšuje rozměrovou přesnost vývalků a umožňuje snížit hodnotu min. válcovatelné tloušťky pásu asi na 0,2 až 0,4 mm. Průměr pracovních válců kvarto proti duo je menší, což snižuje hodnoty válcovacích tlaků, **průhyb a zplošťování válců** a umožňuje tak pracovat s většími i celkovými tloušťkovými úběry při válcování. Nedostatkem stolic kvarto je z pevnostních důvodů omezený min. průměr pracovních válců a jejich vyšší opotřebení a průhyb v horizontálním směru, který lze pouze zčásti omezit regulací předního nebo zadního tahu v pásu. U stolic kvarto se zpravidla horní pracovní válec zhotovuje bombírovaný, ostatní válce jsou cylindrické.

**Šestiválcová stolice HC** je novým moderním typem stolice, umožňující obdobně jako dvacetiválcová stolice účinně regulovat příčný profil válcovací mezery. Stolice se podobá kvartu, od něhož se liší tím, že mezi pracovní a opěrné válce má vloženy axiálně posuvné mezilehlé válce (viz. **obr. 8.10.**) o něco málo většího průměru než válce pracovní. Mezilehlé válce mají kuželovité protilehlé konce a axiálně se proti sobě symetricky posouvají v opačných směrech tak, aby se válcovací síla přenášela

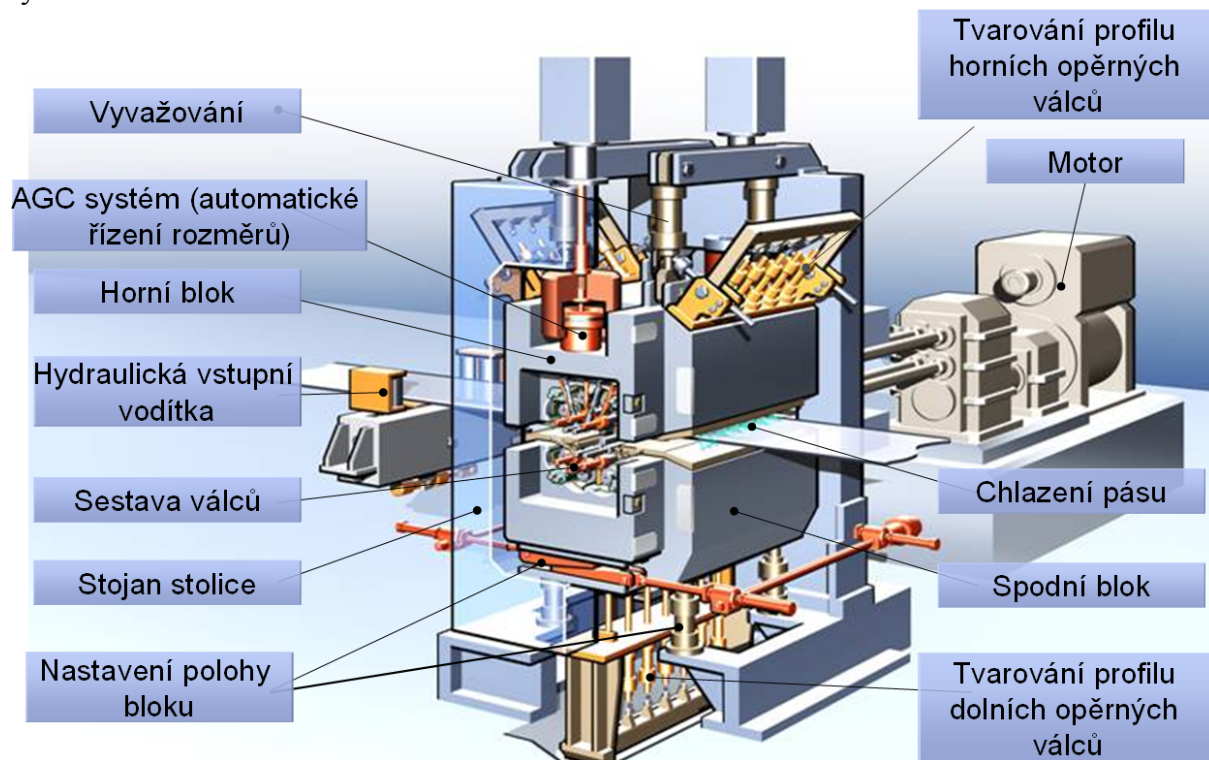


**Obr. 8.9.** SMS Demag, stolice CVC 4-HS

**Obr. 8.10.** SMS Demag, stolice CVC 6-HS

na pracovní válce jen v šíři válcovaného pásu a průhyb pracovních válců mohl být účinněji ovlivňován jejich hydraulickým **protiohybem**. Tato konstrukce umožňuje válcovat pásy s vyšší rovinností většími rychlostmi až  $20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Válcovací šestiválcová HC stolice má všechny válce cylindrické, což zvyšuje jejich životnost. Používá se jí k výrobě všech druhů a rozměrů pásů válcovaných za studena. Při válcování pásů na konečnou tloušťku 0,15 mm se na těchto stolicích dosáhlo tloušťkové tolerance  $\pm 0,002$  mm.

**Dvacetiválcová stolice** má klasické uspořádání válců 1-2-3-4 znamenající vždy řadu a počet válců v řadě (viz. **Obr. 5.15.**). Poháněné jsou pouze čtyři okrajové meziopěrné válce třetí řady. Regulace příčného profilu válcovaného pásu se provádí axiálním posuvem všech čtyř meziopěrných válců druhé řady a excentrickým natáčením těles opěrných ložisek 4. řady opěrných válců, opírajících se přímo o těleso tuhého monolitního stojanu stolice. Stavění pracovních válců se provádí pootáčením nosných čepů opěrných ložisek vnitřních opěrných válců 4. řady. Konstrukce stolice umožňuje použití cylindrických pracovních válců malého průměru, který pro nejširší pásy bývá 50 až 150 mm, což umožňuje jejich výrobu i ze slinutých karbidů. Pracovní válce lze velmi rychle vyměňovat. Při válcování pásů tloušťky 0,10 mm se běžně dosahuje tloušťkových tolerancí  $\pm 0,003$  až  $0,004$  mm, pásů tloušťky 0,50  $\pm 0,005$  mm. Dvacetiválce jsou vhodné pro válcování nejtenčích pásů včetně fólií s velkou rozměrovou přesností, zejména z tvrdých těžkotvařitelných ocelí, neboť umožňují větší tloušťkové deformace a lepší technologickou tvařitelnost při válcování za studena. To spolu se snížením válcovacích tlaků následkem malého průměru pracovních válců přináší při výrobě velké energetické úspory. Nedostatkem jsou omezené záběrové schopnosti a válcovací rychlost.



*Obr. 8.11. SMS Demag, 20 válcová stolice*

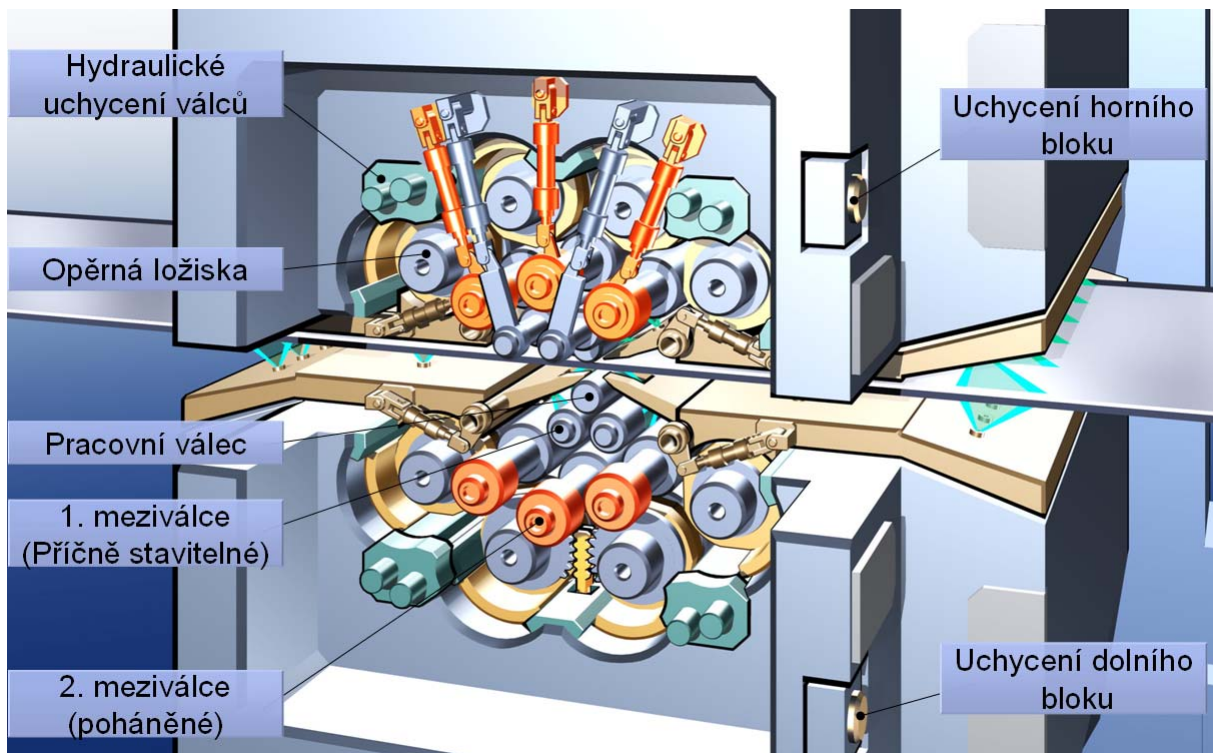


**CD-ROM**

60 SMS Demag – válcovna studené pásy (<http://www.sms-group.com/en>)

**20 válcová stolice – technické a řídicí systémy**

Při válcování pásů za studena se nejčastěji automaticky ovládají (viz. **obr. 8.11.** a **8.12.**): elektrohydraulické stavění válců, regulace tloušťky a příčného profilu (rovinnost) pásu, válcovací rychlost, tah pásu, při hladicím válcování velikost prodloužení pásu, přívod chladících a mazacích kapalin do válcovací mezery, zpomalování a zastavování trati, zavádění pásu do stolice, výměna pracovních válců, registrují se hodnoty válcovacích tlaků, kroutcích momentů apod.



*Obr. 8.12. SMS Demag, 20 válcová stolice - detail uspořádání válců*

□ **Arcelor Mittal Frýdek Místek, a.s – závod válcovna za studena**

ArcelorMittal Frýdek-Místek a.s., závod Válcovna za studena byla založena v roce 1917 a je jednou z nejstarších válcoven za studena v České republice s odpovídající dlouholetou tradicí. Sídlo společnosti je v Ostravě-Vítkovicích. Podnik svými výrobky zásobuje poměrně rozsáhlý evropský trh a mezi jeho odběratele se řadí mnoho významných obchodních a výrobních firem. V posledních letech se cílenou expanzní politikou dostal na první místo mezi tuzemskými válcovnami za studena.

Válcovna za studena vyrábí hlubokotažné, konstrukční, uhlíkové, legované, mikrolegované oceli a vázací pásy z ocelí jakostních tříd 10 až 19 v šířkách 5 až 520 mm a tloušťkách 0,09 až 5,00 mm. Pásy jsou dodávány buď ve svitcích nebo podélně dělených pružích ve stavu žíhaném, za studena zpevněném i zušlechtěném s různou jakostí povrchu i provedením hran a jsou určeny k dalšímu zpracování především ve strojírenském, automobilovém, elektrotechnickém a spotřebním průmyslu.

Charakteristické finální výrobky z pásových ocelí:

- hlubokotažné výlisky,
- svařované trubky různých profilů, profily otevřené,
- obalové vázací pásy,
- kalené výrobky - tažné řetězy,
- bezpečnostní spony,
- otěruvzdorné díly,
- pásové pružiny,
- segerovy vložky,
- součástky telekomunikačních zařízení s nízkou koercitivní silou,
- ruční, gatrové i kruhové pily na dřevo, nože bruslí a další výrobky.

### Technologie výroby ve válcovně

Prvním krokem při výrobě pásů válcovaných za studena je moření. Mořicí linka je na **obr. 8.13.** Jedná se o moření povolených svitků pásů v bubnech. Následuje vratné válcování za studena na kvarto stolicích z navíječkami na obou koncích (viz. **obr. 8.14.**). Pro dělení pásů na menší šířky slouží dělicí linka (viz. **obr. 8.15.**). Při válcování pásů menších tloušťek je nezbytné zařadit mezioperační žihání buď v hlubinných nebo poklopových pecích (viz. **obr. 8.16.**).



### CD-ROM *Arcelor Mittal Frýdek Místek, a.s – závod válcovna za studena*

- 61 AMO studená válcovna – válcování
- 62 AMO studená válcovna – výměna válců
- 63 AMO studená válcovna – žihání
- 64 AMO studená válcovna – dělení pásu



**Obr. 8.13.** Mořicí linka



**Obr.8.14.** Válcovací stolice



Obr. 8.15. Dělicí linka



Obr.8.16.. Pokloповá pec

## Σ Shrnutí

Hlavním účelem válcování za studena je dosažení tloušťky pod 1,2 až 2 mm, zpřesnění rozměrových tolerancí a zvýšení povrchové jakosti. Někdy také usilujeme o změnu pevnostních, plastických, ale i speciálních fyzikálních vlastností. Pásky za studena se vyrábějí v šířkách kolem 2 m, ale mohou se válcovat i velmi úzké pásky. Maximální tloušťky se pohybují do 6 mm, nejběžněji se pak vyrábějí pásky tlouštěk 2 až 0,1 mm. Pro válcování pásů se používají stolice kvarto, sexto dvanácti a dvacetiválcové. Větší počet válců se volí pro zvýšení tuhosti stolice a tím i zpřesnění rozměrových tolerancí pásu.



## Otázky 8.2.

- 8.2.1) Proč se válcují pásky za studena?
- 8.2.2) Jaká operace předchází vlastnímu válcování za studena?
- 8.2.3) Čím je dána maximální hodnota celkového součinitele pěchování při válcování za studena? Co je zapotřebí udělat. Chceme-li dosáhnout ještě menších tlouštěk a větších úběrů?
- 8.2.4) Jaké tloušťky obvykle mají pásky válcované za studena?
- 8.2.5) Jakých maximálních šířek se obvykle vyrábějí pásky za studena?
- 8.2.6) V jaké podobě se dodávají oceli válcované za studena?
- 8.2.7) Jaká jsou omezení duo stolice při válcování za studena?
- 8.2.8) Co je hlavní předností stolic kvarto proti stolicím duo?
- 8.2.9) Proč jsou při válcování na stolici duo větší válcovací síly, než při válcování na stolici kvarto?
- 8.2.10) K čemu slouží mezilehlé válce u stolic sexto?
- 8.2.11) Jaké průměry pracovních válců mívají obvykle 20 válcové stolice?
- 8.2.12) Jakými systémy jsou vybaveny moderní stolice pro válcování pásů za studena.



## Úlohy k řešení 8.2.

8.2.1. Vypočítejte obsah stykové plochy při válcování pásu za studena  $h_0 = 1$  mm,  $\gamma = 0,85$ . Počáteční šířka pásu je  $b_0 = 800$  mm,  $\beta = 1,04$  na Duo stolici s průměrem válců 950 mm, a na Kvarto stolici s průměrem opěrných válců 1 200 mm a průměr pracovních válců je 400 mm.

8.2.2. Na základě obrázku mikrostruktury feritické oceli po válcování za studena výpočtem odhadněte celkovou hodnotu součinitele prodloužení.



*Deformovaná struktura po válcování*

## 8.3. Tažení drátů a tyčí



**Čas ke studiu: 2 hodiny**



### Pojmy k zapamatování

Patentovaný a nepatentovaný drát, patentování, průvlek, tažná stolice, drátotah přímotažný, akumulární a se skluzem, mazací soustava



### Výklad

#### □ Základní rozdělení ocelových tažených drátů

**Dělení z výrobního hlediska:**

a) **Nepatentovaný:** nízkouhlíkové oceli s hmotnostním podílem C max. 0,2 %,

1) tažením zpevněný:

polotvrdý:                      pevnost 450 až 600 MPa,

tvrdý:                              pevnost 450 až 1 000 MPa,

pružinově tvrdý:              pevnost 1 000 až 1 300 MPa;

2) žíhaný:

„na černo“ (zokujený povrch),

„na bílo“, „na modro“ (bez přístupu vzduchu),

„na lesklo“ (v ochranné atmosféře).

b) **Patentovaný:** uhlíková ocel (C od 0,2 do 0,9 %)

- 1) tažením zpevněný,
- 2) po tažení žíhaný,
- 3) po tažení zušlechtěný,
- 4) po tažení napouštěný.

c) **Dráty z legovaných ocelí** (konstrukční, nástrojové, korozivzdorné, žárovzdorné).

#### Dělení z hlediska provedení povrchu:

Dráty mohou být taženy za sucha nebo za mokra s povrchem bez úpravy nebo s úpravou (pozinkování, pocínování, pomědění, pohliníkování, pomosazení, lakování, smaltování, pokrytí plastem atd.).

#### Dělení podle tvaru průřezu:

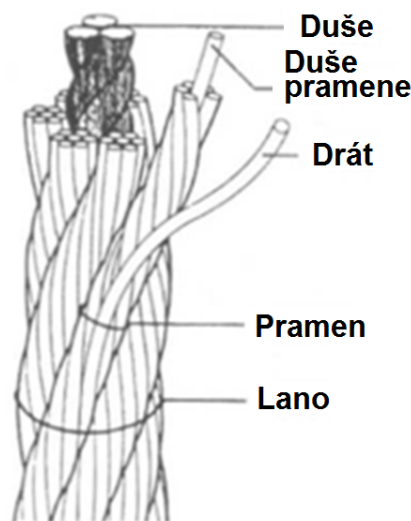
kruhový,

tvarový, vyrobený buď v tvarových průvlacích, nebo válcováním kruhového drátu za studena ploštěním).

#### □ Požadavky na vybrané druhy drátů

##### Dráty pro ocelová lana

(viz. **obr. 8.17.**) představují v tažárnách nejrozšířenější sortiment. Vyrábějí se z ocelí s hmotnostním podílem uhlíku od 0,4 do 0,9 %, s průměrem v rozmezí od 0,2 do 6,3 mm. Dodávají se zásadně ve stavu zpevněném po tažení a dosahují minimální pevnosti 1 300, 1 600, 1 800 a 2 000 MPa. Vzhledem k dynamickému namáhání musí být povrch bez vad s minimálním oduhličením. Požaduje se zvýšená mikročistota, škodlivé jsou hlavně netvárné vměstky typu  $\text{Al}_2\text{O}_3$  a  $\text{SiO}_2$ , méně škodlivé jsou plastické vměstky MnS. Velikost netvárných vměstků by neměla převyšovat u vysokouhlíkových ocelí 10 mm, u středně uhlíkových ocelí 20 mm. Důležitý je rovněž co nejmenší rozptyl mechanických hodnot.



**Obr. 8.17.** Ocelové lano

##### Dráty do předpjatého betonu

Vyrábějí se z uhlíkových ocelí s hmotnostním podílem C 0,7 až 0,9 %, s průměry od 2,5 do 10 mm. Povrch je buď ve stavu po tažení, nebo pozinkovaný, někdy je vybaven vtisky pro zlepšení přilnavosti betonu (viz. **obr. 8.17.**). Dodávají se ve stavu taženém, nízkoteplotně popouštěném nebo stabilizovaném. Dosahují pevnosti až 1 970 MPa.



**Obr. 8.18.** Dráty do předpjatého betonu



### Dráty pro ocelové kordy a hadicové dráty

Ocelové kordy (**obr. 8.19.**) jsou v podstatě lanka z tenkých ocelových drátů o pevnosti až 3 000 MPa. Dráty jsou pro zabezpečení vysoké soudržnosti s pryží pomosazené. Vyrábějí se z uhlíkových ocelí s hmotnostním podílem C od 0,70 do 0,77 % z drátu o průměru 5,5 mm. Průměry kordových drátů jsou 0,15 až 0,35 mm. Vyžaduje se zvýšená **mikročistota** a homogenita s minimálním rozptylem mechanických vlastností.

Ještě vyšší nároky se kladou na hadicové dráty o průměru 0,2 až 0,3 mm. Zvýšené nároky na jakost se týkají především mikročistoty a homogenity.



*Obr. 8.19. Kordy*

### Jehlové dráty

Požadují se zúžené rozměrové tolerance, nízká pevnost a vysoká plasticita, vysoká jakost povrchu a co nejmenší oduhličení. Vyrábějí se z vysokouhlíkových ocelí s C od 0,7 do 1,0 %. Výsledná struktura je zrnitý perlit. Průměry tažených drátů jsou od 0,28 do 3,3 mm. Pro zvýšení sferoidizačního účinku se legují chromem do 0,2 % Cr. Po žihání se provádí kalibrační tah s 10 až 20 procentním plošným úběrem.

