



Struktura, vlastnosti a zpracování kovů

Petr Šidlof



Základní vlastnosti kovových materiálů

- pevné a tvrdé
- tvárné
- vysoká elektrická a tepelná vodivost
- většinou relativně vysoká hustota

Li .. 530 kg/m³

Fe .. 7800 kg/m³

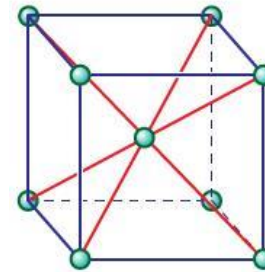
Os .. 22600 kg/m³

Většina prvků periodické tabulky (cca 90 ze 120) jsou kovy. V praxi se používají zejména slitiny kovů

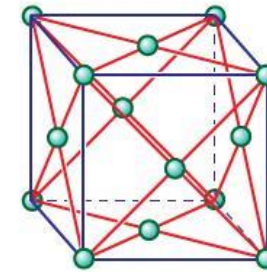
Krystalická struktura kovů

Kovy jsou krystalické materiály. Z toho plyne podstatná část jejich vlastností.

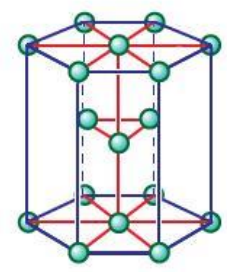
Common metallic crystal structures



body-centred cubic (bcc)



face-centred cubic (fcc)



hexagonal close-packed (hcp)

© 2011 Encyclopædia Britannica, Inc.

Nejčastější typy mřížek u kovů

- kubická prostorově centrovaná (body-centered cubic, **bcc**): α -Fe, Mo, Cr, W, V
- kubická plošně centrovaná (face-centered cubic, **fcc**): γ -Fe, Al, Cu, Ni, Ag, Au, Pt
- hexagonální těsně uspořádaná (hexagonal close packed, **hcp**): γ -Ti, Zn, Mg, Cd

Atomový a iontový poloměr

minimální vzdálenost, na kterou se dvě strukturální jednotky (atomy, ionty) mohou přiblížit.