Nejběžnější mechanické vlastnosti, které zákazník vyžaduje u jednotlivých typů drátů jsou, pevnost, mez kluzu, tažnost, kontrakce a počet ohybů a krutů do lomu. Mimoto se také sleduje oduhličení, mikročistota, velikost povrchových vad, množství okujů či maziva na drátě, chemické složení apod.



### CD-ROM *Zkoušení drátu*

65 Laboratoř – Zkouška tahem

66 Laboratoř – Zkouška ohybem

### □ Teorie tažení

Tváření ocelového drátu za studena tažením je charakterizováno plastickou deformací, probíhající průchodem drátu kuželovým otvorem, **průvlakem**, přičemž dochází k prodloužení drátu ve směru hlavního působícího napětí a zmenšování plochy příčného průřezu tvářeného drátu za současného zvyšování pevnosti, meze pružnosti a průtažnosti, tvrdosti a snižování jeho plastických vlastností, ku příkladu prodloužení a zúžení. Plastická deformace při tažení drátu probíhá za takových teplot, při nichž tvářením vyvolané zpevnění drátu zůstává zachováno.

Aby nedošlo k trhání drátu během procesu tažení, musí být na drátotazích dodržen zákon rovnosti objemu drátu procházejících průvlakem za jednotku času:



## Vzorec k zapamatování

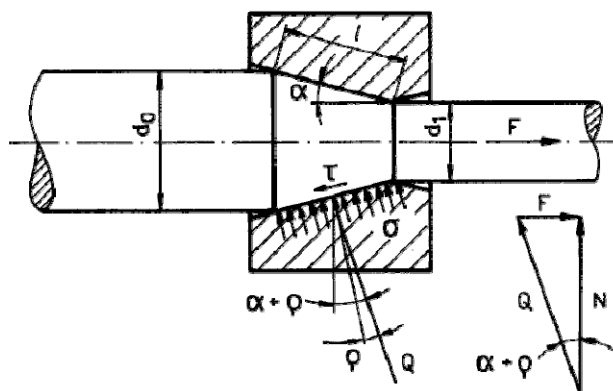
$$S_o \cdot L_o = S_1 \cdot L_1 = S_2 \cdot L_2 = \dots = S_n \cdot L_n \quad (8.1a.)$$

nebo:

$$S_o \cdot v_o = S_1 \cdot v_1 = S_2 \cdot v_2 = \dots = S_n \cdot v_n \quad (8.1b.)$$

kde  $S_0, S_1, S_2 \dots S_n$  jsou průřezy drátu,  
 $L_0, L_1, L_2 \dots L_n$  jsou délky drátu,  
 $v_0, v_1, v_2 \dots v_n$  jsou rychlosti drátu.

Při tažení je vlastním nástrojem deformace kuželová část průvlaku s vrcholovým úhlem  $2\alpha$  (viz. obr. 8.20.). Na kuželovém povrchu průvlaku délky  $l$  působí v pásmu deformace příčná síla  $Q$ , která je vyvolána působení vnější tahové síly  $F$ . Příčná síla působí vlivem tažného úhlu kužele  $\alpha$  tření mezi povrchem drátu a pracovní části průvlaku ve vztahu k vertikální složce síly  $N$  pod úhlem  $\alpha + \rho$ .

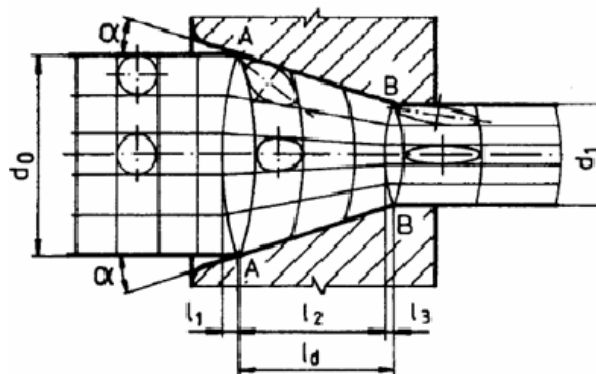


Obr. 8.20. Rozložení sil při tažení

Vzhledem k tomu, že se tažený úhel  $2\alpha$  pohybuje nejčastěji v rozsahu od  $10^\circ$  do  $20^\circ$  a koeficient tření  $\mu = \text{tg } \rho$  dosahuje při dobrém mazání hodnoty pod 0,05 ( $\rho < 3^\circ$ ), dosahuje velikost příčné síly 4 a 7 násobku hodnoty tahové síly.

### Rozbor deformace při tažení

Intenzitu podélné deformace lze zkoumat v podélných osových řezech na deformaci kružnic, které znázorňují elementární částice kovu (viz. obr. 8.21.). Původní čtvercová síť, do níž jsou kružnice vepsány, se deformuje tak, že tyto kružnice se protahují v elipsy a síť samotná se zakřivuje. Hlavní osy kružnic, původně rovnoběžně s osou tažení a kolmé k této ose, mění v průběhu tažení svůj sklon vzhledem k této ose, s výjimkou elementů, které leží v ose tažení.



Obr. 8.21. Průběh deformace při tažení

Zkosení původně čtvercových obrazců sítě a zakřivování jejich stran, jakož i znázorněné deformace zakreslených kružnic je důkazem, že podélné deformace v jednotlivých příčných průřezech nejsou rozděleny rovnoměrně; jde o nehomogenní podélné deformace. Podle obr. 8.21. se pásmo deformace rozpadá na tři úseky:

Na úsek o délce  $l_1$ , představující část objemu drátu, který ještě nevstoupil do geometrického pásma deformace. Velikost a tvar tohoto úseku závisí na vstupním průměru  $d_0$ , na úhlu taženého drátu  $2\alpha$ , vnějším tření a na velikosti úběru průřezu, tedy také na průměru  $d_1$ .

Na střední úsek o délce  $l_2$ , který představuje podstatnou část délky  $l_d$ . Zde nastává vlastní redukce průřezu drátu. Úsek  $l_1$  tvoří plynulý přechod deformační rychlosti mezi průřezem, kde ještě deformace nenastává a průřezem, kde je deformaci vystaven celý průřez taženého drátu.

Na úsek  $l_3$ , představující část objemu materiálu, který je v geometrickém pásmu deformace. Zde končí redukce průřezu taženého drátu a nastává vyrovnání rychlosti deformace v jednotlivých vláknech.

### Výpočty deformací při tažení – 1 tah

Velikost plastické deformace při tažení drátu lze vyjádřit pomocí plošného úběru, součinitele deformace nebo logaritmické deformace. Vzorce pro výpočet deformací výchozího a konečného průřezu, průměru a délky drátu ze zadaného plošného úběru shrnují **tabulky 8.2 a 8.3.**



## Vzorce k zapamatování

**Tabulka 8.2.** Vzorce pro výpočet deformací při tažení

absolutní plošný úběr	$Q_{abs} = S_0 - S_1$	mm <sup>2</sup>	(8.2.)
poměrný plošný úběr	$Q = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \cdot 100 = \frac{d_0^2 - d_1^2}{d_1^2} \cdot 100$	%	(8.3.)
absolutní prodloužení	$\Delta l = l_1 - l_0$	mm	(8.4.)
poměrné prodloužení (tažnost)	$\varepsilon_l = A = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \cdot 100$	%	(8.5.)
součinitel prodloužení	$\lambda = \frac{l_1}{l_0} = \frac{d_0^2}{d_1^2} = \frac{100}{100 - Q}$	-	(8.6.)
skutečná deformace	$e_l = \ln \frac{S_0}{S_1}$	-	(8.7.)

**Tabulka 8.3.** Vzorce pro výpočet rozměrů drátu

$S_0 = S_1 \cdot \frac{100}{100 - Q}$	$S_1 = S_0 \cdot \frac{100 - Q}{100}$	mm <sup>2</sup>	(8.8.)
$d_0 = d_1 \cdot \sqrt{\frac{100}{100 - Q}}$	$d_1 = d_0 \cdot \sqrt{\frac{100 - Q}{100}}$	mm	(8.9.)
$l_0 = l_1 \cdot \frac{100 - Q}{100}$	$l_1 = l_0 \cdot \frac{100}{100 - Q}$	mm	(8.10.)

**Výpočty deformací při tažení – více tahů**

Matematické závislosti při vícenásobném tažení jsou složitější. Lze je odvodit z následující rovnice:

$$S_1 = S_0 \cdot \frac{100 - Q_1}{100}, S_2 = S_1 \cdot \frac{100 - Q_2}{100}, \dots, S_n = S_{n-1} \cdot \frac{100 - Q_n}{100} \quad (8.11.)$$

$$S_n = S_0 \cdot \frac{100 - Q_1}{100} \cdot \frac{100 - Q_2}{100} \cdot \dots \cdot \frac{100 - Q_n}{100} \quad (8.12.)$$

je-li  $Q_1 = Q_2 = \dots = Q_n$  pak pro výchozí a konečný průřez a průměr drátu obdržíme následující rovnice (viz. **tabulka 8.4.**)

**Vzorce k zapamatování****Tabulka 8.4.** Vzorce pro výpočet rozměrů drátu

$S_0 = S_n \cdot \left(\frac{100}{100 - Q}\right)^n$	$S_n = S_0 \cdot \left(\frac{100 - Q}{100}\right)^n$	mm <sup>2</sup>	(8.13.)
$d_0 = d_n \cdot \sqrt{\left(\frac{100}{100 - Q}\right)^n}$	$d_n = d_0 \cdot \sqrt{\left(\frac{100 - Q}{100}\right)^n}$	mm	(8.14.)

Obdobně odvodíme závislost mezi celkovým plošným úběrem  $Q_c$  a rovnoměrným dílčím úběrem  $Q$  a počtem tahů  $n$ :

$$Q_c = \left[1 - \left(\frac{100 - Q}{100}\right)^n\right] \cdot 100 \quad ; \quad Q = \left[1 - \sqrt[n]{\frac{100 - Q_c}{100}}\right] \cdot 100 \quad [\%] \quad (8.15.)$$

po úpravě:

$$n = \frac{\log(100 - Q_c) - 2}{\log(100 - Q) - 2} = 2 \cdot \frac{\log d_0 - \log d_n}{2 - \log(100 - Q)} \quad [\%] \quad (8.16.)$$

**Řešený příklad**

Drát o počátečním průměru 5,5 mm se táhne na 2,5 mm. Navrhněte úběrovou řadu tak, aby dílčí deformace  $Q_d$  nepřesáhla 22%.

Stanovíme celkovou deformaci:

$$Q_c = \frac{d_0^2 - d_n^2}{d_n^2} \cdot 100 = \frac{5,5^2 - 2,5^2}{2,5^2} \cdot 100 = 79,34\%$$

Stanovíme počet tahů:

$$n = \frac{\log(100 - Q_c) - 2}{\log(100 - Q) - 2} = \frac{\log(100 - 79,34) - 2}{\log(100 - 22) - 2} = 6,347$$

Zaokrouhlíme nahoru  $n = 7$ .

Vypočítáme průměry drátu po každém tahu a zaokrouhlíme na desetiny:

$$d_1 = d_0 \cdot \sqrt{\left(\frac{100 - Q}{100}\right)^1} = 4,9$$

$$d_2 = d_0 \cdot \sqrt{\left(\frac{100 - Q}{100}\right)^2} = 4,4$$

$$d_3 = d_0 \cdot \sqrt{\left(\frac{100 - Q}{100}\right)^3} = 3,9$$

...

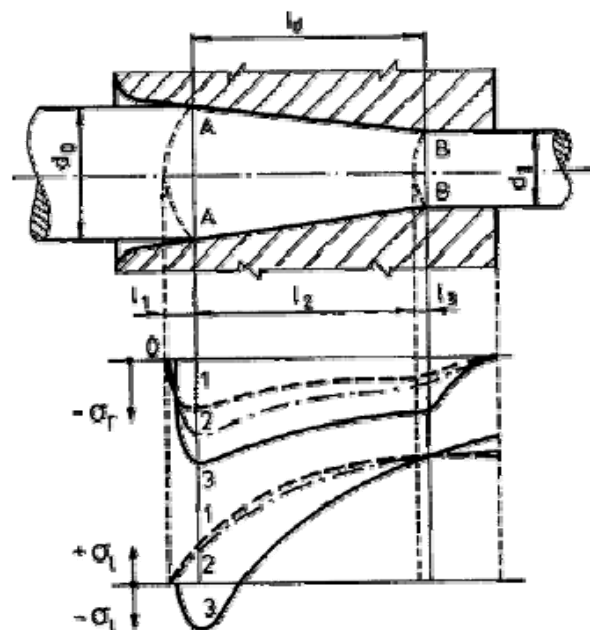
$$d_7 = d_0 \cdot \sqrt{\left(\frac{100 - Q}{100}\right)^7} = 2,5$$

Pro tažení drátu byla vypočítána následující úběrová řada 5,5 – 4,9 – 4,4 – 3,9 – 3,5 – 3,1 – 2,8 – 2,5.

### **Rozbor napjatosti při tažení:**

Složité průběh deformace v celém objemu tvářecího kovu v pásmu deformace souvisí se složitým rozdělením a průběhem napětí v jednotlivých místech tohoto objemu (viz. **obr. 8.22.**). U tažené tyče kruhového průřezu lze uvažovat, že v jednotlivých příčných řezech pásma deformace je rozdělení podélných složek napětí  $\sigma_l$  monotónní, jak to potvrzují podrobné rozbor napjatosti ve zkušební tyči při zkoušce tahem. Avšak v jednotlivých příčných řezech nemají tyto složky stejnou velikost a charakter jejich průběhu se mění od vstupního průřezu pásma deformace k výstupnímu průřezu.

V oblasti počátku pružných



**Obr. 8.22.** Průběh podélného a radiálního napětí ve 1) středu 2) na povrchu a 3) mezi středem a povrchem drátu

deformací lze ještě předpokládat homogenní stav napjatosti s napětím  $\sigma_l$  odpovídající vznikající pružné deformaci. V pásmu, kde vzniká plastická deformace, jsou povrchové vrstvy vystaveny tlakovým napětím  $-\sigma_t$ , které mohou vyvolat i napěchování kovu, ale vnitřní vlákna jsou už vystavena tahovým složkám  $+\sigma_l$ . V libovolném příčném průřezu uprostřed pásma deformace jsou jen podélné tahové složky  $+\sigma_l$  s maximem v osovém vláknu. Ve výstupním průřezu pásma deformace jsou sice také jen tahové složky  $+\sigma_l$ , ale i maxima vykazují povrchová vlákna.

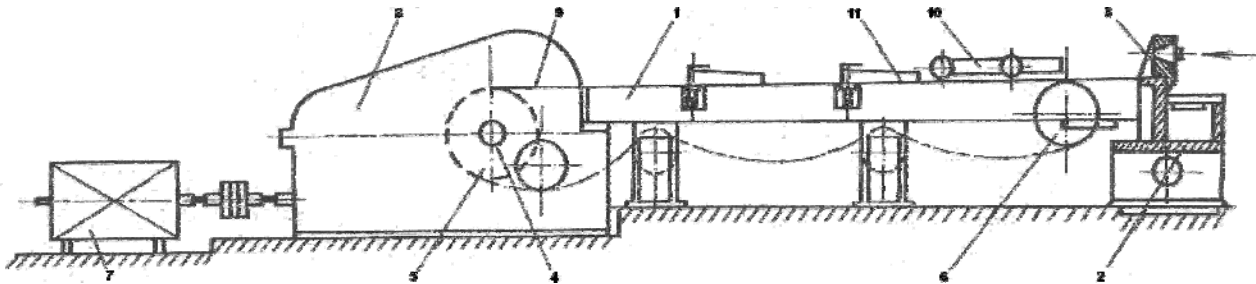
Radiální a obvodové složky napětí v jednotlivých příčných řezech musí být z důvodu, uvedeného v rozboru deformace, stejně veliké, tj.  $\sigma_r = \sigma_\theta$ . Jde o složky tlakové.

#### □ Tažné stolice

Tažné stolice se dělí na stolice s přímočarým pohybem materiálu (řetězové nebo hřebenové) a stolice s navíjením taženého materiálu (jednoprůchodové nebo víceprůchodové).

##### Stolice s přímočarým pohybem

Tyto stolice se používají k tažení tyčí, trubek a tvarových výrobků omezených délek. Nejčastěji se používají řetězové tažné stolice, které se vyrábějí jako jednotažné nebo vícetažné stroje. Tažná stolice má rám z ocelových nosníků, po němž se pohybuje tažný vozík. Na tažném vozíku je klešťové zařízení s tažnými čelistmi a unášecím hákem. Po zaklesnutí unášecího háku do řetězu sevrou čelisti hrot tyče nebo trubky a protahují jej průvlakem. Schéma stolice je na **obr. 8.23.**, kde: 1 – rám stolice; 2 – stojan; 3 – průvlak; 4 – hnací hřídel; 5 – poháněcí kolo; 6 – napínací kolo; 7 – poháněcí motor; 8 – převodovka; 9 – nekonečný řetěz; 10 – tažný vozík; 11 – hák



**Obr. 8.23.** Schéma stolice s přímočarým pohybem

Rozhodující vliv na výkonnost mají kromě tažné síly délka stolice a tažná rychlost. Tažná rychlost starých stolic je kolem  $30 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ , nejnovějších až  $130 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ .

Snaha zvýšit výkonnost a snížit předváhu vede k prodlužování tažných stolic, ke zvyšování tažných rychlostí a zvětšování počtu současných tahů (až 10). Délka dosahuje až 60 m. Stolice mohou být opatřeny tzv. zatlačovacího zařízením, které přední konce tyčí v délce asi 200 mm protlačí přímo průvlakem pomocí hydraulických čelistí, takže tyče se nemusí hrotovat. Stolice jsou vybaveny tlakovým mazacím zařízením, které umožňuje mazání průvlakem během tváření.

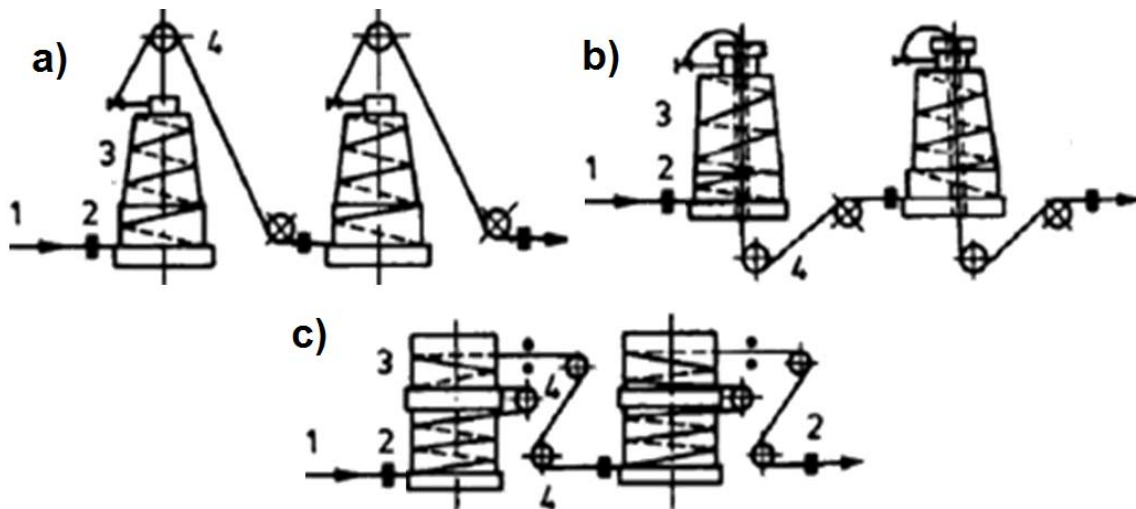
Použití řetězu jako tažného elementu není při vysokých rychlostech a měnící se zátěži výhodné, proto se začíná používat tažných lan nebo hydraulických pístů. Moderní automatizované stolice mohou vytahovat 3 000 až 4 000 m polotovarů za hodinu.

### Stolice s navíjením taženého drátu

Tyto stolice lze rozdělit podle konstrukce na:

- akumulční,
- přímotažné,
- s klínovou drážkou,
- pracující se skluzem drátu.