Řádově $0.1 \text{ nm} = 1 \text{ \AA}$ (ångström) = 10^{-10} m

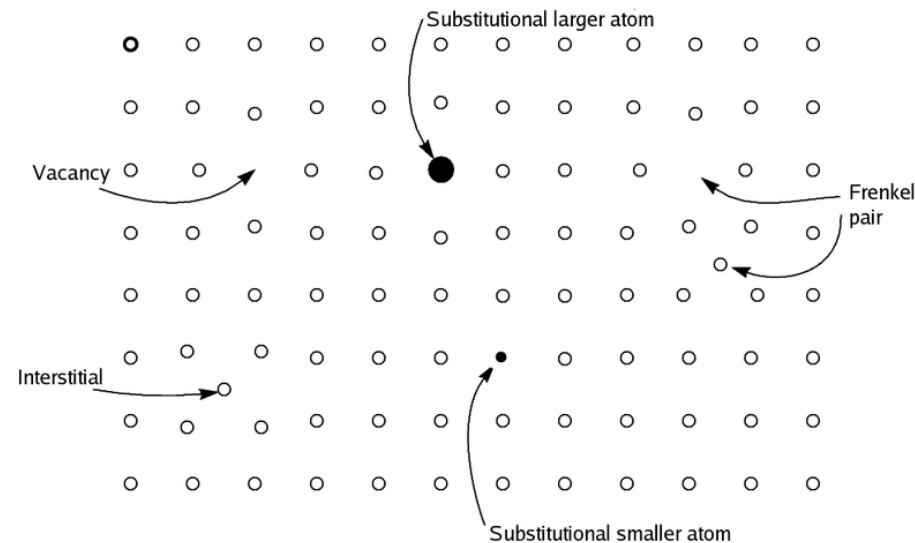
Poruchy krystalové mřížky

Reálný krystal vždy obsahuje jistou koncentraci poruch

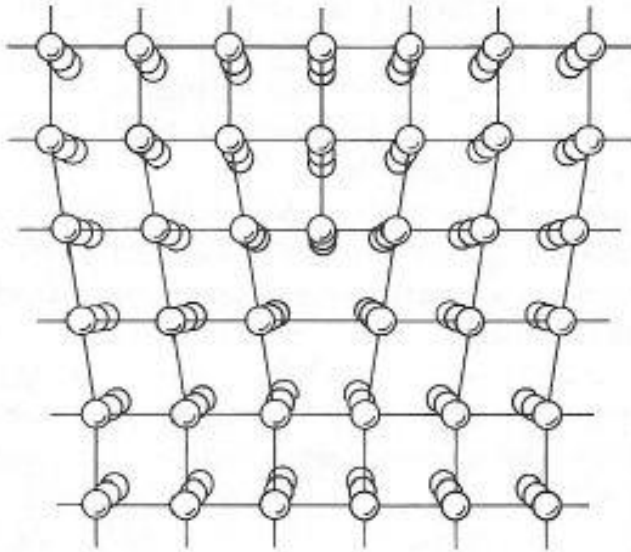
- téměř dokonalé krystaly polovodičů (Si, Ge) – do 1%
- běžné krystalické materiály – několik procent
- velmi defektní krystal – 10%

Typy poruch krystalové mřížky

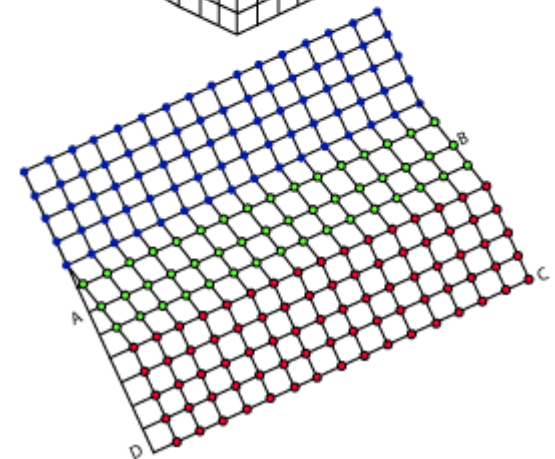
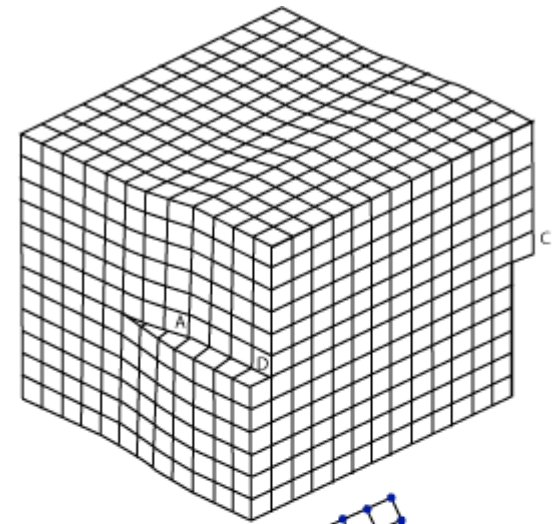
- bodové – vakance, intersticiály, substituční a adiční částice
- čarové
- plošné
- objemové



Čarové poruchy – dislokace

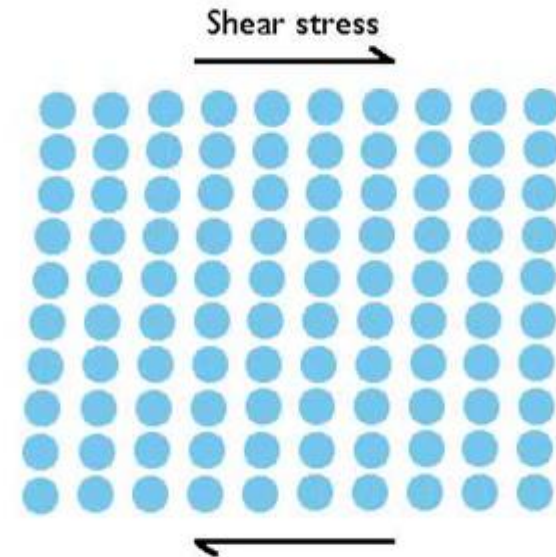
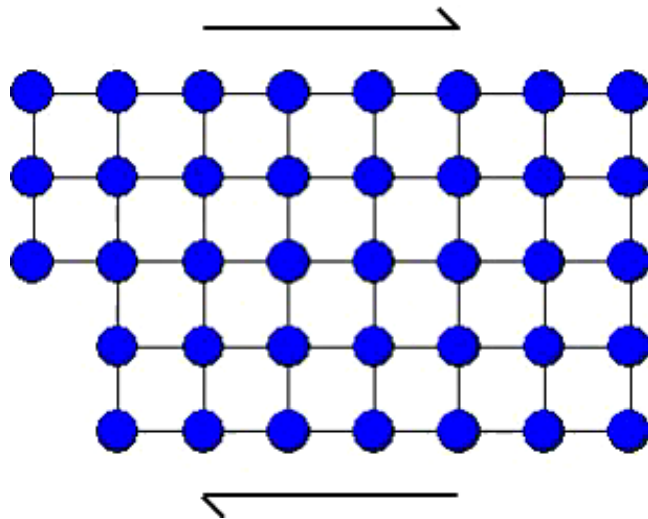