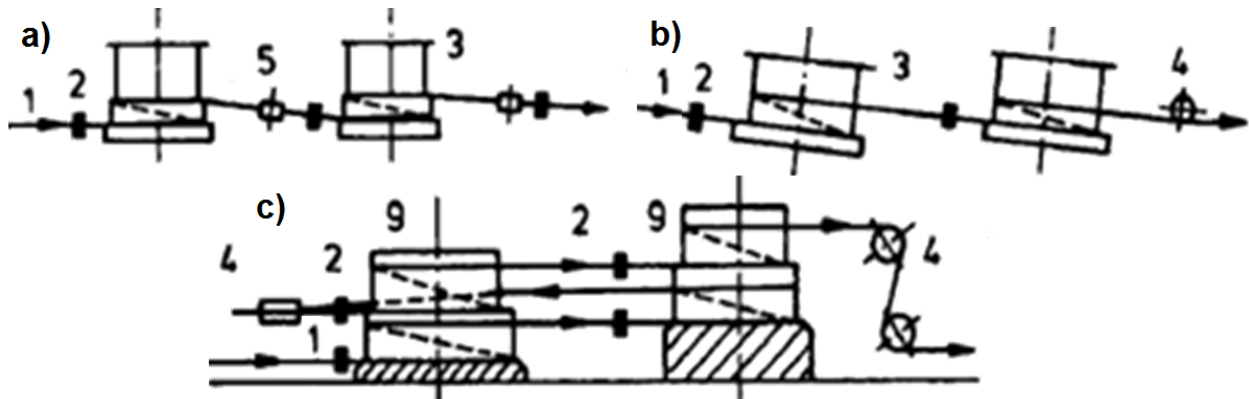
U **akumulačních drátotahů** pracujících se zásobou drátu na bubnech jsou jednotlivé tažné bubny konstantního průměru, přičemž jejich otáčky se v závislosti na prodloužení drátu úměrně zvětšují. Drát je veden z jednoho taženého bubnu přes průvlak k následujícímu tažnému bubnu systémem rotujících kladek. Na každém tažném bubnu je dostatečná zásoba drátu k vyrovnání malých diferencí v rychlosti a aby se přitom drát nepřetrhl, navinuje se na předcházející tažný buben vždy více drátu než na buben následující. Dílčí úběry drátu proto musí být větší než dílčí úběry stroje a na jednotlivých tažných bubnech tak dochází při tažení k hromadění drátu. Ve výrobní praxi jsou aplikovány akumulční drátotahy s horní a spodní převáděcí kladkou a s dvojitými bubny (viz. **obr. 8.24.**, kde: 1 – drát; 2 – skříňka s průvlakem; 3 – tažný buben; 4 – převáděcí kladka).



**Obr. 8.24.** Typy akumulčních drátotahů **a)** s převodem drátu horem **b)** s převodem drátu spodem **c)** s dvojitými bubny

U **přímotažných drátotahů** je poměr průtažné rychlosti drátu a obvodové rychlosti tažného bubnu roven 1. Tento vztah je zajištěn automatickou regulací otáček tažného bubnu. Na každém tažném bubnu musí být při tažení nejméně tolik závitů drátu, aby byla třením dosažena potřebná tažná síla. Ke zvýšení účinnosti chlazení jsou v současné době konstruovány tažné bubny pro větší počet závitů drátu. K progresivním přímotažným drátotahům patří stroje se stupňovitými kotouči, anebo stroje s tabulovým uspořádáním

tažných kotoučů (viz. **obr. 8.25.**, kde: 1 – drát; 2 – skříňka s průvlakem; 3 – tažný buben; 4 – převáděcí kladka; 5 – napínací kladky; 9 – odstupňované tažné kotouče).



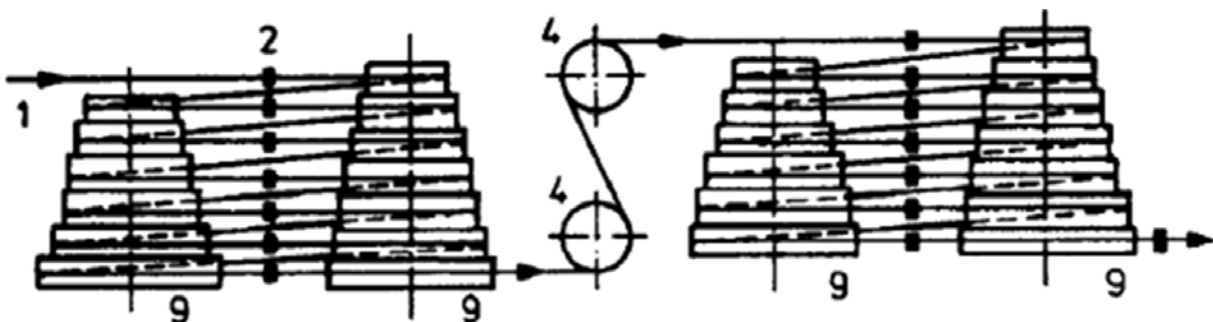
**Obr. 8.25.** Typy přímotažných drátotahů **a)** vertikální bubny **b)** šikmé bubny **c)** stupňovité bubny



## CD-ROM

67 Technologie tažení drátu – přímotažný drátotah

Vícetahové **drátotahy se skluzem** pracují tak, že je drát veden mezi dvěma průvlakami přes tažné kotouče. Na tažném kotouči je drát 1 až 3 krát ovinut. Třením, vznikajícím mezi drátem a povrchem tažného kotouče, se vyvozuje potřebná tažná síla. Drát probíhá průvlakem vzrůstající rychlostí, čehož se dosáhne obvykle stupňovitým uspořádáním kotoučů (viz. **obr. 8.26.**, kde: 1 – drát; 2 – skříňka s průvlakem; 4 – převáděcí kladka; 9 – odstupňované tažné kotouče). Obvodová rychlost jednotlivých tažných kotoučů na sebe navazujících je volena tak, aby každý tažný kotouč mohl odvést více drátu, než může přijmout následující průvlak. Obvodová rychlost tažného kotouče mezi dvěma průvlakami přesahuje o 3 až 5 % rychlost drátu probíhajícího těmito průvlakami. Poměr rychlostí drátu k obvodové rychlosti kotouče je menší než 1, popř. roven 1 a nazývá se koeficientem skluzu.



**Obr. 8.26.** Princip drátotahu pracujícího se skluzem

### □ Průvlak

Průvlak je základním nástrojem používaným v procesu tažení ocelového drátu. V průvlakem probíhá proces plastické deformace taženého drátu, která je vyvolaná společným působením tlaku v průvlakem a tažné síly na drát vyvozené tažným strojem.

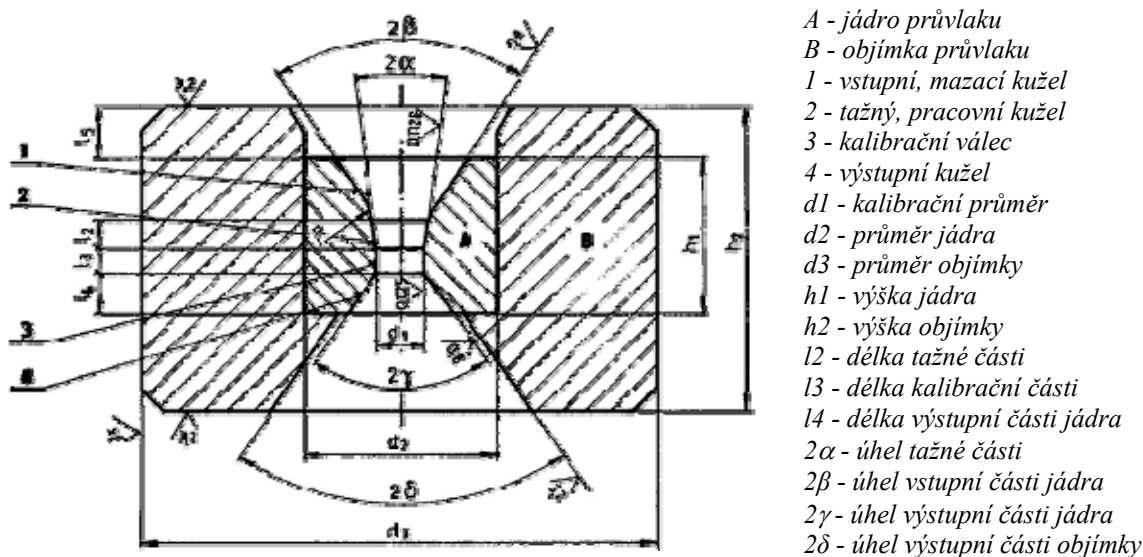
Průvlak je konstruován tak, aby taženému materiálu zajistil požadovanou přesnost rozměrů, jakost povrchu, žádané mechanické vlastnosti a mikrostrukturu drátu. Konstrukce



průvleků také ovlivňuje efektivnost procesu tažení a opotřebení průvleků, a tím také ekonomiku výroby taženého drátu.

Průvlek je poměrně drahý pracovní nástroj. Pro jeho výrobu jsou používány specifické suroviny, náročná technologie výroby a vyžaduje relativně pracné opracování. Mnohonásobně vyšší než samotná cena průvleku mohou být však výpadky výroby způsobené nekvalitní výrobou drátu nebo prostoje drátotahů zapříčiněné nevhodnou volbou nebo špatnou jakostí průvleku.

Průvlek tvoří 2 části - **jádro** a **objímka** (viz. **obr. 8.27.**). Specifikace průvleků se provádí podle materiálu jádra. Rozeznáváme průvlekы **tvrdokovové** (karbid wolframu WC), průvlekы z **monokrystalických** a **polykrystalických diamantů**, průvlekы z jiných materiálů (kámen).



**Obr. 8.27.** Schéma průvleku

#### □ Maziva

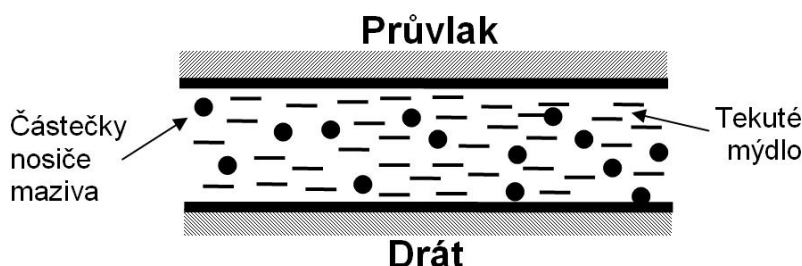
Celkový průběh procesu tažení ocelového drátu a jeho výsledných vlastností po tažení je ovlivněn řadou činitelů, jako např.: rychlost tažení, velikost tažné síly, teplo uvolněné při plastické deformaci, historie tváření, atd. Je tedy zřejmé a praxí dokázané, že při procesu tažení působí současně několik faktorů, které je problematické ustálit v jejich optimální působnosti a tím tedy efektivně navrhnout způsob nejvýhodnější technologie výroby drátu.

Jedním z početné řady činitelů významně ovlivňující průběh tažení je mazivo a jeho vhodná aplikace a složení.

#### *Mazací soustava*

**Nosič maziva** a **mazivo** tvoří mazací soustavu (viz. **obr. 8.28.**). Mazivem je tekuté mýdlo, zatím co nosič maziva jsou pevné částice vápna, hydroxidu železnatého a vápna, fosforečnanu a vápna, boraxu, fosforečnanu a boraxu, mědi a vápna nebo směsi boraxu, sulfátů a silikátů pro antikorozi oceli. Pevné částice nosiče maziva zvyšují stabilitu maziva a snižují riziko vymačkávání maziva ven z otvoru průvleku. Jak již bylo řečeno nanáší se nosič maziva bezprostředně po operaci moření. Proto se u drátu, které byly odokujování pouze mechanicky přidává nosič maziva (nejčastěji vápno) přímo do maziva.

Při tažení je tvářená drát oddělen od průvzlaku souvislou vrstvou maziva. Na rozhraní drát/průvzlak je situace poměrně dramatická. Ne jen z důvodů tření a mazání v oblasti s prudce rostoucí teplotou, ale také z důvodu vzniku nového povrchu.



**Obr. 8.28.** Mazací soustava při tažení, tenký film mezi drátem průvzlakem tvořený kombinací nosiče maziva a maziva

### Členění maziv

Podle chemického složení:

- minerální oleje
- emulze
- rostlinné oleje
- tuhé uhlovodany
- mýdla
- maziva s plnidly
- živočišné tuky
- konzistenční maziva

Podle způsobu použití v praxi:

- maziva tuhá
- maziva polotuhá
- maziva kapalná

Podle technologie tažení:

- maziva pro tažení za sucha
- maziva pro tažení za mokra

### □ Pomocné vybavení

K pomocným strojním zařízením drátotažných strojů přísluší:

- hrotovací zařízení, hrotovačky, (pomocná strojní zařízení, která slouží k hrotování konců drátu tak, aby drát bez potíží a v dostatečné délce prošel průvzlakem a aby jej mohly zatahovací kleště zachytit.),
- průvzlakové skříňky, (mají zabránit pohybu průvzlaku ve směru tažení, umožnit chlazení průvzlaku vodou a zároveň slouží jako zásobník pro mazivo),
- zatahovací kleště, (jsou používány k zachycení a zatažení zeslabeného konce drátu na tažný buben.),
- drezury drátu, rovnačky, (mají v širším slova smyslu připravit z kruhového drátu drát vyrovnaný a nastříhaný na předepsané délky nebo ho nově převinout do kruhu, aby se odvínoval mrtvě (tzn. drezovaný drát),
- ruční jeřábky ke snímání drátu,
- svařovací stroje, svařečky (se používají ke svařování drátu před tažením a při přetržení drátu během tažení (ale také při patentování, pozinkování aj.) je významnou technologickou operací, která ovlivňuje využití a tím i výkon stroje.).

## □ Drátovny

### **ŽDB Group, as. Bohumín, závod Drátovna**

Závod Drátovna je největší výrobce vysokouhlíkových a nízkouhlíkatých drátů v České republice a svým objemem produkce se řadí i mezi největší producenty ve střední Evropě. Výroba těchto drátů má více než stoletou tradici. Výrobky ŽDB jsou směřovány především do následujících oborů: automobilový průmysl, nábytkářský průmysl, doprava, těžba nerostů, zemědělství, stavební průmysl a strojírenství. Podíl vývozu je větší než 60 %. Velká část vývozu je směřována na náročné trhy EU.

V současné době je výroba drátu rozdělena do dvou výrobních divizí. Výroba nízkouhlíkatých drátů (TND) a výroba vysokouhlíkatých drátů (TPD).

### ***Produkty***

#### TPD

- Lanové dráty holé a pozinkované
- Dráty na paprsky kol
- Pružinové dráty
- Pružinové dráty pro nábytkářské účely
- Dráty do předpjatého betonu
- Ocelový drát kartáčnický
- Dráty pro elektrovodná lana

#### TND

- Dráty pro petchování za studena
- Lesklý mokře tažený drát
- Tvrdý tažený ocelový drát
- Tvrdý tažený ocelový drát v tyčích
- Svařovací dráty
- Dráty pro výrobu rozptýlené výztuže do betonu
- Kroucené dráty čtvercového průřezu
- Šicí dráty kruhového a plochého průřezu
- Žíhané dráty
- Poměděné dráty
- Drát pro výrobu železničních pružných podložek
- Profilové půlkulaté dráty

**TŽ, a.s. – tažírna oceli Ferromoravia**

Do skupiny TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY – MORAVIA STEEL patří od roku 2003 také společnost FERROMORAVIA, která provozuje tažírny oceli ve Starém Městě u Uherského Hradiště. Ocel tažená za studena je vyráběna způsobem ze svitků do svitků, ze svitků do tyčí nebo z tyčí do tyčí. Odokujování válcovaného materiálu se provádí mechanicky. Následuje vlastní tažení, dělení, rovnání a hlazení, srážení hran, frézování čel, nedestruktivní kontrola a svazkování. Součástí technologie zpracování některých výrobků je i žihání svitků a tyčí. Výrobní program tažírny tvoří tažená ocel kruhového průřezu, šestihanného a čtvercového průřezu.

**Σ Shrnutí**

Tažený drát se z výrobního hlediska dělí na patentovaný, nepatentovaný a z legovaných ocelí. Patentování je speciální způsob tepelného zpracování, který v drátě zajistí jemnělamelární perlit, používá se proto u ocelí s obsahem uhlíku nad 0,2%. Mezi výrobky z taženého drátu najdeme i ty na jejichž vlastnosti jsou kladeny požadavky špičkové jakosti (lana, kordy, pružiny, jehly, atd.). Při tažení je drát protahován otvorem průvlatku tak, že se postupně zmenšuje jeho průřez a zvětšuje jeho délka. Při tažení více tahy musí platit rovnice kontinuity. Seznámili jste se se základními výpočty deformací při tažení. Tažení probíhá za nepříznivého stavu napjatosti, zvláště na výstupu z průvlatku je největší napětí (tahové) výrazně větší než napětí v radiálním směru (tlakové), může zde proto snadno docházet k lomům. Tažení probíhá na tažných stolicích ať přímočarých nebo s navíjením drátu na buben. Průvlatky musí být otěruvzdorný, jako materiál jádra se proto používá karbid wolframu nebo polykrystalický či monokrystalický diamant. Tažení je mezi procesy tvářeni necitlivější ke zhoršeným podmínkám tření, proto je této problematice věnována velká pozornost.

**Otázky 8.3.**

- 8.3.1) Jak dělíme dráty z výrobního hlediska?
- 8.3.2) Co je to patentování?
- 8.3.3) Jakou mikrostrukturu má patentovaný drát za studena?
- 8.3.4) K čemu se při tažení drátu používá žihání?
- 8.3.5) Jakým způsobem můžeme chránit povrch drátu před působením vnějších vlivů?
- 8.3.6) Jaké jsou požadavky na dráty určené k výrobě lan?
- 8.3.7) Jaký je princip předpjatého betonu?
- 8.3.8) Co je to kord?
- 8.3.9) Napište rovnici kontinuity při tažení drátu.
- 8.3.10) Co je to průvlak?
- 8.3.11) Jak se jmenuje část průvlatku, ve které dochází k vlastní deformaci?
- 8.3.12) V které části průvlatku dosahuje podélné tahové napětí svého maxima?
- 8.3.13) Jaký je rozdíl mezi tažnou stolicí s přímočarým pohybem a s navíjením?



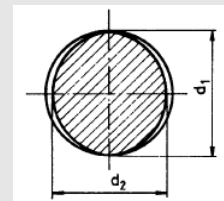
### Otázky 8.3.

- 8.3.14) Které konstrukční řešení drátotahu s navíjením nemusí splňovat rovnici kontinuity?
- 8.3.15) Popište základní části tažné stolice-drátotahu.
- 8.3.16) Nakreslete schéma průvzlaku.
- 8.3.17) Z jakého materiálu se vyrábí průvzlaky?
- 8.3.18) Co je to mazací soustava?
- 8.3.19) Jaké znáte typy maziv?
- 8.3.20) K čemu slouží hrotovací zařízení?
- 8.3.21) Jaké znáte výrobce taženého drátu v ČR?



### Úlohy k řešení 8.3.

- 8.3.1) VD o průměru 5,5 mm s tolerancí  $\pm 0,4$  mm se táhne na 4,5 mm. V jakém rozmezí může kolísat skutečná deformace? Jaký vliv bude mít na deformaci ovalita drátu  $\Delta = 0,8$  mm? ( $\Delta = d1 - d2$ )
- 8.3.2) Pomocí programu Excel vypočítejte úběrovou řadu pro tažení drátu z počátečním průměrem 6 mm na 1,5 mm. Maximální dílčí deformace může být 18 %.
- 8.3.3) Odvoďte vzorec pro délku pásma deformace při tažení v závislosti na rozměrech drátu, parametrech průvzlaku a deformaci.



## 8.4. Protlačování



**Čas ke studiu: 2 hodiny**



### Pojmy k zapamatování

Protlačování dopředné a zpětné, průtlačnice, matrice



### Výklad

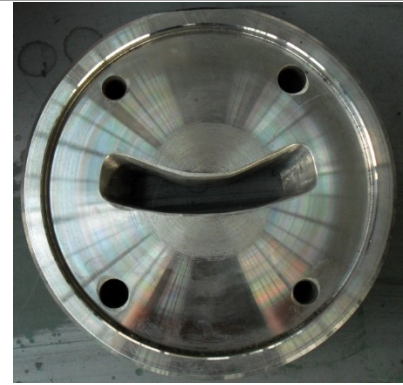
**Průtlačné lisování**, protlačování, je technologický proces, při němž kov, uzavřený v **průtlačnici** a vystavený všestrannému tlaku s různě velkými složkami tlakových napětí, je přiveden do plastického stavu, takže vytéká otvorem **matrice** (viz. **obr. 8.29.**), uzavírající průtlačnici, v požadovaném tvaru příčného průřezu hotového výrobku. Tímto způsobem lze vyrábět jak profilové tyče velmi složitých tvarů a obrysů, tak profilové tyče duté. Trubky

kuhovitého průřezu, vyráběné výtláčným lisováním, patří podle principu výrobního procesu rovněž mezi duté profilové tyče, kde je využito technologie průtláčného lisování.