hranová dislokace



šroubová dislokace

Pohyb hranových dislokací



Pohyb dislokací – primární mechanismus plastické deformace kovů. Další mechanismy – pokluz po hranici zrn



Vlastnosti a zkoušení kovových materiálů

Mechanické vlastnosti

- pevnost, tažnost – elastická a plastická deformace, vztah mezi napětím a deformací (tahová zkouška na zatěžovacím stroji – trhačce)
- tvrdost (vtlačení indentoru do povrchu tělesa – tvrdoměry)
- lomová houževnatost, křehkost (statické a dynamické zatěžovací stroje, Charpyho kladivo)

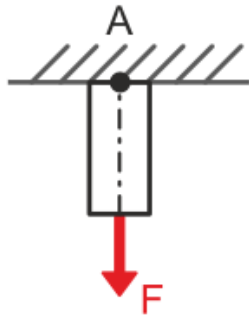
Ostatní fyzikální vlastnosti

- elektrická vodivost (stříbro > **měď** > zlato > **hliník**)
- tepelná vodivost (přibližně úměrná elektrické vodivosti)
- optické vlastnosti – barva, vysoká odrazivost leštěných kovových povrchů
- ferromagnetické chování – železo, kobalt, nikl a jejich slitiny
- teplotní roztažnost

Deformační chování kovů (1)

Při působení síly (napětí) se materiál deformuje, tj. mění tvar. Existuje mnoho druhů namáhání (tah a tlak, ohyb, krut, smyk..).

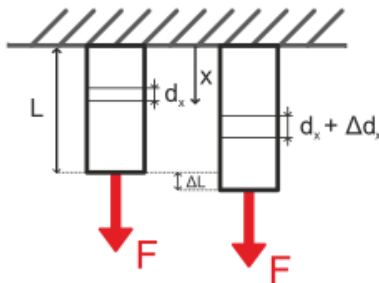
Napětí



$$\sigma = \frac{F}{S} \text{ [MPa]}$$

- 1 MPa .. 0.1kg / mm²
- typické velikosti napětí .. desítky až stovky MPa

Deformace

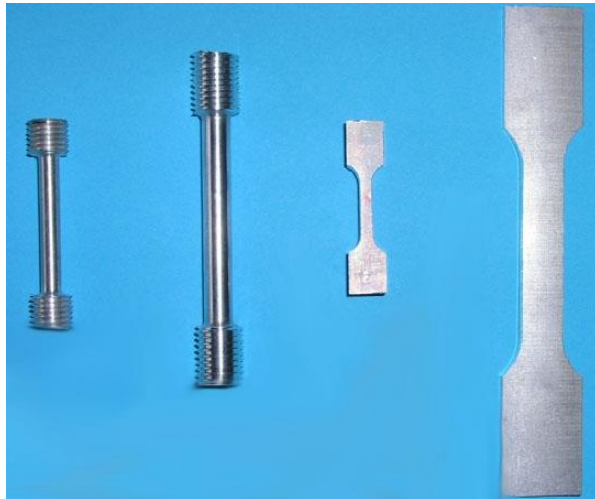


$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \text{ [\mustrain, \%]}$$

- 1 μstrain .. 1 μm/m
- typické velikosti deformace .. desítky až stovky μstrain

Deformační chování kovů (2)

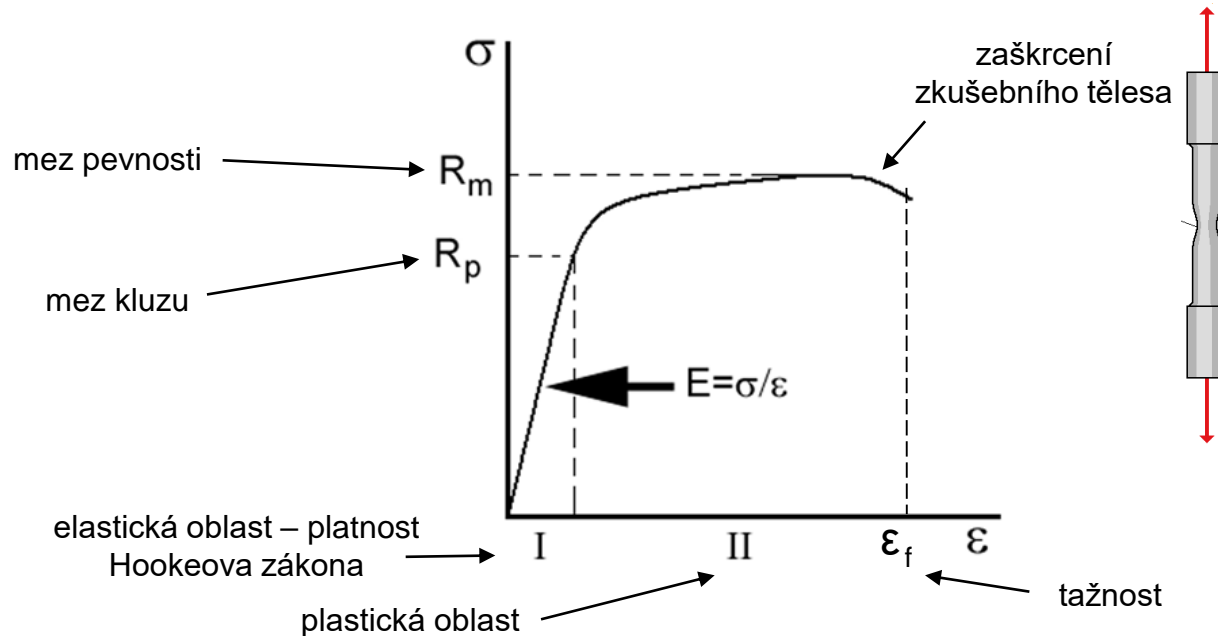
Vztah mezi deformací a napětím se ukazuje na **tahovém diagramu**, který lze získat na **zatěžovacím stroji (trhačce)**



zkušební tělesa pro tahovou zkoušku



Deformační chování kovů (3) – pevnost, tahový diagram

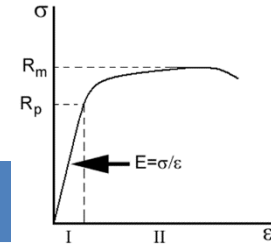


© Hochschule Karlsruhe

Poznámky

- plastická deformace je nevratná, v materiálu akumuluje poškození
- mez kluzu lze zvýšit ovlivněním mikrostruktury zablokováním pohybu dislokací - **zpevnění**
 - 1) zpevnění hranicemi zrn (jemnozrnný materiál – hranice blokuje pohyb dislokací)
 - 2) zpevnění legováním (tuhý roztok nebo intermetalické fáze blokuje pohyb dislokací)
 - 3) deformační zpevnění (akumulace dislokací – elastické pole brání pohybu dislokací)

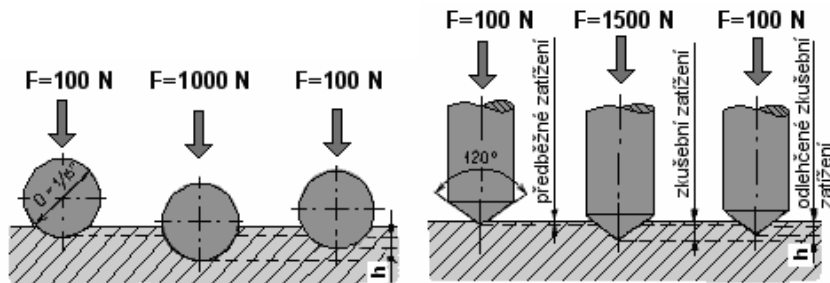
Mechanické vlastnosti vybraných materiálů