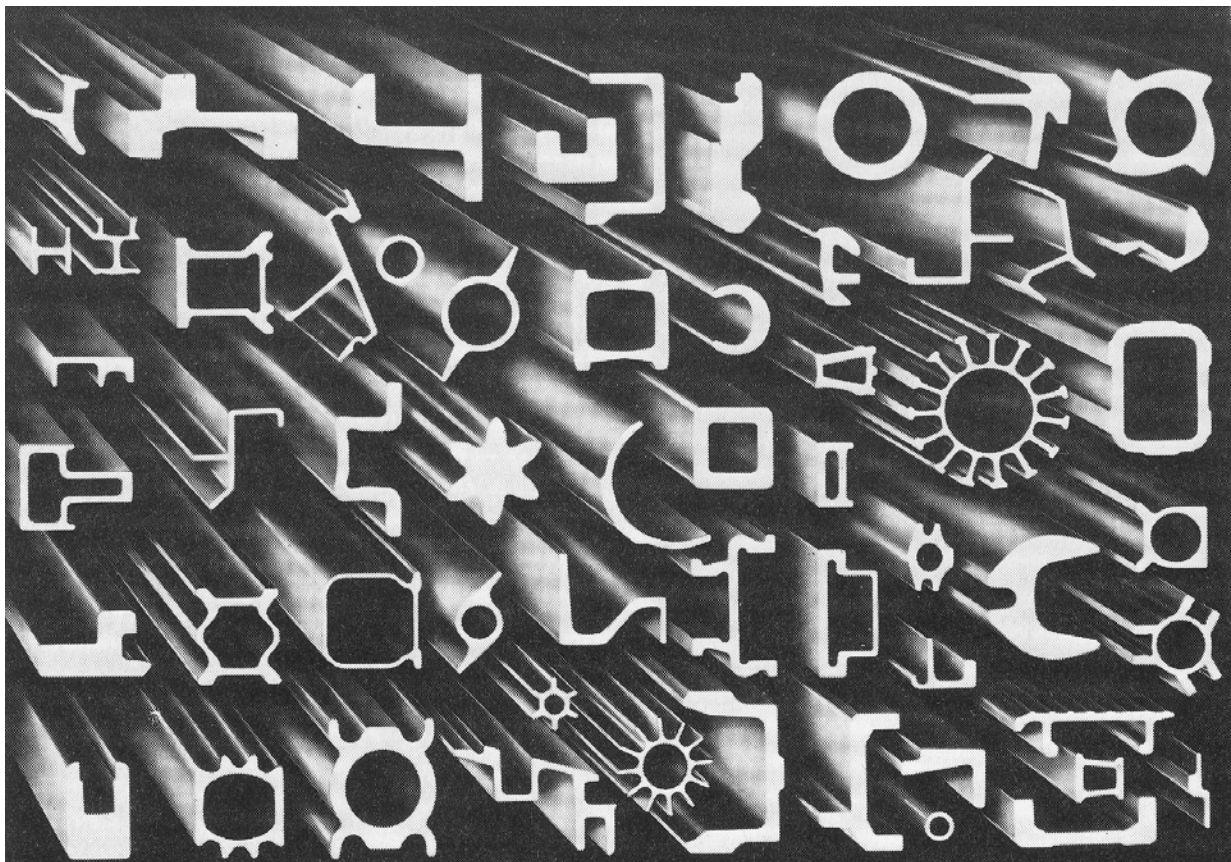
Protlačování má široké použití při výrobě zejména takových profilů, které nelze vzhledem ke složitosti průřezu vyrábět válcováním, tažením nebo zakružováním. Je velmi rozšířeno při tváření neželezných kovů, kde je možno tuto technologii využít pro jejich zpracování **za studena**. Ale používá se i pro zpracování ocelí a těžkotvařitelných 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.

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. 8.30.**) 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 tažiren.



*Obr. 8.29. Matrice*



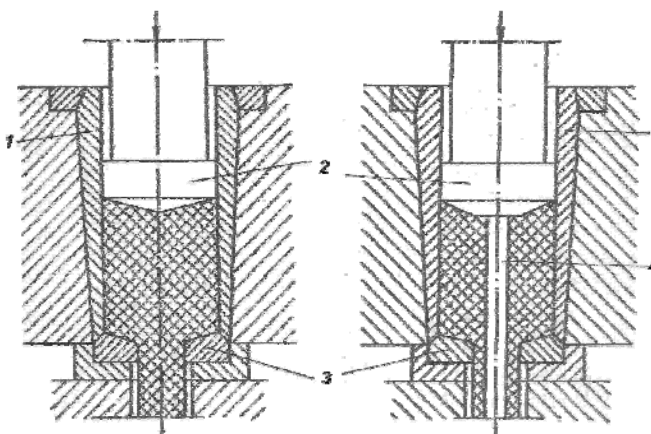
*8.30. Průřezy protlačovaných profilů*

## □ 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. 8.31 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 napětíovou 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. 8.31.** Schéma dopředného protlačování, **vlevo** plných tyčí, **vpravo** dutých tyčí

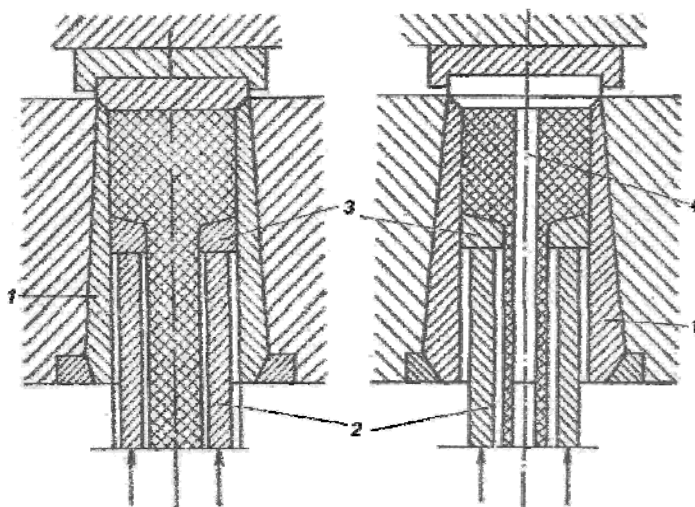
Při výrobě duté profilové tyče (viz. **obr. 8.31 vpravo**), např. trubky, se napěchovaný špalek nejdříve vyděruje trnem 4, který prochází průtlačníkem 2, přičemž se tento trn zastaví v takové poloze, že mezi ním a obrysem pevné matrice 3 je mezera, kterou kov při dalším pohybu průtlačníku vytéká jako dutá profilová tyč.

U těžkotvařitelných 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. 8.32 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 matici 3. Tímto tlakem se kov vytlačuje maticí proti směru pohybu průtlačníku.

Zpětným protlačováním lze též vyrábět duté profilové tyče (viz. **obr. 8.32 vpravo**). Princip je znázorněn na pravém obrázku. Proti



**Obr. 8.32.** Schéma zpětného protlačování, **vlevo** plných tyčí, **vpravo** dutých tyčí

zpětnému protlačování plných tyčí je u dutých tyčí nutný ještě trn 4, který vytváří vnitřní obrys dutiny tyče.



## CD-ROM 11 Protlačování

### □ 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

### □ 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, tryskací zařízení pro odstranění okují apod.). V roce 1981 proběhla rekonstrukce haly kalírny a v letech 1988 – 1992 komplexní modernizace výroby ocelových lahví 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 lahví. 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 vysokotlakové ocelové nádoby**

Produkce bezešvých vysokotlakových ocelových nádob pro přepravu a skladování technických plynů pro využití v průmyslu, stavebnictví, zdravotnictví, potravinářství a hasičské 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 lahví 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 lahví, 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 vysokotlakových 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**

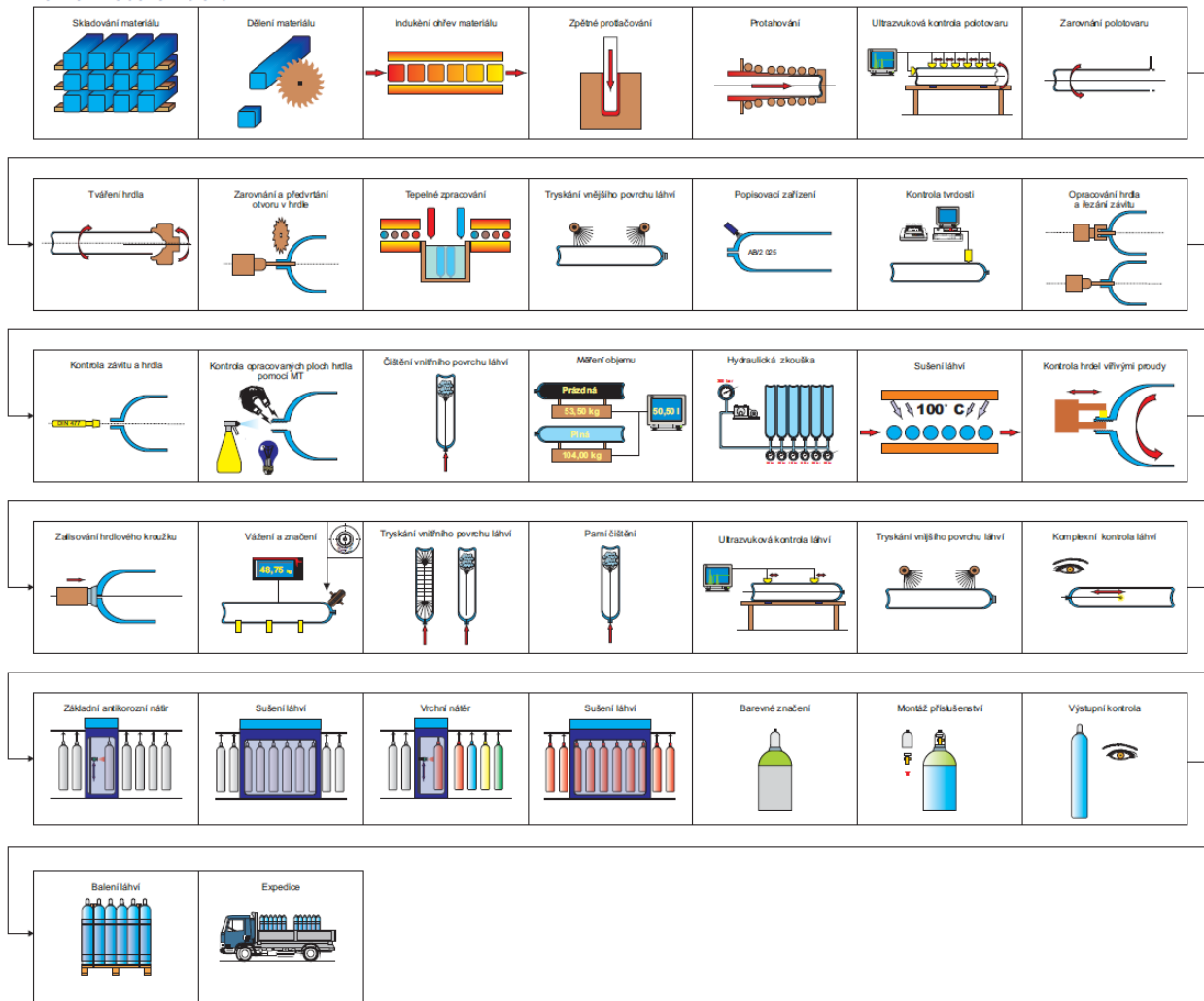
V současné době disponuje společnost VÍTKOVICE CYLINDERS a.s. dvěma moderními výrobními technologiemi (výroba lahví z trubek a zpětným protlačováním), pro které byly vybudovány výrobní linky s velkým podílem automatizace a robotizace. Od roku 1992 je v provozu výrobní linka na tlakové ocelové láhve od  $\varnothing 140$  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 lahví až do  $\varnothing 406$  mm. U této linky jako jediné 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 tvářeni, která byla vyvinuta technologií společnosti VÍTKOVICE. Po tvářeni za tepla a tepelném zpracování na jakost s automatickou kontrolou tvrdosti následuje strojírenské zpracování a zkoušení. Na **obr. 8.33.** je schéma technologického toku výroby - provoz 1. Hlavní výrobní agregáty pro výrobu jsou zachyceny na **obr. 8.34.** 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. 8.34.** uprostřed.



*Obr. 8.34. Výroba ocelových lahví protlačováním*



Obr. 8.33. Postup výroby bezešvých lahví protlačováním

### Výroba ocelových bezešvých tlakových lahví z trubek

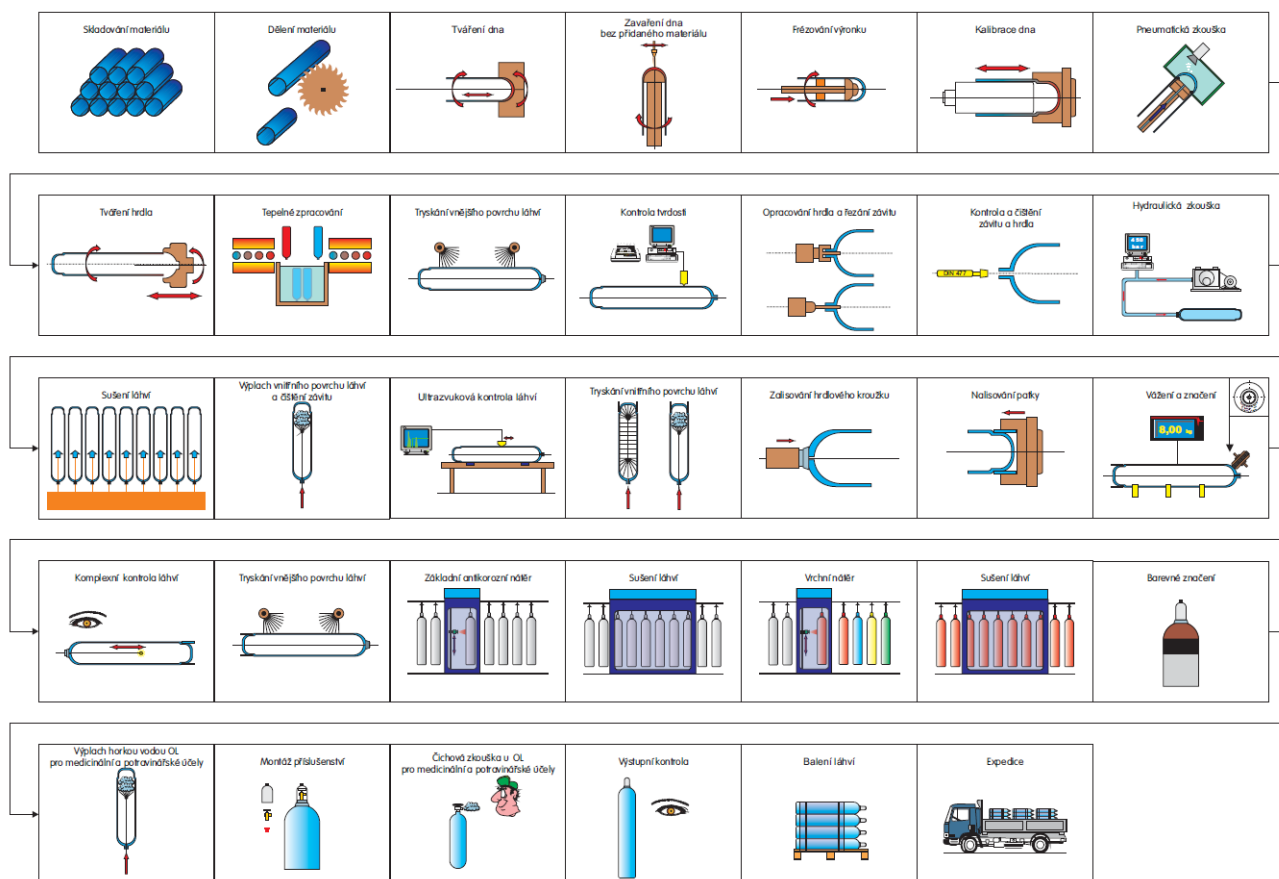
Je to technologie výroby lahví z bezešvých trubek. Pro uzavírání trubkového konce – dna je používána tradiční metoda rotačního kování s přídavným ohřevem v průběhu uzavírání. Pro uzavírání druhého konce – hrdla je používána speciální technologie rotačního kování, která byla vyvinuta technologií společnosti 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. 8.35. Výroba lahví z trubek . výrobní linka

nové moderní zcela automatizované pracoviště. Celá linka je plně automatizovaná (viz. **obr. 8.35**).

Po tváření za tepla a tepelném zpracování na jakost s automatickou kontrolou tvrdosti následuje strojírenské zpracování a zkoušení. Na **obr. 8.36** je schéma technologického toku výroby - provoz 2.



**Obr. 8.36.** Postup výroby bezesých 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):



*Kontrola mlecích koulí*

Z každé výrobní dávky je v průběhu výrobního procesu odebrán 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. 8.36.)*

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. 8.36.** 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 tvářeni, 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 8.4.

- 8.4.1) Jaký je stav napjatosti při protlačování? Jaké z toho plynou důsledky?
- 8.4.2) K čemu se nejčastěji používá průtlačné lisování?
- 8.4.3) Jaké znáte způsoby protlačování?
- 8.4.4) Nakreslete schéma dopředného protlačování plných tyčí.
- 8.4.5) Nakreslete schéma zpětného protlačování plných tyčí.
- 8.4.6) Proč se pro určení stupně deformace při protlačování výlučně používá skutečná deformace?
- 8.4.7) Při jakém způsobu protlačování je nejnižší tření?
- 8.4.8) Proč je deformační odpor při protlačování větší než při jiných technologiích tvářeni?
- 8.4.9) Jaké maziva se používají při protlačování za tepla?
- 8.4.10) Co je to „lisování na košilku“?
- 8.4.11) Popište výrobu tlakových ocelových lahví protlačováním?



## Otázky 8.4.

8.4.12) Popište výrobu tlakových ocelových lahví z trubek?

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




## Další zdroje



- [01] ŽÍDEK, M., DĚDEK, V., SOMMER, B., *Tvářeni oceli*. SNTL, Praha 1988, ISBN 04-408-88
- [02] ŽÍDEK, M., KUŘE, F., *Válcování*, skripta VŠB-TU Ostrava, 1983, 1. vydání
- [03] GINZBURG, V., B., *Steel-Rolling Technology, Theory and Practice*, Marcel Dekker, Inc., New York and Basel. 1989, ISBN 0-8247-8124-4
- [04] MARCOL, J., *Tažený ocelový drát - 1 a 2 díl*, ŽDB 1996
- [05] ENGHANG, P., *Steel wire technology*, Materialtechnik HB, 2008, ISBN 91-631-1962-5
- [06] KNAP, F., KRUZEL, R., CIEŚLAK, Ł., *Ciągnienie drutów, prętów i rur*, Politechnika Częstochowska, prace dydaktyczne, Metalurgia nr. 36, 2004, ISBN 83-87745-17-0
- [07] *Wire Forming Technology International*, [www.wireformingtech.com](http://www.wireformingtech.com)
- [08] *Wire Journal International*, official publication of the Wire association international, [www.wirenet.org](http://www.wirenet.org)
- [09] FELDMANN, H.D., *Protlačování oceli*, SNTL, Praha, 1962, ISBN 04-266-62
- [10] ŽDB GROUP a.s., [www.zdb.cz](http://www.zdb.cz)
- [11] VÍTKOVICE CYLINDERS a.s., [www.vitkovicecylinders.cz/](http://www.vitkovicecylinders.cz/)





## 7. KLÍČ K OTÁZKÁM A ÚLOHÁM K ŘEŠENÍ



### □ Otázky


 Kapitola 1	
1.1.1)	Při tvářeni záměrně měníme mikrostrukturu a tím zlepšujeme mechanické vlastnosti.
1.1.2)	Podélné válcování.
1.1.3)	c)
1.1.4)	Kalibr je tvořen zářezem na horním a dolním válci.
1.1.5)	Koleje jsou tvořeny dvěma kolejnicemi, pražci, šterkovým podložím, spojovacím materiálem, atd. (Z toho plyne, že písneň od Wabiho Daňka, kde Wabi ráno stírá nohama rosu na kolejích, má závažné nedostatky v terminologii ☺)
1.1.6)	Výrazně lepší mikrostruktury a díky tomu vyšší houževnatost, nevzniká prakticky žádný odpad (např. ve srovnání s obráběním).
1.2.1)	c)
1.2.2)	b)
1.2.3)	Mnohostěn
1.2.4)	Teplota, která rozděluje tvářeni za tepla a tvářeni za studena. Nad touto teplotou mohou probíhat uzdravovací procesy (rekrytalizace).
1.2.5)	Plastičnost je obecnější pojem, tvařitelnost je plastičnost při tvářeni.
1.2.6)	Vlivem tření a stavem napjatosti.
1.2.7)	Žádný, jedná se o synonyma.
1.2.8)	Napětí, kdy materiál přejde z pružného do plastického stavu
1.3.1)	Použijte např. <a href="http://scholar.google.cz/">http://scholar.google.cz/</a>
1.3.2)	Obojí jsou lité polotovary, ingot vzniká odlitím oceli do formy (kokily), kontislitek je prakticky nekonečný, vzniká na zařízení pro plynulé lití
1.3.3)	Objemové tvářeni
1.3.4)	Malý podíl ušlechtilých ocelí, malý podíl za tepla a za studena válcovaných pásů a povrchově zušlechťených výrobků.
1.3.5)	Plechý a pásy.
1.3.6)	Nejčastěji se jedná o pokovování (zinkování, cínování) může se také jednat o chemicko-tepelné zpracování povrchu (cementování, nitridování apod.).
1.3.7)	Přeměna licí struktury na strukturu protvářenou.
1.3.8)	Lití kontislitků, které se blíží tvaru konečného vývalku, řízené tvářeni a ochlazování, propojení výroby oceli a válcování do jednoho spojitého procesu, atd.
1.3.9)	Větší důraz na ekologii výroby, zvyšování přidané hodnoty, zavádění, minihutí, snižování energetické náročnosti výroby a zvyšování produktivity, úbytek zaměstnanců na dělnických profesích.