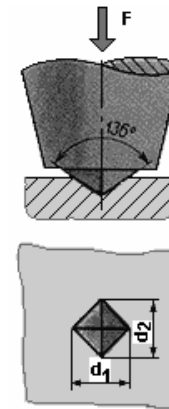
	Složení	E [GPa]	ρ [kg/m ³]	Rp [MPa]	Rm [MPa]	ϵ_f [%]	α [1/K]	cena [\$/kg]	Aplikace
Konstrukční ocel AISI 1020	0.2%C, 0.5%Mn, <0.05%P, <0.05%S	210	7800	295	395	36.5	14*10 ⁻⁶	0.5	nenáročné konstrukční součástky, spojovací materiál, strojírenské součástky
Vysokopevnostní ocel AISI 4340	0.4%C, 0.25%S, 0.7%Mn, 1.85%Ni, 0.8%Cr, 0.25%Mo	210	7800	880	1000	17	14*10 ⁻⁶	2	náročné strojírenské aplikace: těžké převodovky, silně zatěžované hřídele, letecké podvozky
Niklová superslitina 2800	18%Ni, 15%Co, 7%Mo, 1.1%Ti, <0.03%C	210	8000	2617	2693	6	11*10 ⁻⁶	200	pláště raket, zbraně a součástky pro vojenský průmysl, high-end sportovní vybavení (šerm, hlavice golfových holí), uranové odstředivky
Austenitická nerezová ocel AISI 201	0.0%C, 17%Cr, 7%Mn, 4%Ni	200	7800	310	655	40	17*10 ⁻⁶	3.5	nádobí, příbory
Dural 7075-T6	90%Al, 6%Zn, 0.2%Cr, 2%Cu, 3%Mg	70	2100	500	570	11	33*10 ⁻⁶	4	konstrukce letadel, lodí, automobilový průmysl, sportovní vybavení pro cyklistiku a horolezectví
Titanová slitina T-9047	92%Ti, 5%Al, 3%Sn	100	4500	792	826	10	9*10 ⁻⁶	40	žárupevné a korozně odolné aplikace: letectví a kosmonautika, vojenský průmysl, exkluzivní sportovní vybavení (hlavy válců Porsche & Ferrari)
Mosaz	70%Cu, 30%Zn	130	8400	75	325	70	20*10 ⁻⁶	5	vodovodní fitinky, součástky pro snadné obrábění
Beton		48	2500	-	35 (tlak) 3 (tah)	0.0	11*10 ⁻⁶	0.05	stavební průmysl
Sklo		65	2500	-	35	0.0	8.8*10 ⁻⁶		stavební, optický a potravinářský průmysl
Kost kompaktní		14	2000	100	100	9	20*10 ⁻⁶		
Para-aramid (kevlar)			1400		3620		9*10 ⁻⁶		neprůstřelné vesty a obrněná vozidla, vysokopevnostní lana, brzdové obložení, sportovní vybavení (padáky, tenisové rakety), kompozity – listy větrných elektráren

Tvrdość

Tvrdość .. odpor materiálu proti vnikání cizího tělesa. Měří se vlačováním vhodného indentoru do povrchu a následném měření velikosti vtisku



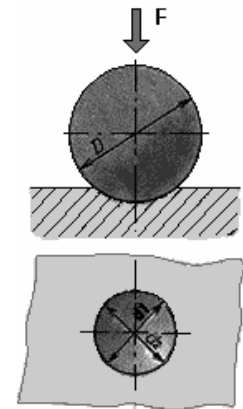
Zkouška tvrdosti podle Rockwella (HRB, HRC)



Zkouška tvrdosti podle Vickerse

$$HV = 0.189 \frac{F}{d_2}$$

diamantový jehlan
(ČSN 42 0374)



Zkouška tvrdosti podle Brinella

$$HB = 0.102 \frac{F}{A}$$

ocelová kalená kulička
(ČSN 42 0371)

www.merenitvrdości.cz

Houževnatost a křehkost

Křehký materiál – lom bez významné plastické deformace, absorbuje málo energie.
Skla, keramika, kovy při nízkých teplotách

Houževnatý materiál – významná plastická deformace, před lomem absorbuje energii.
Kovy při teplotách nad teplotou křehnutí (bcc)



houževnatý lom



křehký lom



Katastrofický případ křehkého lomu - loď řady Liberty

Tvrдость a houževnatost jsou na materiál většinou protichůdné požadavky. Možné řešení – povrchové úpravy (nitridace, cementace, povrchové kalení, povrchové vrstvy) – houževnaté jádro, tvrdý povrch