	<b>Kapitola 1</b>
1.3.10)	Minihut' je spojení ocelárny, plynulého lití a válcovny do jednoho výrobního celku. Na rozdíl od integrovaných hutí je zde snaha nenechat polotovár v průběhu výroby vychladnout. V ArcelorMittal Ostrava je minihut', vyrábějící pásy za tepla.
1.4.1)	Kolejnice, profily pro stavební konstrukce, pletivo z taženého drátu, kovaná kliková hřídel,
1.4.2)	Podívejte se na <a href="http://www.worldsteel.org/">http://www.worldsteel.org/</a>
1.4.3)	Rozpad východního bloku a s ní spojená recese těžkého průmyslu v ČSSR, PLR, SSSR a dalších zemích.
1.4.4)	Aplikace dnešních vysokopevnostních ocelí by umožnila použít na její stavbu subtilnějších profilů, navíc by místo nýtování byly spojeny svařováním.
1.4.5)	Zvýší se tak otěruvzdornost a tím i životnost hlavy, zbytek kolejnice zůstane dostatečně houževnatý, aby kolejnice nepraskaly.
1.4.6)	Cr – korozivzdornost, Nb, Ti, V – vytváření karbidů, vyšší pevnost, Mo, B – zvýšení prokalitelnosti, atd.
1.4.7)	Např. jak velký ekologický dopad bude mít stavba výrobní haly z betonových nebo ocelových nosníků. Bude za potřebí stejné množství materiálu na konkrétní halu? Co až hala doslouží? Atd. atp.
1.4.8)	Ultra lehká ocelová automobilová karosérie.
1.4.9)	Oceli bez intersticií. To málo interstitických prvků (C, N) je navázáno na karbidy a nitridy.
1.4.10)	Dvoufázové oceli, nejčastěji ferit + martenzit.
1.4.11)	Zvýšený obsah zbytkového austenitu, který se při plastické deformaci za studena přemění na martenzit.
1.4.12)	Deformační stárnutí během vypalování laku na karosérii. Dojde k precipitaci nitridů, které zablokují pohyb dislokací.
1.4.13)	TRIP
	<b>Kapitola 2</b>
2.1.1)	Interstiticky rozpuštěný uhlík, deformuje okolní mřížku a vytváří vnitřní pnutí, které se na venek projeví zvýšenou pevností.
2.1.2)	Na hranici zrna jsou atomy neuspořádané. Vyskytuje se zde více dislokací a vakancí.
2.1.3)	Materiál, který je tvořen více zrny. Opak monokrystalu.
2.1.4)	KSC [111], KPC [110] a HTU [1120]
2.1.5)	Je to dáno velikostí interstitických dutin, které jsou v KSC mřížce menší než v KPC.
2.1.6)	Změna krystalové mřížky při změně teploty.
2.1.7)	C, N, O, B
2.1.8)	Viz. <b>Obr. 2.8.</b>
2.1.9)	Alotropická modifikace železa s KPC mřížkou.


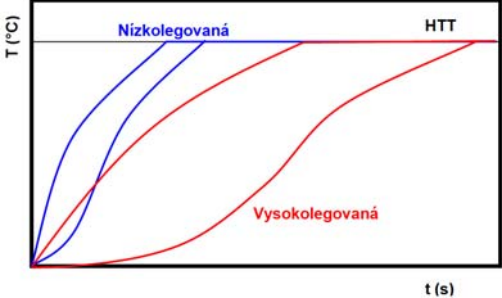
	<b>Kapitola 2</b>
2.1.10)	Eutektoidní směs feritu a cementitu, nejčastěji má lamelární strukturu, ale může být i globulární.
2.1.11)	Vakance, Interstice, Substitute, Dislokace, Hranice zrna, Vrstevné chyby.
2.1.12)	Viz. <b>Obr. 2.12.</b> (stačí 2D zobrazení)
2.1.13)	V precipitátu je uhlík uspořádán pravidelně (tvoří nadstrukturu)
2.1.14)	Mřížky s uspořádáním vrstev <i>ABCABC</i> , tj. KPC.
2.2.1)	Sklizem za současného pohybu dislokací.
2.2.2)	Velikost smykového napětí na skluzové rovině (tj. rovině, ve které leží nejhustěji obsazený směr)
2.2.3)	Závisí na vzdálenosti skluzových rovin, vzdálenosti atomů ve směru skluzu, modulu pružnosti ve smyku a aktuální poloze atomů. Protože skluz je výrazně usnadněn (potřebujeme na něj nižší napětí) přítomností dislokací.
2.2.4)	Viz. <b>Obr. 2.16.</b> (stačí 2D zobrazení)
2.2.5)	Dislokace snižuje napětí potřebné pro skluz. Díky přítomnosti dislokace není potřeba přerušit vazebné síly mezi všemi atomy skluzové roviny najednou, děje se tak po jednotlivých řadách.
2.2.6)	Uzavřená Burgersova smyčka vznikne tak, že v perfektním krystalu postupujeme o stejný počet ve směru $\rightarrow$ , $\downarrow$ , $\leftarrow$ a $\uparrow$ . Pokud je v krystalu přítomna dislokace, nedostaneme se výše popsaným způsobem do výchozího bodu. Chybějící krok se nazývá Burgesův vektor.
2.3.1)	Jsou to viditelné stopy v podobě rovných čar táhnoucích se přes celé zrna, které vznikly po skluzu dvou částí krystalu.
2.3.2)	Skluz se odehrává ve směru nejhustěji obsazeném atomy na nejhustěji obsazených rovinách.
2.3.3)	Směrem a rovinou skluzu.
2.3.4)	$KPC = 12$ , $KSC = 48$ , a $HTU = 3$
2.3.5)	Čím více skluzových systémů, tím nižší deformační odpor a nižší zpevnění.
2.4.1)	Protože se odehrává za příznivějšího stavu napjatosti.
2.4.2)	Protože vlivem tření mezi válcem a polotovarem v těchto místech vznikají přídatná tahová napětí.
2.4.3)	$s^{-1}$ , $1/s$ , změna velikosti deformace (-) za čas (s)
2.4.4)	Viz. <b>Obr. 2.34.</b> (rychlost pohybu hydraulického lisu $v = konst.$ , deformační rychlost $= v/h$ , kde $h$ je aktuální výška, v grafu je na ose $x$ .; pro $h \rightarrow 0$ je $v/h = \infty$ , křivka se bude k ose $y = 0$ blížit asymptoticky)
2.4.5)	Polotovar se deformuje plasticky, díky tomu se stává otiskem nástroje, to vše se děje za vysokých tlaků na stykové ploše. Během tváření se navíc zvětšuje styková plocha.
2.4.6)	Jedná se o lineární klesající funkci
2.4.7)	Napětí, které materiál klade plastické deformaci.

	<b>Kapitola 2</b>
2.4.8)	Je to materiálová vlastnost, která vyjadřuje napětí, které materiál klade plastické deformaci za určitých smluvních podmínek.
2.4.9)	Viz. <b>Obr. 2.37.</b> (čím větší výška $h$ , tím menší plocha $S$ a tím menší napětí $q$ , a naopak)
2.4.10)	Na metalurgickém charakteru kovu, teplotě, deformaci a deformační rychlosti.
2.4.11)	Je to jeho chemické složení, mikrostruktura (druh a podíl fází, velikost zrna) a čistota.
2.4.12)	Čím více příměsí tím větší deformační odpor, nejvíce zpevňují interstice a substituce s výrazně odlišným poloměrem než má základní matrice (např. Fe)
2.4.13)	Čím vyšší teplota tím nižší přirozený deformační odpor. Vysoké teploty také podporují rekrytalizaci, která dále PDO snižuje.
2.4.14)	Za tepla tato závislost vykazuje pík díky přítomnosti uzdravovacích procesů.
2.4.15)	Čím vyšší teplota tím nižší píkovaná deformace (tzn. dřívější nástup dynamické rekrytalizace).
2.4.16)	Ustálí se přírůstek PDO vlivem zpevnění a úbytek PDO vlivem rekrytalizace.
2.4.17)	Vyšší deformační rychlost zvyšuje PDO a také oddaluje počátek dynamické rekrytalizace. Vyšší deformační rychlost vede ke zvýšení teploty, což může vést ke snížení PDO. U mikrolegovaných ocelí může vyšší rychlost deformace způsobit opožděný nástup precipitace a díky tomu bude mít ocel nižší PDO.
2.5.1)	Velikost maximálního smykového napětí musí překročit mez kluzu.
2.5.2)	Hypotéza HMMH uvažuje i vliv napětí $\sigma_2$ .
2.5.3)	Intenzita napětí se odvozuje od hlavních složek napětí a představuje jejich souhrnný vliv a vlastně odpor částic kovu proti její tvarové změně. Intenzita deformace také představuje souhrnný vliv hlavních složek deformace.
2.5.4)	Křehký lom – normálové napětí, Houževnatý lom – smykové napětí
2.5.5)	Ukazatel, který vyjádří stav napjatosti jako číslo z intervalu $-\infty$ až $+\infty$ .
2.5.6)	Takový diagram naleznete např. v animaci č. XX. Mezním stavem pružnosti je tam mez kluzu, mezním stavem pevnosti je okamžik lomu.
2.6.1)	Součet skutečných deformací je roven nule.
2.6.2)	Tváření oceli v litém stavu, vliv teplotní roztažnosti, vliv mřížkových poruch (nárůst hustoty dislokací).
2.6.3)	Po rekrytalizačním žhání, protože se vlivem statické rekrytalizace sníží hustota dislokací.
2.6.4)	N9, v oblasti 3 bude stav napjatosti N7
2.6.5)	Může. Vlivem přídatných tahových napětí, která vzniknou jako důsledek nerovnoměrné deformace.
2.6.6)	Je to vnitřní pnutí, které vznikne vlivem nerovnoměrné deformace.
2.6.7)	Vlivem tření mezi nástrojem a polotovarem. Díky tomuto tření se zvýší deformační odpor v oblastech sousedících s kontaktním povrchem. V této oblasti pak deformace prakticky neprobíhá, o to víc pak proběhne jinde.


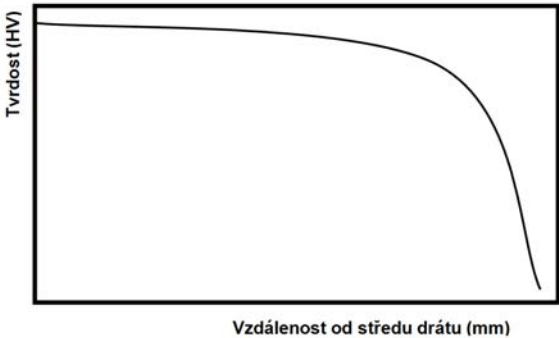
	<b>Kapitola 2</b>
2.6.8)	Při pěchování válečku se bude hmotný bod pohybovat kolmo na nejbližší volný povrch. Při pěchování hranolu, bude hmotný bod z kolmého směru vychylován tím více, čím více se blíží k úhlopříčce průřezu hranolu.
2.6.9)	Při zápustkovém kování vede zvýšení deformačního odporu ve výronku k žádoucí změně toku kovu a tím k úplnému vyplnění zápustek. Abychom při válcování plechů dosáhli požadované šířky, musíme bramu v průběhu válcování otočit o 90°. Vlastní šíření by bylo nedostatečné.
	<b>Kapitola 3</b>
3.1.1)	Zrno se protahuje ve směru hlavní deformace. Uvnitř zrna roste hustota dislokací. Dislokace si začínají překážet v pohybu.
3.1.2)	Hustota klesá vlivem růstu hustoty dislokací.
3.1.3)	Zkrátí se jejich volná dráha, dislokace se protínají a napětí nutné pro jejich další pohyb se zvyšuje.
3.1.4)	Když se setkají dislokace opačného znaménka a obě zaniknou (dvě poloroviny se spojí do jedné roviny).
3.1.5)	Protože první skluzové systémy se zablokují nejčastěji na hranicích zrna.
3.1.6)	Vysoká hodnota smykového napětí umožňuje příčný skluz šroubových dislokací. Díky velkému množství dislokací se více projevuje anihilace.
3.1.7)	Austenit, protože má méně skluzových systémů.
3.1.8)	Zvyšuje se pevnost i mez kluzu, zvyšuje se poměr meze kluzu k pevnosti. Snižuje se tažnost a kontrakce.
3.2.1)	Uzdravovacími procesy.
3.2.2)	Dynamická, metadynamická a statická rekrytalizace.
3.2.3)	Je rovnoosé s původní hustotou dislokací.
3.2.4)	Nízká teplota a malá rychlost deformace.
3.2.5)	Anihilací dislokací a vznikem polygonizované substruktury.
3.2.6)	Dosažení určité hodnoty deformace, které se říká kritická deformace pro vznik dynamické rekrytalizace.
3.2.7)	Nukleace zárodků a jejich růst.
3.2.8)	Díky nepřetržité nukleaci a omezenému růstu rekrytalizovaného zrna.
3.2.9)	Teplotně kompenzovaná rychlost deformace $Z = \dot{\epsilon} \cdot \exp(Q/RT)$
3.2.10)	S klesající hodnotou $Z$ se pík posouvá k nižším deformacím i napětím.
3.2.11)	Avramiho rovnice popisuje jak se mění podíl rekrytalizované struktury v čase při izotermickém žhání.

	<b>Kapitola 3</b>
3.2.12)	Na počátku vznikají zárodky, ale jejich celkový přínos na změkčení je malý, následuje růst zárodků, který se projeví intenzivním přírůstkem podílu uzdravené struktury, v poslední fázi již na sebe zárodky narážejí a vzájemně si brání v dalším růstu.
3.2.13)	$\ln 0,5 = -0,693$ ; (pokud za čas $t$ dosadíte $t_{0,5}$ , musí se $X = 0,5$ )
3.2.14)	S rostoucí velikostí zrna se čas pro uzdravení poloviny struktury zvětšuje kvadraticky. Je to dáno klesajícím množstvím hranic zrn a tím potenciálních míst pro zárodky.
3.2.15)	Pokud při předchozí deformaci bude velikost deformace ležet mezi kritickou deformací pro vznik DRX a deformací pro počátek ustáleného stavu.
3.2.16)	Ne, nelze snížit hustotu dislokací na původní hodnoty.
3.2.17)	Dojde ke zhrubnutí zrna.
3.3.1)	Příznivý, protože obnovuje plastické vlastnosti oceli a také způsobuje, že se potenciální trhlinky z hranic zrn dostanou dovnitř zrn (snižuje se tak nebezpečí křehkého interkrystalického lomu).
3.3.2)	Trhlině na hranici zrna stačí urazit kratší vzdálenost (na což potřebuje méně energie), aby dosáhla povrchu a způsobila lom polotovaru.
3.3.3)	Je to dáno tím, že hranice zrna je znečištěna prvky (či jejich tuhými roztoky) či vměstky s nižší teplotou tání.
3.3.4)	S rostoucí teplotou se exponenciálně zvětšuje velikost zrna.
3.3.5)	S rostoucí teplotou roste tvařitelnost, až do okamžiku natavení oceli. Růst není monotónní, ale rozlišujeme oblasti se zhoršenou tvařitelností: za modrého žáru díky deformačnímu stárnutí oceli, za červeného žáru díky přítomnosti dvoufázové struktury (ferit + austenit) a díky difúzi síry na hranice zrna a za bílého žáru díky natavení hranic zrn.
3.3.6)	Velikostí dílčí deformace a teplotou, méně často deformační rychlostí.
3.3.7)	Větší podíl tahových složek napětí při tváření výrazně zhoršuje tvařitelnost.
3.3.8)	Protože obvykle má jedná fáze menší deformační odpor, její zrna se více deformují a na rozhraní fází tak vznikají tahová vnitřní pnutí. Příkladem dvoufázové struktury je ferit + austenit, sekundární cementit + austenit, perlit.
3.3.9)	Vměstky jsou sulfidy, oxidy a jejich směsi. Mají malou soudržnost se základní maticí, odlišné mechanické vlastnosti, mohou působit jako koncentrátoři napětí a iniciují vznik trhlin. Lehkotající vměstky na hranicích zrn způsobují křehkost za bílého žáru.
3.3.10)	Index tvařitelnosti vměstku vyjadřuje poměr deformace vměstku a matrice.
3.3.11)	Protože licí struktura je hrubozrnnější, kolumární krystaly jsou nepříznivě orientované, vykazuje chemickou a strukturní nehomogenitu, jsou zde přítomna vnitřní pnutí a licí vady.
3.3.12)	Z hlediska ovlivňování strukturního stavu a teplot fázových transformací, z hlediska rozpustnosti, afinitě ke kyslíku, ovlivnění kinetiky uzdravovacích procesů, zpevňování tuhého roztoku a vlivu na technologii ohřevu.
3.3.13)	Rozpuštěné v tuhém roztoku, nebo v podobě precipitátů.
3.3.14)	Rozšiřuje oblasti feritu a $\delta$ -feritu, tak, že se při určité koncentraci tyto oblasti spojí a dostáváme tak jednofázovou feritickou ocel v celém rozsahu teplot.

	<b>Kapitola 3</b>
3.3.15)	Ovlivňuje strukturní stav (např. vznik perlitu) a tvoří karbidy, ovlivňuje teplotu solidu a zpevňuje tuhý roztok.
3.3.16)	Síra způsobuje lámavost za červeného a bílého žáru. Její vliv lze omezit legováním Mn, dokonalou dezoxidací a vyvázáním síry na sulfidy s vysokou teplotou tání.
3.3.17)	Ovládání výrobních podmínek (teplota, deformace, deformační rychlost, chemické složení (mikrolegované oceli)) s cílem dosažení jemnozrnné struktury.
3.3.18)	Vyvoláním dynamické rekystalizace v posledním úběru a následným zrychleným ochlazením, nebo doválcováním bez rekystalizace, nakumulováním deformace v austenitu a následným zjemněním zrna při překrytalizaci. Mikrolegury po vyprecipitování zpomalují kinetiku rekystalizace.
	<b>Kapitola 4</b>
4.2.1)	Nízký deformační odpor a vysoká tvařitelnost za vysokých teplot, ale rostou projevy negativních jevů doprovázejících ohřev (opal, oduhličení, přehřátí a spálení).
4.2.2)	S rostoucím obsahem uhlíku klesá teplota solidu a tím i horní tvářecí teplota.
4.2.3)	Zvlášť u nadeutektoidních ocelí se s rostoucím obsahem uhlíku interval tvářecích teplot razantně snižuje.
4.2.4)	Volíme ji tak, abychom se vyhnuli dvoufázové oblasti, u nadeutektoidních ocelí to kvůli úzkému intervalu tvářecích teplot nejde, proto doválcujeme nad teplotou $A_1$ (pokud nám to deformační odpor oceli dovolí, jinak musíme doválcovat při vyšší teplotě).
4.2.5)	Po tvářeni proběhne statická rekystalizace. Staticky rekystalizované zrna je náchylné k růstu (obzvlášť za zvýšených teplot).
4.2.6)	U podeutektoidní oceli se nacházíme v oblasti austenitu, u nadeutektoidní oceli se nacházíme v oblasti austenit + cementit (sekundární).
4.2.7)	Austenit + sekundární cementit, což výrazně zhoršuje tvařitelnost, zvlášť je-li cementit vyloučen po hranici austenitického zrna.
4.2.8)	Zrychleným ochlazováním k teplotám okolo 600 °C.
4.2.9)	Velikost kolonie, mezilamelární vzdálenost a objemový podíl cementitu.
4.2.10)	Kvůli nižším nákladům (při normalizačním žihání je potřeba polotovaru znovu ohřát nad teplotu $A_3$ nebo $A_m$ ).
4.2.11)	Ke zviditelnění mikrostruktury dojde díky naleptání, snadněji se v tomto případě leptá ferit, vytvoří tak prohlubně, které jsou ve stínu cementitu.
4.3.1)	Vedením, prouděním a zářením. Uvnitř materiálu se uplatňuje jen vedení tepla, směrem do okolí pak nejvýznamněji záření, proudění a nejméně vedení.
4.3.2)	Teplu vzniklé fázovou transformací, deformační teplo, teplo vzniklé při průchodu elektrického proudu.
4.3.3)	Je to množství tepla v Joulech, které se za 1 sekundu přenese materiálem na vzdálenost 1 metr, je-li mezi těmito místy teplotní gradient 1 Kelvin. $J \cdot s^{-1} \cdot m^{-1} \cdot K^{-1} = W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$
4.3.4)	Na chemickém složení, na typu fázi, na teplotě a na zbytkové deformaci.
4.3.5)	Větší součinitel tepelné vodivosti znamená menší teplotní gradient mezi povrchem a středem polotovaru a díky tomu lze ohřev urychlit (tj. zkrátit dobu ohřevu).
4.3.6)	Je to množství tepla v Joulech, které je potřeba dodat materiálu o hmotnosti 1 kg, aby se ohřál o 1 Kelvin. $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$

	<b>Kapitola 4</b>
4.3.7)	Jak měrná tepelná kapacita ovlivňuje ohřev kovů? Pokud ohříváme materiál s vyšší měrnou tepelnou kapacitou, potřebujeme mu dodat více energie. Na to budeme ve stejné peci potřebovat více času, doba ohřevu se zvýší.
4.3.8)	$\rho = m/V$
4.3.9)	Materiály o vyšší hustotě mají při stejném objemu vyšší hmotnost a proti je jim pro ohřev potřeba dodat více energie. Na to budeme ve stejné peci potřebovat více času, doba ohřevu se zvýší.
4.3.10)	Teplotní roztažnost je jev, při kterém se po dodání či odebrání tepla tělesu (po zahřátí či ochlazení tělesa o určitou teplotu), změní délka (objem) tělesa.
4.3.11)	Teplotní roztažnost v kombinaci s teplotním gradientem mezi povrchem a středem součásti způsobují vnitřní pnutí. Na základě toho pro každý materiál definujeme maximální přípustný teplotní rozdíl a řídíme ohřev (ochlazení) tak, aby vnitřní pnutí nepřekročila určitou mez.
4.3.12)	Teplotní roztažnost v kombinaci s teplotním gradientem mezi povrchem a středem součásti.
4.3.13)	Čím nižší tepelná vodivost a vyšší tepelná roztažnost, tím vyšší vnitřní pnutí.
4.3.14)	Protože mají nízkou tepelnou vodivost.
4.3.15)	Na základě Biotova kritéria, což je poměr součinitele přestupu tepla a součinitele teplotní vodivosti, vynásobený charakteristickým rozměrem tělesa. Pokud je tato hodnota menší než 0,5 (0,25) pak se jedná o tenké těleso.
4.3.16)	Závisí na tvaru tělesa, jeho rozměrech, dále na součiniteli teplotní vodivosti a maximálním přípustném teplotním gradientu. $K \cdot h^{-1} (K \cdot s^{-1})$
4.3.17)	Čím těsnější uspořádání polotovaru v peci, tím pomalejší ohřev. Rychleji se ohřívají polotovary položené na lyžinách než položené na dně pece.
4.3.18)	Jaké znáte způsoby ohřevu? Normální, pomalý, zrychlený, rychlý a stupňovitý.
4.3.19)	
4.3.20)	Ohříváte-li tepelně tenké těleso.
4.4.1)	Okuje jsou oxidy železa a vznikají za zvýšených teplot (při ohřevu (primární okuje) a při ochlazení (sekundární okuje)).
4.4.2)	Vyšší teplota, oxidační atmosféra v peci a průběžné odpadávání okuj z povrch (např. ve strkací peci).
4.4.3)	Okuje zvyšují tření, díky tomu v polotovaru vznikají tahová vnitřní pnutí, což zhoršuje technologickou tvařitelnost. Okuje mohou být zaválcovány do povrchu a tím zhoršit jeho kvalit. Okuje zvyšují opotřebení válců. Je potřeba zařadit před tvářením odokujování.



 <b>Kapitola 4</b>	
4.4.4)	Změnou mikrostruktury v blízkost volného povrchu polotovaru.
4.4.5)	V povrchových oblastech polotovaru bude místo čistě perlitické struktury, struktura tvořená perlitem s feritickým síťovím, případně čistým feritem.
4.4.6)	 <p style="text-align: center;">Vzdálenost od středu drátu (mm)</p>
4.4.7)	Dochází ke zhrubnutí zrna a difúzi nečistot na hranice zrna.
4.4.8)	Jak souvisí velikost zrna s tvařitelností? Velké zrno a obzvláště hrubé zrno zhoršuje tvařitelnost.
4.4.9)	Vyvoláním rekystalizace po nebo během tvářeni v podmínkách příznivé tlakové napjatosti, nebo normalizačním žháním.
4.4.10)	Hranice jsou tvořeny dislokacemi, které vždy doprovází vakance, tyto vakance pak přitahují nečistoty. Přítomnost nečistot vede ke snížení kohezni pevnosti hranic zrn a za vyšších teplot k jejich natavení.
4.4.11)	Natavení hranic zrn a rozpadnutí oceli. Pokud je hranice zrna znečištěna příměsemi dojde k jejímu natavení za teplot nižších než je teplota solidu dané oceli.
4.4.12)	Všechny negativní průvodní jevy ohřevu jsou řízeny difúzí. K difúzi potřebujete vysoké teploty a čas. Při rychloohřevu je však materiál vystaven vysokým teplotám jen velmi krátkou dobu.
4.5.1)	Plynový ohřev (ekonomický, nemožnost použít ochrannou atmosféru), elektrický nepřímý (vyšší cena než plynový, nižší účinnost než přímý elektrický, možnost použít ochrannou atmosféru), přímý elektrický (nižší cena než nepřímý elektrický, vhodné jen pro určité typy polotovarů (dráty)).
4.5.2)	Při přímém elektrickém ohřevu protéká proud přímo polotovarem, při nepřímém protéká proud topnými spirálami, které předávají teplo polotovaru zářením, prouděním a vedením.
4.5.3)	Vyrábějí se z materiálů s vyšším měrným elektrickým odporem a s vyšší odolností proti tečení. Spirála je dlouhá a má malý průřez, což zvyšuje její elektrický odpor.
4.5.4)	Polotovary s velkou délkou a malým průřezem (odporový ohřev), polotovary pro zápuskové kování (indukční ohřev). Účinnost by měla být co nejvyšší, alespoň 80 %.
4.5.5)	Polotovar je vložen do magnetického pole cívky, které v něm indukuje vířivé proudy, díky těmto proudům se polotovar ohřeje.
4.5.6)	Ohřev tenkých polotovarů v peci, jejíž nístěj je jen o něco větší než průřez polotovaru, pomocí hořáků přivádějících horké plyny bezprostředně k povrchu polotovaru.
4.5.7)	Pokud chceme zajistit lesklý kvalitní povrch bez okují.
4.6.1)	Peci ve válcovnách a kovárnách.
4.6.2)	Hlubinné peci jsou umístěny pod úrovní podlahy a používají se pro ohřev ingotů a velkých plynule litých polotovarů ve válcovnách.



## Kapitola 4

4.6.3)	Nízké pořizovací náklady, ale pomalejší ohřev, odpadávání okují, nemožnost vyprázdnit pec při poruše na trati.
4.6.4)	Pomocí tlačky je pohyb přenášen z jednoho polotovaru na druhý.
4.6.5)	Strkací, krokové, pokulovací a s otočnou nístějí. Tedy pece, kde na jedné straně sázíme polotovary a na druhé je vytahujeme z pece ven.
4.6.6)	Aby bylo možno používat stupňovitý ohřev, nebo ohřívát najednou oceli různých jakostí.
4.6.7)	Vyšší pořizovací náklady, ohřev je rychlejší a ohleduplnější k polotovaru. Pec lze v případě poruchy na trati vyprázdnit.
4.6.8)	Polotovar kruhového průřezu je pomocí bidel pokulovači pokulován po jednotlivých stupních pece směrem dolů.
4.6.9)	Pec s otočnou nístějí.
4.6.10)	Komorové pece s vodorovnou či výjezdnou nístějí.




## Kapitola 5



5.1.1)	Je to oblast, ve které dochází k plastické deformaci polotovaru mezi válci.
5.1.2)	Teoreticky 0 (žádné tření) až 1 (pevné spojení).
5.1.3)	1. Zmenšení absolutního úběru, 2. snížení rychlosti válcování což vede ke zvýšení tření, 3. použití síly k natlačení polotovaru do válců, 4. úprava (zkosení) čela polotovaru, 5. zvětšení poloměru válců, zdrsnění válců.
5.1.4)	Je to přímka procházející středem kružnice.
5.1.5)	Je to rovina, ve které je rychlost provalku stejná jako rychlost válců ve směru válcování.
5.1.6)	N7
5.1.7)	Na výstupní rovině.
5.2.1)	Podle druhu vývalku a průměru pracovních válců, podle konstrukce stolice a počtu válců ve stolici, podle způsobu otáčení válců a podle uspořádání stolic.
5.2.2)	Pracovní válce umístěny vodorovně, svisle a šikmo, universální (horizontální-vertikální) stolice.
5.2.3)	Duo, Trio, Lauthovo trio, Kvarto, Sexto, dvanácti a dvacetiválcová stolice.
5.2.4)	Jednoduchost konstrukce.
5.2.5)	Možnost vratného válcování bez nutnosti měnit směr otáček válců.
5.2.6)	Pro válcování plechů. Viz <b>obr. 5.11.</b> , kruciálním rysem jeto, že prostřední válce má menší poloměr.
5.2.7)	Výhodou kvarto stolic oproti stolicím duo je možnost použití pracovních válců s menším průměrem, což vede díky kratšímu pásmu deformace k menší stykové ploše a potažmo k menším válcovacím silám, při dostatečné tuhosti válců.
5.2.8)	6, 7, 12 a 20 válců, používají se pro válcování pásů za studena.



## Kapitola 5

5.2.9)	Stolice s horizontálním i vertikálním párem válců, používají se při válcování širokopřírubových H nosníků, ale v poslední době se používají i pro jiné profily (kolejnice).
5.2.10)	Jsou to tramvajové kolejnice, které se používají v křižovatkách a na přejezdech.
5.2.11)	Otáčení válců jedním směrem znamená jednodušší konstrukci pohonu, možnost využití setrvačnicku. Při vratném válcování nepotřebujeme více stolic.
5.2.12)	Viz. <b>Obr. 5.19</b> .
5.2.13)	Více stolic je poháněno jedním motorem, stolice jsou umístěny v jedné ose vedle sebe, provalek je mezi stolicemi přesunován buď příčným vlečením, nebo u spojitých tratí pomocí vodítek.
5.2.14)	Při válcování na spojitých tratích se na rozdíl od průběžných tratí nachází provalek nejméně ve dvou stolicích najednou.
5.2.15)	Termín se nepřekládá, doslovně původně znamená dostih podobného typu jako Velká Pardubická.
5.2.16)	Více stolic v řadě za sebou, používá se k válcování pásů a drátů.
5.2.17)	Blokovny a slabingy, sochorové tratě, těžké, hrubé, střední a jemné tratě, kontidrátové tratě, tratě pro válcování plechů a pásů, planetové, univerzální, pro válcování bezešvých trubek.
5.2.18)	K válcování bloků z ingotů nebo plynule litych bloků.
5.2.19)	Blok má spíše čtvercový (někdy kruhový) průřez, brama spíše obdélníkový průřez. Sochor má menší průřez než blok.
5.2.20)	Mají 3 až 5 skříňových kalibrů a hladkou (nekalibrovanou) část, jsou ocelové (kované).
5.2.21)	K válcování bram z ingotů, dnes se již nepoužívá.
5.2.22)	Navazují přímo na blokovnu, mají spojitě uspořádaní se střídavým uspořádáním vodorovných a svislých válců. Automatická regulace rychlosti válcování, vyšší rozměrová přesnost sochorů, automatická detekce a odstraňování povrchových vad a zrychlené ochlazování po válcování.
5.2.23)	Jednoduchého tvaru (tyče): kruhové, čtvercové, ploché, ... složitější tvaru (profily): I, U, úhelníky, T, kolejnice, ..., pro zvláštní účely (tyče na autokola, betonářská ocel, atd.
5.2.24)	Kolejnice, štetovnice, pražce, úhelníky, širokopřírubové nosníky.
5.2.25)	Různé stavební konstrukce, díky o 15 % nižší metrové hmotnosti, při jinak shodných užitných vlastnostech.
5.2.26)	Kolejnice je symetrická jen podle jedné roviny. Hlava musí být otěruvzdorná, tedy tvrdá a pevná, naopak stojina a pata musí být pružné. Na její tvar a přímost pojezdové hrany, stejně jako na její vnitřní jakost jsou kladeny ty nejvyšší požadavky.
5.2.27)	Kroková pec, odokujování, přípravné, (předalecí) a střední pořadí, smyčka, (CL stolice), hotovní blok, (FRS blok), zrychlené ochlazování vodou a řízené ochlazování vzduchem, svítkovací komora.
5.2.28)	Duo stolice, horizontální-vertikální nebo zkrucování drátu. Nejprve skříňové kalibry a pak kalibrační řady kosočtverec-čtverec a čtverec-ovál.
5.2.29)	Pevně spřažené stoličky, poháněné jedním motorem s kotouči o malém průměru z WC místo válců.

	<b>Kapitola 5</b>
5.2.30)	Řízení rychlosti ochlazování po doválcování s cílem dosáhnou jemnozrnný ferit, či jemně lamelární perlit. To vede ke snížení množství sekundárních okují a k lepší tvařitelnosti za studena.
5.2.31)	Popište základní funkční části jednotlivých systémů. Dvoustupňové chlazení nejdříve vodou a pak vzduchem, rozeznáváme následující systémy: Demag, Kobe, Ed, EDC, Stelmor. Demag – vznik popuštěného martenzitu, Kobe – dochlazení ve vodě, ED – navíjení do svitku ve vodní lázni, EDC – drát rozložen do závitů na šikmém dopravníku, částečně ve vodní lázni. Stelmor – šikmý válečkový dopravník, ochlazování díky ventilátorům, možnost zpomalit ochlazování uzavřením poklopů.
5.2.32)	Ploché vývalky s tloušťkou nad 3 mm a šířce od 1 do 5,5 m.
5.2.33)	Tratě s jednou stolicí (duo, trio častěji kvarto), tratě se dvěma stolicemi( duo, trio častěji kvarto + kvarto) (vyšší výrobnost, lepší jakost plechu).
5.2.34)	Tuhost stolice ovlivňuje rovnoměrnost tloušťky po délce a hlavně po šířce plechu.
5.2.35)	Ve světě 5,5 m v ČR (Vítkovice Kvarto 3,5) 3,5 m.
5.2.36)	Jednostolicové = nižší náklady, dvoustolicové = lepší jakost plechů a vyšší výrobnost.
5.2.37)	Ostřík tlakovou vodou (párou), lamač okují (duo stolice), průchod přes řetězový závěs či závěs z vrbového proti apod.
5.2.38)	Velký kontaktní povrch při válcování => velké síly, rychlejší ochlazování, zanedbatelné šíření.
5.2.39)	Brama – válcování ve směru šířky – otočení o 90° - válcování ve směru délky (viz. varianta 4 z obr. 5.40.)
5.2.40)	Spojitě a polospojitě na jedné straně a Steckelova či planetová stolice na druhé straně.
5.2.41)	2,2 m
5.2.42)	Pec – odokujovač – (předválcovací pořadí s vertikálními válci) – letmé nůžky, odokujovač – Steckelova stolice s pecními navíječkami na každé straně – laminární vodní ochlazování - navíječky. Výhody: nižší pořizovací náklady, možnost válcovat v přesném teplotním režimu. Nevýhody: nižší výrobnost, větší opal a menší povrchová jakost.
5.2.43)	Tradiční trať má předválcování průběžné pořadí a pak následuje (někdy oddělené coilboxem) hotovní pořadí. Moderní válcovna pásů navazuje bezprostředně (někdy se zařazením pece pro vyrovnání teplot) na zařízení na plynulé lité.
5.2.45)	Ocelárna- kontilití (dvoužilové) – pece – 7 stolicová válcovací trať, vodní chlazení – navíječky.
5.2.46)	Zajišťuje válcování s mírným tahem, brání přeložení nebo přetržení vývalku. Reguluje odchylky průřezu pásy rychleji než pohon válcovací stolice.
5.2.47)	0,8 mm
5.2.48)	Speciální stolice s malými válci umístěnými kolem opěrného válce, což umožňuje deformace až 95 % jedním úběrem. Vzhledem ke smyslu otáčení válečků stolice nemůže sama zabrat materiál, potřebuje pár zaváděcích válců.
5.2.49)	Pec- odokujovač – předválcovací pořadí – střední pořadí (univerzální stolice + pýchovací stolice) – hotovní univerzální pořadí – chladník - rovnání
5.2.50)	Mannesmanův a Stiefelův způsob.

 <b>Kapitola 5</b>	
5.2.51)	Děrování kosým válcováním – poutnická stolice (rozválcování tlustostěnné trubky)
5.2.52)	Vlivem nepříznivé tahové napjatosti dojde ke vzniku trhliny, která je dále rozšiřována trnem.
5.2.53)	Poutnické válce mají speciální periodický kalibr – otáčejí se proti provalku – v okamžiku, kdy jsou v rovině vstupu prázdné části kalibru podá se provalek o určitou část dopředu – pak následuje záběr, proválcování a vrácení trubky – postup se opakuje s hraněním o 90°.
5.2.54)	Děrování kosým válcováním – podélné válcování na automatiku – příčné válcování na hladicí stolici – podélné válcování v kalibrovací stolici.
5.2.55)	Podélné válcování na trnu na dvouválcové stolici s kruhovými kalibry na pracovních válcích – vratné válce zajistí zpětný pohyb provalku (před tím se sundá trn) – po každém průchodu se trubka otočí o 90°
5.2.56)	Rozválcování výronků, které vznikly při válcování na automatiku
 <b>Kapitola 6</b>	
6.1)	Třinec VH – těžká trať (kolejnice), Vítkovice Steel, a.s. – těžká profilová trať.
6.2)	Trať v Dobré má jen jednu stolici.
6.3)	Dvě horizontální stolice v tandemu, mezi nimi jedna vertikální stolic, na obou stranách stolice pecní navíječky.
6.4)	Neplatí, mezi stolicemi vznikají smyčky (viz. příslušné video na CD).
6.5)	Viz. příslušné video na CD.
6.6)	Šířkou těla válců a maximální metrovou hmotností provalku.
6.7)	Středojemná válcovna ArcelorMittal Ostrava, Kontijemná trať (válcovna C) TŽ, a.s.
6.8)	Kvarto 3,5
6.9)	Navštivte internetové stránky: <a href="http://www.evrazvitkovicesteel.com/stranky/plechy">http://www.evrazvitkovicesteel.com/stranky/plechy</a>
6.10)	Steckel, Kvarto 3,5
6.11)	Prostudujte si kapitulu 6 a udělejte si statistiku.
6.12)	Ostřík tlakovou vodou.
6.13)	Kontidráťová trať (válcovna D) TŽ, a.s.
6.14)	Prostudujte si kapitulu 6 a udělejte si statistiku.
6.15)	V TŽ, a.s. na VH trati a na Kladně, ve Vítkovicích Steel, a.s na těžké profilové trati (5. stolice)



## Kapitola 7

7.1.1)	Přibližně 5 %.
7.1.2)	Od několika desítek gramů (drobné strojní součásti) až po 600 t (volně kované rotory turbín).
7.1.3)	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.
7.1.4)	Na základě cenové kalkulace, která počítá s cenou zápustek a její návratností podle objemu výroby.
7.2.1)	Ingoty, plynule lité předlitky, válcované tyče, tažené tyče.
7.2.2)	600 t
7.2.3)	Kvůli zvýšení měrného povrchu a tím zvýšení rychlosti ochlazování.
7.2.4)	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.
7.2.5)	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).
7.2.6)	Proč sloupcovité dendrity rostou kolmo na stěnu kokily? Rostou ve směru největšího teplotního spádu při tuhnutí.
7.2.7)	V hlavě ingotu, jedná se o staženinu.
7.2.8)	Také se označuje jako pásmová segregace, kdy se v jednotlivých pásmech liší chemické složení ingotu.
7.2.9)	Také se označuje jako dendritická segregace, kdy se chemické složení liší v rámci jednoho dendritu.
7.2.10)	Čím větší ingot, tím pomalejší tuhnutí, tím výraznější segregace.
7.3.1)	Protahováním dendritů, vměstků a produktů likvace ve směru hlavní deformace.
7.3.2)	Vláknitost odstranit nelze, lze ji jen dalším kovááním vhodně usměrnit.
7.3.3)	Prodlužování.
7.3.4)	Hustota se kovááním zvyšuje díky zavařování vnitřních dutin (z cca 6 900 kg.m <sup>-3</sup> na 7 850 kg.m <sup>-3</sup> ).
7.3.5)	Velikostí zrna a podílem fází.
7.3.6)	Je to hraniční teplota, nad touto teplotou může v materiálu docházet k rekrystalizaci, pod touto teplotou nikoli.
7.3.7)	Opakovanou dynamickou či statickou rekrystalizací a po dokování následnou překrystalizací.
7.3.8)	Jaký vliv má stupeň prokováání na mechanické vlastnosti oceli? Plastické vlastnosti rostou až do stupně prokováání = 3, pevnostní vlastnosti se nemění.
7.3.9)	Rozdíl v plastických vlastnostech v příčném (nemění se) a podélném (zhoršují se) směru.