Výroba a zpracování kovových materiálů

- Odlévání
- Tváření
- Prášková metalurgie
- Obrábění
- Spojování (nýtování, svařování, pájení, lepení)
- Tepelně-mechanické zpracování
- Povrchové úpravy (pískování a otryskávání, chemické povrchové úpravy, nátěry, galvanické a žárové pokovování, povlakování, plazmové nástřiky, cementace, nitridace)



Kontinuální odlévání oceli



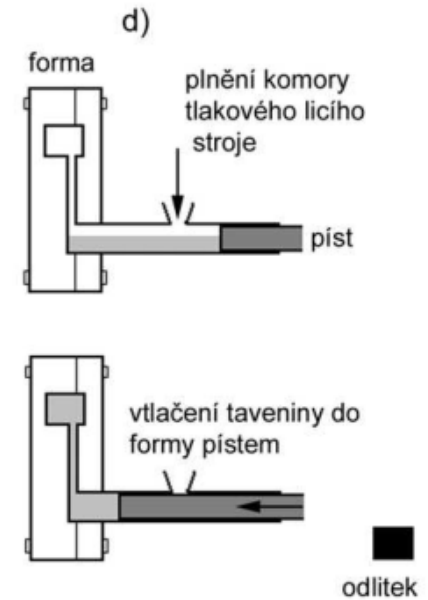
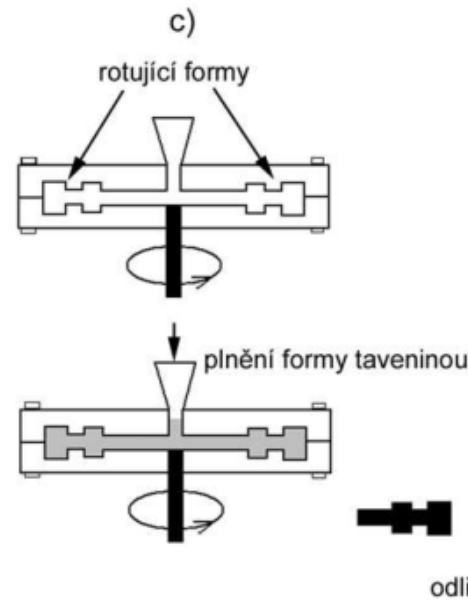
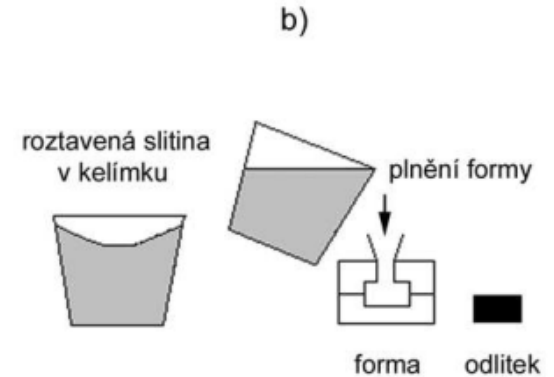
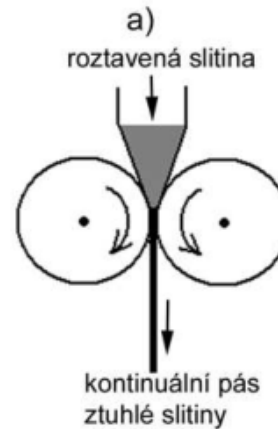
Svařování obloukem



Soustružení

Odlévání

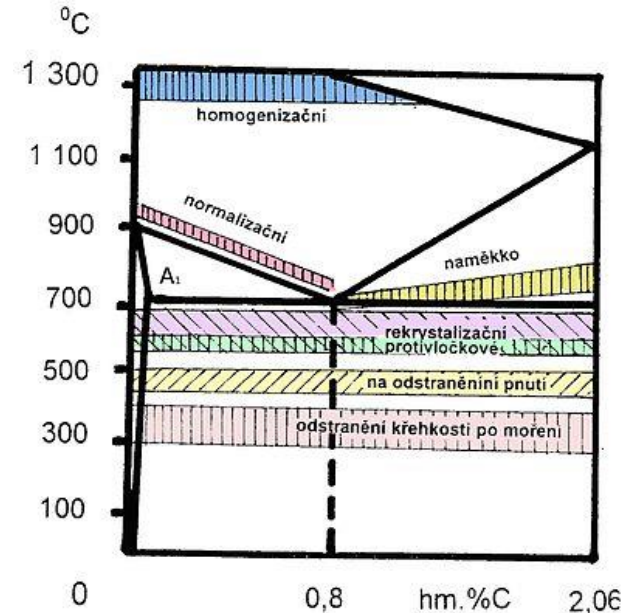
- Přerušované lití – ingoty (pískové nebo kovové formy – kokily)
- Kontinuální lití – pásy, tyče, desky (a)
- Gravitační lití do forem – finální výrobek jednoduchého tvaru (b)
- Odstředivé lití (c)
- Tlakové lití (d)