## Kapitola 7

7.4.1)	Objem výroby: hromadná vs. kusová výroba, stupeň volnosti kovu: tok omezen stěnami zápusky vs. neomezený tok, historie: 100 let vs. 3 000 let, tvar výkovku: velmi složitý vs. jednoduchý, povrch výkovku: bezvadný vs. nerovný, zokujený, atd.
7.4.2)	Protože má tok částecek kovu výrazně turbulentní charakter.
7.4.3)	Kováním se rozrušuje nevhodná lici struktura, ve srovnání s obráběním také dochází k značné úspoře kovu při vysoké výrobnosti.
7.4.4)	Nevýhody: nízká výrobnost, značné materiálové přídavky, omezená tvarová složitost výkovku, značné ztráty kovu (např. opalem), potřeba vysoce kvalifikovaných pracovníků.
7.4.5)	Drobné a střední výkovky – pneumatické a parovzdušné buchary, velké výkovky – hydraulické lisy.
7.4.6)	Zmenšení výšky a zvětšení průřezu výkovku.
7.4.7)	Soudkovitost je projevem nerovnoměrné deformace, jako důsledek tření mezi kovadly a polotovarem.
7.4.8)	Oblast s nepříznivým stavem napjatosti (N7) po obvodu soudku.
7.4.9)	Aby byla zajištěna jejich rovnoběžnost a předešlo se tak jejich ohnutí.
7.4.10)	Je to poměr výšky a průměru výkovku.
7.4.11)	Viz. <b>Obr. 7.15.</b>
7.4.12)	V situaci na <b>obr. 7.15. c</b> je v kontaktu s nástrojem celá horní část polotovaru, v situaci na <b>obr. 7.16. 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).
7.4.13)	Pěchování, protože je silovým účinkům nástroje vystaven celý objem tělesa, zatímco při prodlužování se deformace odehrává v omezené oblasti – v pásmu deformace.
7.4.14)	Prodlužování, protože se skládá z velkého počtu úběrů (záběrů), seřazených do jednotlivých průchodů.
7.4.15)	Je to délka oblasti, která je vystavena silovým účinkům nástroje, měla by se pohybovat mezi 1/2 a 2/3 šířky kovadla.
7.4.16)	Tvarem kovadla a velikostí úběru.
7.4.17)	Při kování výkovku čtvercového průřezu, srovnej šrafované oblasti na <b>obr. 7.20. a) a b).</b>
7.4.18)	Průměr díry musí být menší než 1/3 průměru výkovku.
7.4.19)	Průměr díry musí být větší než 0,4 násobek výšky výkovku.
7.4.20)	Děrování plným trnem, děrování tenkých výkovků a děrování dutým trnem. Postupně se snižuje energetická náročnost procesu, ale roste množství odpadu.
7.4.21)	Je to zvláštní případ prodlužování jen konců výkovku.
7.4.22)	Je to zvláštní případ prodlužování jen středových částí výkovku.
7.4.23)	Příčné přemístění vymezeného objemu výkovku, přičemž podélná osa přesazené části je rovnoběžná s osou výkovku (např. při kování zdvihů klikové hřídele).



## Kapitola 7

7.4.24)	Háky, kotvy, třmeny, táhla, páky apod.
7.4.25)	Vykování manipulačního čepu na ingotu – pēchování na polovinu výšky – prodlužování na původní délku (tento postup se opakuje, dokud není dosaženo požadovaného stupně prodloužení) – prodlužování na konečnou délku hřidele – osazování, prosazování a přesazování – (zkrucování zdvihů) – odseknutí manipulačního čepu.
7.5.1)	Rozvoj hromadné výroby např. automobilů.
7.5.2)	K výrobě tvarově členitých výkovků ve velkých sériích.
7.5.3)	Vyšší výrobnost, složitější tvary, hospodárnější využití kovu, nižší nároky na kováře.
7.5.4)	Vyšší výrobnost, složitější tvary, hospodárnější využití kovu, nižší nároky na kováře.
7.5.5)	Hmotnostní a rozměrové omezení, energetická náročnost a potřeba jednoúčelového drahého nástroje.
7.5.6)	Díly pro automobily a dopravní techniku, výkovky pro železniční podvozky, součásti důlních zařízení, výkovky pro strojírenství, lopatky parních turbín, ruční nářadí a nástroje, atd.
7.5.7)	Otěruvzdornost, odolnost proti tepelným pnutím, odolnost proti rázům.
7.5.8)	Válcované nebo tažené tyče, předkovky vyrobené volným kovááním, kovááním na kovacích válcích, periodickým válcováním nebo zápustkovým kovááním v přípravných dutinách.
7.5.9)	Uzavřené a otevřené (s výronkovou drážkou).
7.5.10)	Výronek je část materiálu, která se dostala mimo hlavní dutinu zápustky do výronkové drážky.
7.5.11)	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.
7.5.12)	Může za to relativně velká plocha a malá výška výronku, která má na svědomí zvýšení vnitřního tření.
7.6.1)	Buchary a lisy.
7.6.2)	Viz. <b>Obr. 7.41.</b> , povšimněte si oblastí náběhu a dojezdu hydraulického lisu.
7.6.3)	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.
7.6.4)	Na hmotnosti a rychlosti beranu. Energií je lepší zvyšovat zvýšením hmotnosti, protože zvýšení rychlosti beranu by vedlo ke zvýšení deformační rychlosti a zvýšení deformačního odporu.
7.6.5)	Pružinový, pneumatický a parovzdušný buchar.
7.6.6)	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 $F_2/F_1 = S_2/S_1$ .
7.6.7)	Co řadíme mezi pomocná zařízení pro kováárny? Kovadla a zařízení usnadňující manipulaci s polotovarem.



**Kapitola 7**

7.6.8)	Rovná, oblá, sdružená, tvarová, kombinovaná.
7.6.10)	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.
7.6.11)	Kovací soubor se skládá z lisu, manipulátorů, otočného zvedacího stolu a pýchovacího stolu.
7.7.1)	123 t
7.7.2)	Hydraulické lisy 60 a 120 MN, rychlokovací stroj, válcovačka obručí.
7.7.3)	Součásti důlních strojů.
7.7.4)	0,2 až 30 kg.
7.7.5)	LKM 630, LZK 100P, 2500, 2500P, 4000 a kalibrační
7.7.6)	Hydraulické lisy 33 a 105 MN
7.7.7)	80 t
7.7.8)	ŠKODA Plzeň
7.7.9)	Vítkovice Heavy Machinery
7.7.10)	Asociace kováren ČR
7.7.11)	Poldi Hütte a Vítkovice
7.7.12)	Czech Precision Forge, Plzeň

**Kapitola 8**

8.1.1)	Vznik oxidů železa na povrchu oceli elektrochemickým procesem, za přítomnosti kapek vody, jako elektrického článku.
8.1.2)	Rez jsou hydratované oxidy železa, okuje jsou oxidy železa vzniklé difúzí za vysokých teplot.
8.1.3)	Wüstit, magnetit a hematit.
8.1.4)	Primární okuje vznikají při ohřevu, sekundární při ochlazování. Primární okuje se odstraňují mechanicky, nejčastěji ostřikem tlakovou vodou.
8.1.5)	Oba typy okují způsobují zvýšení tření a tím zhoršení tvařitelnosti, způsobují větší opotřebení nástrojů a mohou vést k povrchovým vadám. Primární působí problémy při tváření za tepla, sekundární pak při následném tváření za studena.
8.1.6)	Jak bude probíhat moření pokud je povrch oceli pokryt všemi vrstvami okují? Magnetit a hematit se těžko rozpouštějí v kyselinách, naštěstí je okujová vrstva porézní, kyselina pronikne k wüstitu, ten rozpustí, podleptá tak svrchní vrstvy, které odpadnou.
8.1.7)	Moření urychlíme mechanickým rozrušením vrchní vrstvy okují (např. ultrazvukem, prouděním kyseliny, apod.).
8.1.8)	Teplota zvyšuje množství okují exponenciálně, doba výdrže pak podle mocninné závislosti.



## Kapitola 8

8.1.9)	Zrychleným ochlazením z doválcovací teploty.
8.1.10)	Podstatou moření je rozpouštění oxidů železe v kyselině chlorovodíkové nebo sírové, naopak mechanické odokujování využívá toho, že jsou okuje křehké a špatně drží na povrchu polotovaru.
8.1.11)	Při reakci kyseliny se základním kovem (železem).
8.1.12)	Vodík mechanicky narušuje nenaleptané okuje, ale pokud nadifunduje do oceli, způsobí vodíkovou křehkost.
8.1.13)	Volbou vhodné koncentrace kyseliny a aplikací inhibitorů.
8.1.14)	Kyselina chlorovodíková leptá okuje rychleji, částečně rozpouští i vyšší oxidy, méně rozpouští železo, lze ji však koupit jenom v koncentraci cca 36 %.
8.1.15)	Nosič maziva zajistí lepší náběh maziva před tvářením a zabrání jeho vytlačování z pásma deformace během tvářením.
8.1.16)	Moření ve svitku, moření rozvinutých závitů svitku, moření v žíle.
8.1.17)	Na špatné přilnavosti okují k povrchu a na jejich křehkosti.
8.1.18)	Metací kolo působením odstředivé síly vystřeluje abrazivo proti zokuzenému povrchu.
8.1.19)	Kartáčováním
8.2.1)	Abychom získali pásy menších tloušťek než 0,8 mm, s vyšší rozměrovou přesností, s lesklým povrchem a deformačně zpevněné.
8.2.2)	Odstranění okují (obvykle mořením).
8.2.3)	Zpevňováním materiálu a vyčerpáním jeho plasticity, pro další deformaci je potřeba zařadit do procesu výroby rekrystalizační žíhání.
8.2.4)	Pod 2 mm, běžné minimum pak 0,1 až 0,5 mm. Na víceválcových stolicích pak i setiny mm.
8.2.5)	2 m
8.2.6)	Ve svitcích a tabulích.
8.2.7)	Jaká jsou omezení duo stolice při válcování za studena? Díky průhybu válců je válcování na duo stolicích omezeno na tloušťku do 0,5 mm a šířky do 400 mm.
8.2.8)	Větší tuhost stolice, menší válcovací síly, díky menším pracovním válcům.
8.2.9)	Delší pásmo deformace, větší styková plocha.
8.2.10)	Zajišťují, aby se válcovací síla přenášela na pracovní válce jen v šířce pásu, což usnadní jejich hydraulický protiohyb.
8.2.11)	50 až 150 mm.
8.2.12)	Elektrohydraulické stavění válců, regulace tloušťky a příčného profilu, regulace rychlosti válců, regulace tahu pásu, přívod chladících a mazacích kapalin, zavádění pásu, výměna válců, registrace sil a momentů.
8.3.1)	Patentované, nepatentované a dráty z legovaných ocelí.



## Kapitola 8

8.3.2)	Speciální způsob tepelného zpracování drátu s perlitickou strukturou, kdy po austenitizaci rychle ochladíme na teplotu okolo 600 °C (nejčastěji v olovu) a následně na této teplotě vydržíme, dokud neproběhne úplná transformace austenitu na perlit.
8.3.3)	Jemně lamelární perlit.
8.3.4)	K vyvolání rekystalizace a uzdravení mikrostruktury (rekystalizační žíhání).
8.3.5)	Pokovováním, nejčastěji žárovým zinkováním. Kvůli dynamickému namáhání musí být povrch drátu bez vad s minimálním oduhlíčením, Požaduje se zvýšená mikročistota, bez nedeformovatelných vměstků a snížený rozptyl mechanických vlastností.
8.3.6)	Kvůli dynamickému namáhání musí být povrch drátu bez vad s minimálním oduhlíčením, Požaduje se zvýšená mikročistota, bez nedeformovatelných vměstků a snížený rozptyl mechanických vlastností.
8.3.7)	Předpjaté ocelové výztuže, často vybavené žebírky pro lepší přilnavost, se zalijí betonem. Po odstranění zatížení se výztuže zkrátí, čímž zvýší pevnost v tahu betonu.
8.3.8)	Je to lanko tvořeno 2 až 7 dráty o průměru 0,15 až 0,35 mm s pevností v tahu až 3 000 MPa, které slouží jako výztuž pneumatik, nebo tlakových hadic. Pro lepší přilnavost s pryží jsou pomosazené.
8.3.9)	$S_1 \cdot v_1 = S_2 \cdot v_2$
8.3.10)	Průvlak je nástroj, který slouží k tažení drátu. Průvlak je vybaven kuželovým otvorem, ve kterém probíhá deformace. Musí být ořezuvzdorný, proto se vyrábí z velmi tvrdých materiálů.
8.3.11)	Deformační kužel
8.3.12)	Na výstupu z kalibrační části průvlatku.
8.3.13)	U tažné stolice s přímočarým pohybem vytváří tažnou sílu tažný vozík pohybující se přímočaře po rámu stolice, kdežto u drátotahů s navíjením drátu vytváří tažnou sílu tažný buben. Prvně jmenovaná se používá pro tažení tyčí a trubek, druhá pak pro tažení drátů.
8.3.14)	Akumulační drátotah
8.3.15)	Box na mazivo, průvlaková skříňka, tažný buben, převáděcí a napínací kladky.
8.3.16)	Viz. <b>Obr. 8.27.</b> soustřeďte se na správně zakreslení vstupní a výstupní strany průvlatku, podívejte se jak je spojeno jádro a objímka na vstupní a výstupní straně.
8.3.17)	Slínuté karbidy wolframu (WC) spojené kobaltem jako pojivem, monokrystalické a polykrystalické diamanty.
8.3.18)	Nosič maziva + mazivo.
8.3.19)	Minerální oleje, mýdla, emulze, rostlinné oleje, živočišné tuky (vůbec nejlepší výsledky při tažení dávají tuky savců pojídající ryby – tuleni, lachtani a mroži, velryby ☺), tuhé uhlovodany, maziva s plnidly.
8.3.20)	Pomocí tohoto zařízení se na drátě vytvoří hrot, který se následně protáhne průvlakem, uchopí do zatahovacích kleští a namotá se na buben, pak již následuje vlastní tažení.
8.3.21)	ŽDB GROUP a.s. Bohumín, Bekaert Bohumín, MSDO, a.s. Ostrava, Kern, s.r.o. Třinec, Tažírny drátu Feromoravia (TŽ, a.s.)
8.4.1)	N9, vynikající technologická tvařitelnost.



## Kapitola 8

8.4.2)	Výroba složitých profilů, tváření materiálů se zhoršenou tvařitelností, výroba tlakových ocelových lahví.
8.4.3)	Dopředné a zpětné protlačování plných a dutých profilů.
8.4.4)	Viz. <b>Obr. 8.31.</b>
8.4.5)	Viz. <b>Obr. 8.32.</b>
8.4.6)	Protože díky příznivému stavu napjatosti táhneme profily s velkou dílčí deformací, kterou přesněji vyjádří skutečná deformace.
8.4.7)	Při zpětném protlačování.
8.4.8)	Protože dosahujeme velkých stupňů deformace a tím dochází k velkému zpevnění materiálu, navíc zde působí třecí síly mezi kovem a průtlačnicí.
8.4.9)	Sklo v podobě prášku nebo sklené vaty, které se následně roztaví.
8.4.10)	Protlačování s průtlačníkem menšího průměr, než je průměr průtlačnice, mezi průtlačníkem a průtlačnicí se tak dostane tvářený kov, který zde působí jako mazivo.
8.4.11)	Indukční ohřev – zpětné protlačování – protahování – tváření hrdla – tepelné zpracování – povrchové úpravy a kontrola
8.4.12)	Dělení trubek – tváření dna – zavaření dna – tváření hrdla – tepelné zpracování – povrchové úpravy a kontrola.
8.4.13)	Polotovary při výrobě tlakových lahví po zpětném protlačování.

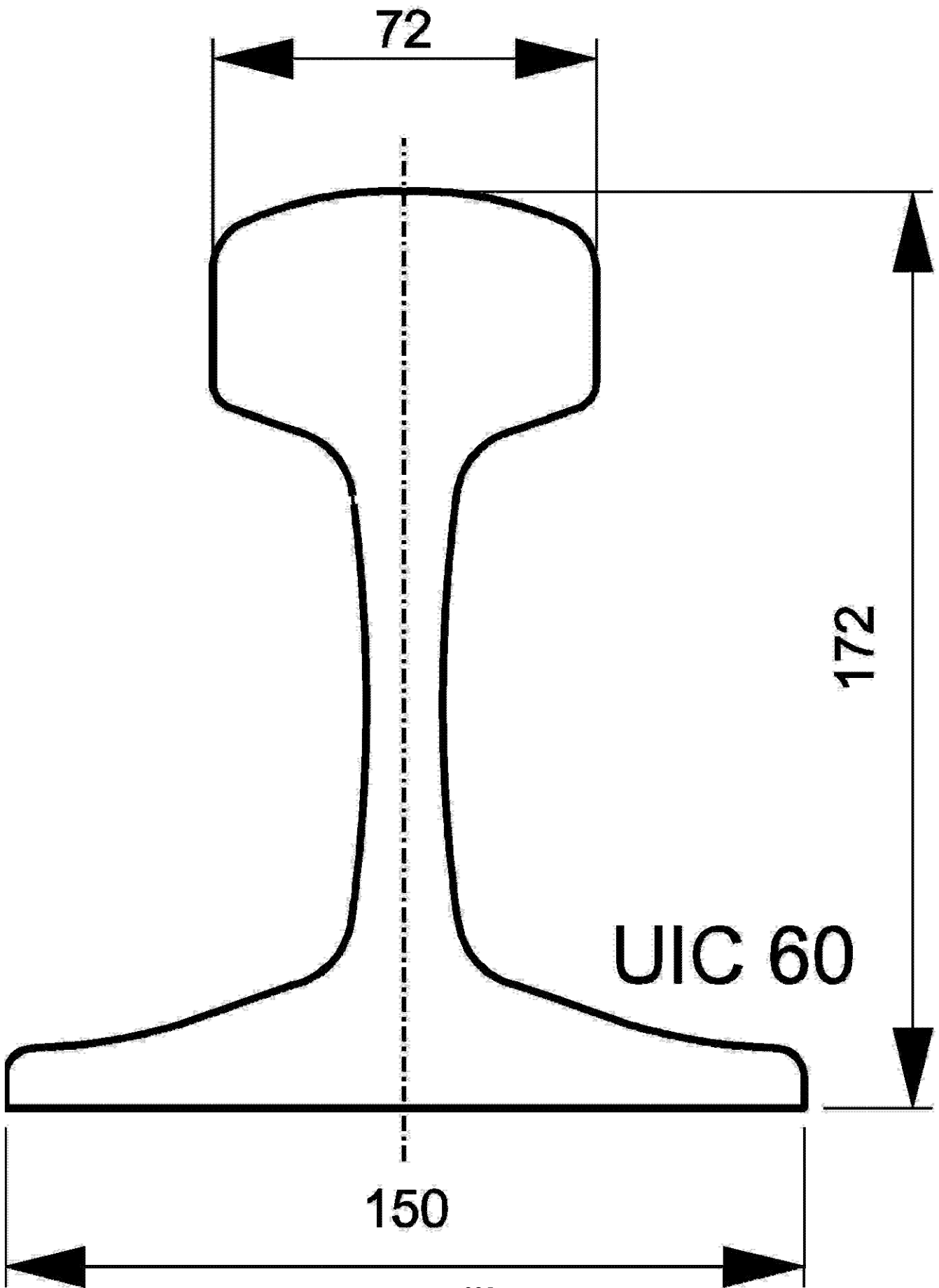
### □ Úlohy k řešení

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



## Kapitola 1

1.1.3)	Použijte tyto odkazy: <a href="http://www.hz.cz/cz/">http://www.hz.cz/cz/</a> <a href="http://www.trz.cz">http://www.trz.cz</a> <a href="http://www.arcelormittal.com/ostrava/">http://www.arcelormittal.com/ostrava/</a> <a href="http://www.evravitkovicesteel.com/">http://www.evravitkovicesteel.com/</a>
1.1.4)	Použijte tyto odkazy: <a href="http://www.skcr.org/?bcoid=362">http://www.skcr.org/?bcoid=362</a>
1.1.5)	Porovnejte svůj výtvar s obrázkem na následující straně
1.2.1)	Pomocí internetu si zjistěte teplotu tání olova, wolframu a eutektoidní oceli, převed'te na kelviny a stanovte hodnotu teploty nulové rekrystalizace, jako 0,4 násobek teploty tavení. Výsledky: a) Za tepla b) Za studena c) Za tepla





## Kapitola 1

1.2.2) Podívejte se na video č. XX

1.2.3) d) nejvyšší přidaná hodnota, cínový povlak je relativně velmi drahý f) produkt, který je znakem vyspělosti hutního průmyslu v dané zemi c) vyšší přidaná hodnota b) špičkový výrobek, kterému konkuruje relativně málo válcoven na světě a) obyčejný výrobek e) obyčejný výrobek, který dokáží vyrobit válcovny v Rusku, Číně a Indii s výrazně nižšími výrobními náklady (levná pracovní síla)

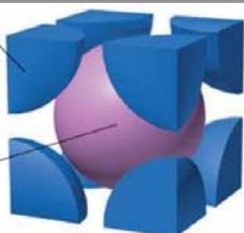


## Kapitola 2

2.1.1)

$\frac{1}{8}$  atomu  
v 8 rozích

1 atom  
ve středu



$$\text{Počet atomů na jednu buňku} = \left(\frac{1}{8} \times 8\right) + 1 = 2$$

2.1.2)

Vycházíme z předpokladu, že se atomy navzájem dotýkají v nejhustěji obsazeném směru (tělesová úhlopříčka krychle, směr  $\langle 111 \rangle$ ). Tam platí vztah:

$$v = 4 \cdot r \quad (1)$$

kde  $r$  je poloměr atomu železa (z tabulek 124,12 pm)

Jaký je vztah mezi úhlopříčkou a stěnou krychle napoví další obrázek.

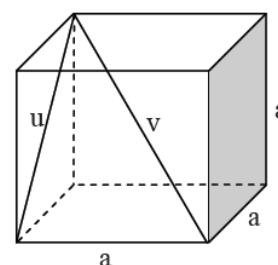
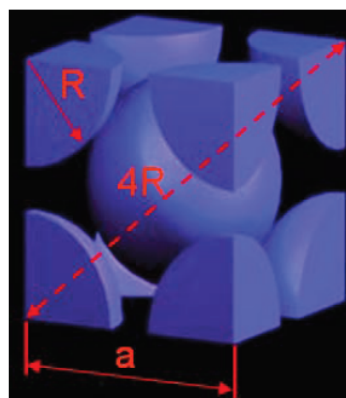
$$u^2 = a^2 + a^2 \\ u = \sqrt{2}a$$

$$v^2 = a^2 + u^2 \\ v = a^2 + (\sqrt{2}a)^2 \\ v = \sqrt{3}a$$

Dosazením do rovnice (1):

$$\sqrt{3}a_{KSC} = 4 \times 124,12$$

$$a_{KSC} = 286,64 \text{ pm}$$



2.1.3)

Počet atomů v mřížce KSC = 2 (viz. příklad 2.1.1))

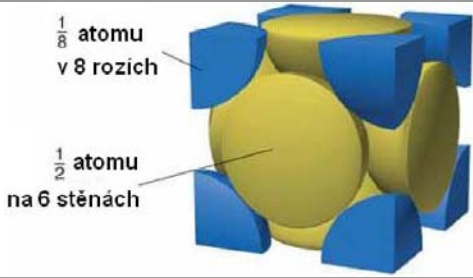
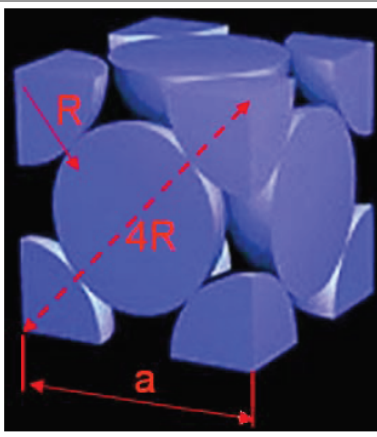
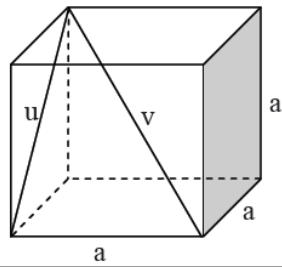
$$V_{\text{atomu}} = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot (124,12 \cdot 10^{-12})^3 = 8,0096 \cdot 10^{-30} \text{ m}^3$$

$$V_{\text{krychle}} = a_{KSC}^3 = (286,64 \cdot 10^{-12})^3 = 2,355 \cdot 10^{-29} \text{ m}^3$$

$$Z = \frac{2 \cdot V_{\text{atomu}}}{V_{\text{krychle}}} = \frac{2 \cdot 8,0096 \cdot 10^{-30}}{2,355 \cdot 10^{-29}} = 0,68 \Rightarrow Z_{KSC} = 68 \%$$



## Kapitola 2

2.1.5)	 <p><math>\frac{1}{8}</math> atomu v 8 rozích</p> <p><math>\frac{1}{2}</math> atomu na 6 stěnách</p> <p>Počet atomů na jednu buňku = <math>(\frac{1}{8} \times 8) + (\frac{1}{2} \times 6) = 4</math></p>
2.1.6)	<p>Vycházíme z předpokladu, že se atomy navzájem dotýkají v nejhustěji obsazeném směru (úhlopříčka strany krychle, směr <math>\langle 110 \rangle</math>). Tam platí vztah:</p> $u = 4 \cdot r \quad (1)$ <p>kde <math>r</math> je poloměr atomu železa (z tabulek 124,12 pm)</p> <p>Jaký je vztah mezi úhlopříčkou stěny a hranou krychle napoví další obrázek.</p>   $u^2 = a^2 + a^2$ $u = \sqrt{2}a$ <p>Dosažením do rovnice (1):</p> $\sqrt{2}a_{KPC} = 4 \times 124,12$ $a_{KPC} = 351,06 \text{ pm}$
2.1.7)	<p>Počet atomů v mřížce KSC = 4 (viz. příklad 2.1.5)</p> $V_{atomu} = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot (124,12 \cdot 10^{-12})^3 = 8,0096 \cdot 10^{-30} \text{ m}^3$ $V_{krychle} = a_{KPC}^3 = (351,06 \cdot 10^{-12})^3 = 4,3266 \cdot 10^{-29} \text{ m}^3$ $Z = \frac{4 \cdot V_{atomu}}{V_{krychle}} = \frac{4 \cdot 8,0096 \cdot 10^{-30}}{4,3266 \cdot 10^{-29}} = 0,74 \Rightarrow Z_{KPC} = 74 \%$
2.2.1)	a) neleží, b) leží, c) neleží, d) neleží



## Kapitola 2

2.6.1)	<p>Pro pochopení příkladu je potřeba vysvětlit některé nové pojmy.</p> <p><b>Průchod</b> – jednotlivý úběr při válcování, při vratném válcování je obvykle počet průchodů liché číslo.</p> <p>Pro stanovení součinitele stlačení budeme vycházet z poměrného stlačení:</p> $\varepsilon_\gamma = \frac{h_0 - h_1}{h_0} = 1 - \gamma \Rightarrow \gamma = 1 - \varepsilon_\gamma = 1 - 0,15$ $\gamma = \underline{\underline{0,75}}$ <p>Pro stanovení součinitele prodloužení budeme vycházet ze zákona o zachování objemu. Vyjádříme si závislost součinitelů deformace:</p> $l_1 \cdot b_1 \cdot h_1 = l_0 \cdot b_0 \cdot h_0$ $\frac{l_1}{l_0} \cdot \frac{b_1}{b_0} \cdot \frac{h_1}{h_0} = 1$ $\lambda \cdot \beta \cdot \gamma = 1$ <p>Pak součinitel prodloužení vypočteme takto:</p> $\lambda = \frac{1}{\beta \cdot \gamma} = \frac{1}{1 \cdot 0,75} = \underline{\underline{1,33\bar{3}}}$
2.6.2)	<p>Vycházíme ze zákona zachování objemu</p> $V_0 = V_1$ $S_0 \cdot l_0 = S_1 \cdot l_1$ $\frac{S_0}{S_1} = \frac{l_1}{l_0}$ $S_0 = a \cdot b = 80 \cdot 80 = 6400 \text{ mm}^2$ $S_1 = \pi \cdot r^2 = 3,14 \cdot 5,6^2 = 98,52 \text{ mm}^2$ <p>Výpočet celkového prodloužení</p> $\lambda_c = \frac{l_n}{l_0} = \frac{S_0}{S_n} = \frac{6400}{98,52} = 64,96$





## Kapitola 2

1. Pro sestavení kalibrační tabulky budeme vycházet z předpokladu poměrné deformace rovné 14%.

$$\varepsilon_h = \frac{h_0 - h_1}{h_0}$$

$$\varepsilon_h \cdot h_0 = h_0 - h_1$$

$$h_1 = h_0 - \varepsilon_h \cdot h_0 = 55 - 0,15 \cdot 55$$

$$h_1 = 47,3 \text{ mm}$$

Po vypočtení  $h$  vypočteme  $l$  a  $b$ . Délku vypočteme ze zákona zachování objemu a šíření zanedbáváme.

$$V = h_0 \cdot b_0 \cdot l_0 = 55 \cdot 100 \cdot 180 = 990000 \text{ mm}^3$$

2.6.3) 
$$l_1 = \frac{V}{h_1 \cdot b_1} = 209,3 \text{ mm}$$

Sestavená kalibrační tabulka

číslo úběru	h [mm]	b [mm]	l [mm]	V [mm <sup>3</sup> ]	ε [%]	Δh [mm]
0	55	100	180,00	990000	0,14	7,70
1	47,30	100	209,30	990000	0,14	6,62
2	40,68	100	243,37	990000	0,14	5,69
3	34,98	100	282,99	990000	0,14	4,90
4	30,09	100	329,06	990000	0,14	4,21
5	25,87	100	382,63	990000	0,14	3,62
6	22,25	100	444,92	990000	0,10	2,25
7	20,00	100	495,00	990000		

Vypočet  $\Delta h$

$$\Delta h = h_0 - h_1 = 55 - 47,3 = 7,7 \text{ mm}$$

2.6.4) 
$$\varepsilon_h = \frac{h_0 - h_1}{h_0} = 1 - \gamma$$

**Kapitola 2**

Pro stanovení skutečné deformace v podélném směru budeme vycházet ze zákona o zachování objemu. Prvním krokem bude vyjádřit si součinitel prodloužení v závislosti na ploše:

$$l_1 \cdot b_1 \cdot h_1 = l_0 \cdot b_0 \cdot h_0$$

$$l_1 \cdot S_1 = l_0 \cdot S_0$$

$$\lambda = \frac{l_1}{l_0} = \frac{S_0}{S_1} \quad [-]$$

Vypočteme plochy průřezů drátů:

$$S_0 = \frac{\pi \cdot d_0^2}{4} = 28,27 \quad [mm^2]$$

$$S_1 = \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} = 7,07 \quad [mm^2]$$

Skutečná deformace v podélném směru stanovíme ze vztahu:

$$2.6.5) \quad e_\lambda = \ln \lambda \Rightarrow e_\lambda = \ln \frac{S_0}{S_1} = \ln \frac{28,27}{7,07} \doteq \underline{\underline{1,39}} \quad [-]$$

Skutečnou deformaci v příčném směru vypočteme:

$$e_\gamma = \ln \gamma = \ln \frac{d_1}{d_0} = \ln \frac{3}{6} = \underline{\underline{-0,69}} \quad [-]$$

Lehčí varianta:

Skutečnou deformaci v příčném směru vypočteme:

$$e_\gamma = \ln \gamma = \ln \frac{d_1}{d_0} = \ln \frac{3}{6} = \underline{\underline{-0,69}} \quad [-]$$

$$e_\gamma = e_\beta = e$$

$$e_\lambda + e_\beta + e_\gamma = 0$$

$$e_\lambda + 2e = 0$$

$$e_\lambda = -2e = -2 \cdot (-0,69) = 1,38 \quad [-]$$

$$2.6.7) \quad h_6 = 72,82 \text{ mm}$$

$$2.6.8) \quad \text{Počáteční průřez tyče } 38,1 \times 25,4 \text{ mm}$$

$$2.6.9) \quad \text{Řešte jako příklad 2.6.5) – lehčí varianta}$$

**Kapitola 3**

Po zlogaritmování má Avramiho rovnice tento tvar:

$$\ln \ln(1 - X) = \ln K + n \cdot \ln t$$

$$3.2.1)$$

Pokud v těchto souřadnicích vynesete data do grafu v Excelu a stanovíte rovnici regresní přímky, pak průsečík s osou  $y = \ln K$  a směrnice přímky  $= n$ .



## Kapitola 5

Válcování plechu v tomto případě probíhá tak, že se brama otočí o  $90^\circ$  a válcuje se šířka, následně se brama opět otočí o  $90^\circ$  a válcuje se tloušťka (viz. **obr. 5.40. varianta 2**).

Poměr  $h/b$  slouží k tomu, abychom mohli odhadnout, zda bude polotovar šířit či nikoliv, je-li  $h/b < 0,5$ , pak lze šíření zanedbat.

Počítá se z rozměrů před válcováním.

Pro první úběr můžeme psát:

$$\left(\frac{h}{b}\right)_1 = \frac{h_0}{l_0} = \frac{140}{2280} = 0,0614 \text{ v dalších výpočtech šíření zanedbáme}$$

Pro poslední úběr můžeme psát:

$$\left(\frac{h}{b}\right)_n = \frac{h_{n-1}}{b_{n-1}} = \frac{h_n + \Delta h_n}{b_n} = \frac{16 + 1,5}{1150} = 0,0152$$

5.1.2)

Poměr  $l_d/h_s$  slouží k tomu, abychom dokázali odhadnout, zda plastická deformace pronikne do středu vývalku. Je-li  $l_d/h_s > 0,5$ , pak deformace nepronikne do středu a v jádru vývalku tak může zůstat původní lící struktura.

Pro první úběr můžeme psát:

$$\left(\frac{l_d}{h_s}\right)_1 = \frac{\sqrt{R \cdot \Delta h_1}}{h_0 + h_1} = \frac{2 \cdot \sqrt{512,5 \cdot 20}}{140 + 120} = 0,779$$

Pro poslední úběr můžeme psát:

$$\left(\frac{l_d}{h_s}\right)_n = \frac{\sqrt{R \cdot \Delta h_n}}{h_{n-1} + h_n} = \frac{2 \cdot \sqrt{512,5 \cdot 1,5}}{17,5 + 16} = 1,655$$

Řešíme podobně jako příklad 5.1.2), situaci máme ulehčenou tím, že nedochází k otočení provalku.






Pro první úběr můžeme psát:

$$\left(\frac{h}{b}\right)_1 = \frac{h_0}{b_0} = \frac{100}{800} = 0,125$$

5.1.3)

Pro druhý úběr můžeme psát:

$$\left(\frac{h}{b}\right)_2 = \frac{h_1}{b_1} = \frac{h_0 \cdot \gamma_1}{b_0} = \frac{h_0 \cdot \exp(e_{h,1})}{b_0} = \frac{100 \cdot \exp(-0,156)}{800} = 0,107$$

 <b>Kapitola 5</b>	
	Pro poslední úběr můžeme psát:
5.1.3)	$\left(\frac{h}{b}\right)_n = \frac{h_{n-1}}{b_{n-1}} = \frac{\gamma_1}{b_0} = \frac{h_n}{b_0} = \frac{100}{\exp(e_{h,n})} = \frac{100}{\exp(-0,156)} = 0,0131$
	Poměr $l_d/h_s$ již určitě zvládnete sami.
5.1.4)	$h_{1,\min} = 9,678 \text{ mm}$
 <b>Kapitola 6</b>	
6.1)	a) Zjistěte si z textu rozměry vstupního kontislitku, celkový počet úběrů (blokovna + vratná trať), dále spočítejte celkový součinitel prodloužení a nakonec střední součinitel prodloužení ( $\lambda_i = 1.176$ ) b) a c) obdobný postup
 <b>Kapitola 7</b>	
7.2.1)	Nezapomeňte počítat s hustotou lité oceli. ( $V = 0,0868 \text{ m}^3$ )
7.3.1)	$PK_b = 2,7$
 <b>Kapitola 8</b>	
8.1.2)	Aby došlo k opadání okují, musí být drát při ohnutí přes kladku vystaven deformaci větší než 12 %. Stanovte si velikost podélné deformace při ohybu na kladce jako délku vnějšího vlákna ( $l_1$ ) mínus délku neutrálního vlákna (v ose drátu) ( $l_0$ ) děleno $l_0$ . Oba rozměry jsou závislé na průměru kladky $D$ a průměru drátu $d$ .
8.2.1)	Styková plocha se vypočítá $S = l_d \cdot b_s$ ( $S_{duo} = 9\,481 \text{ mm}^2$ ) ( $S_{kvarto} = 6\,321 \text{ mm}^2$ )
8.2.2)	<p>Odhad provedeme např. pro zvýrazněné zrno. Pomocí primitivních pomůcek lze stanovit, že délka zrna je 3,5 krát větší než jeho výška. Předpokládáme-li na počátku tváření rovnoosé zrno, musí platit:</p> $d_0 \cdot d_0 = d_1 \cdot 3,5 \cdot d_1$ <p>Protože neznáme měřítko, můžeme za např. <math>d_0 = 1</math>, pak:</p> $d_1 = \sqrt{\frac{1}{3,5}} \cong 0,53 \Rightarrow \gamma = \frac{d_1}{d_0} = 0,53 \Rightarrow \lambda = 1,89$
	

**ANGLICKO-ČESKÝ SLOVNÍK ZÁKLADNÍCH POJMŮ**

<b>Blast furnace</b>	<b>Vysoká pec</b>
Sintered ore	Aglomerační vsázka
Pellets	Pelety
Iron ore	Železná ruda
Coke	Koks
Limestone	Vápenec
Coal	Uhlí
Foundry iron	Lité železo
Pig iron	Surové železo
<b>Hot metal pretreatment</b>	<b>Předběžné zpracování</b>
<b>Steel Plant</b>	<b>Ocelárna</b>
Basic oxygen furnace	Kyslíkový konvertor
Combined blowing	Dmýchání dnem i poklopem pánve
Electric furnace	Elektrická pec
Scrap	Šrot
<b>Secondary refining</b>	<b>Sekundární metalurgie</b>
Ingot making	Lití ingotů
Soaking pit	Hlubinná pec
Continuous casting	Plynulé lití
Cast steels products	Výrobky z lité oceli
Twin-drum strip casting	Lití tenkých pásů (s deformací tekutého jádra)
Stainless hot-rolled sheets and coils	Za tepla válcované plechy a pásy v cívkách z nerez oceli
<b>Slabbing, blooming, billeting</b>	<b>Slabing, blokovna</b>
Slab	Brama - $a:b > 1:1,4$ ; $S > 19\ 600\ \text{mm}^2$
Bloom	Blok - čtverec $a > 140\ \text{mm}$ ; $S > 19\ 600\ \text{mm}^2$ ; $a:b < 1:1,4$ ; $S > 19\ 600\ \text{mm}^2$
Billet	Sochor - čtverec $a < 140\ \text{mm}$ ; $S < 19\ 600\ \text{mm}^2$
	Sochor - $a:b < 1:3,5$ ; $S < 19\ 600\ \text{mm}^2$ ; kruh $d$ od 80 do 300 mm
<b>Reheating furnace</b>	<b>Ohřívací pec</b>
<b>Direct rolling</b>	<b>Přímé válcování (bez mezirohveu)</b>
<u>Sectin mill</u>	<u>Válcovna tvarové oceli</u>
Heavy	Těžká (d od 700 - 950 mm)
Rails	Kolejnice
Sheet piles	Štětovnice
Shapes, bars	Tyčové a tvarové vývalky
Rough	Hrubá (d od 650 do 900 mm)
Middle	Střední (d od 400 do 650 mm)
Mild	Jemná (d od 250 do 400 mm)
<u>Wire-rods mill</u>	<u>Válcovna drátu</u>
<u>Heavy plate mill</u>	<u>Válcovna tlustých plechů</u>
<u>Hot strip mill</u>	<u>Válcovná pásů za tepla</u>
sheets	plechy
coils	cívky (zde z pásů)
<u>Seamless pipe mill</u>	<u>Válcovna bezešvých trubek</u>
<b>Fully integrated processing line</b>	<b>Plně integrovaná výrobní linka (výrobky z pásů)</b>
<u>Continuous descaling and cold rolling mill</u>	<u>Nepřetržité odokujení a válcování za studena</u>
Picking line	Mořicí linka
Continuous hot-dip galvanizing line	Průběžná galvanizační linka (ponoření do tekutého kovu)
<u>Continuous annealing and processing line</u>	<u>Průběžná žíhací a patentovací (popouštěcí) linka</u>
Electrolytic cleaning	Elektrolytické čištění
Annealing	Žíhání
Temper milling	Popouštění
Finishing	Dokončovací operace
<u>Electrolytic tinning line</u>	<u>Linka pro elektrolytické pocínování</u>
tinplate	pocínovaný plech
<u>Elektro galvanizing line</u>	<u>Pozinkovna</u>
<u>Electric resistance - welded pipe mill</u>	<u>Výroba odporově svařovaných trubek</u>
Butt - welded pipe mill	Výroba na tupo svařovaných trubek