Tepelné zpracování

Aplikace tepelného režimu pro dosažení požadovaných vlastností

- žíhání (ohřev – výdrž – pomalé chlazení)
 - odstranění vnitřního pnutí
 - dosažení stejnorodé a hrubší mikrostruktury
 - snížení tvrdosti, zlepšení obrobitelnosti a tvažitelnosti
- kalení (ohřev – výdrž – prudké ochlazení)
 - pouze u feritických ocelí
 - zvýšení tvrdosti, snížení houževnatosti
- popouštění (ohřev na nižší než kalicí teplotu, výdrž)
 - odstranění vnitřního pnutí po kalení



Schematický přehled teplotních oblastí žíhání ocelí

Tváření

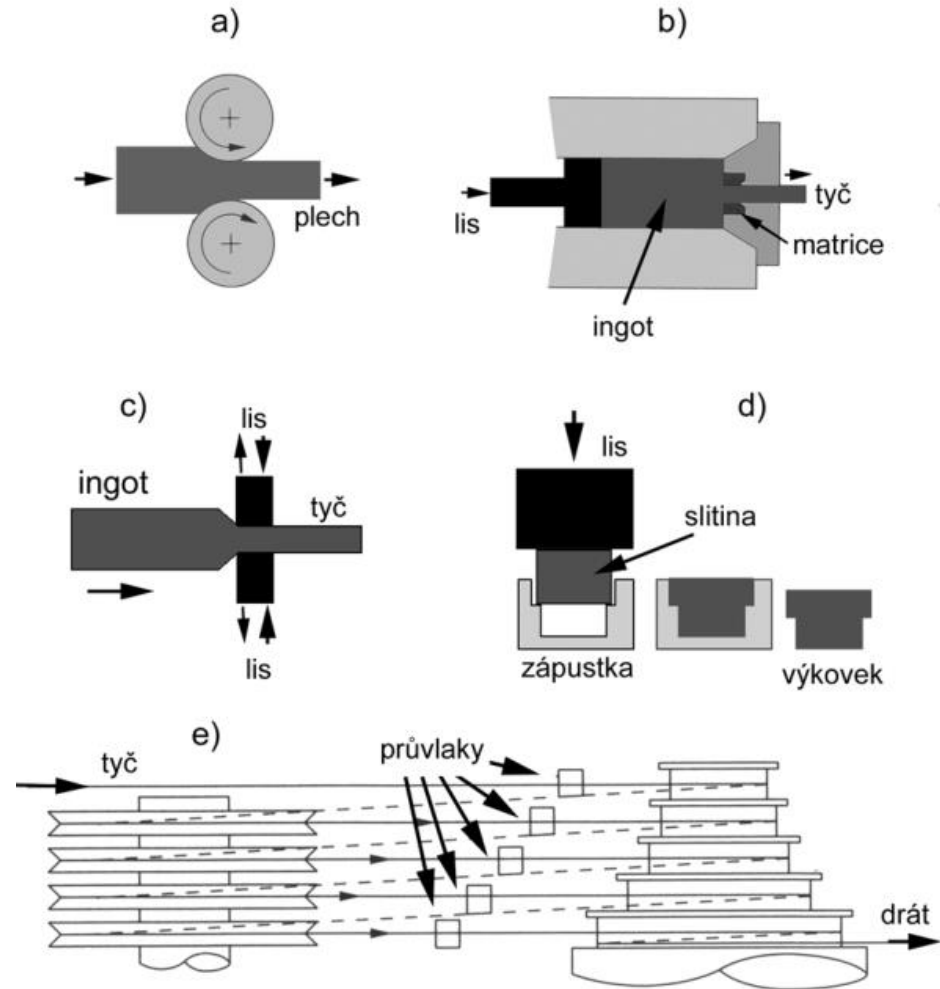
Změna tvaru výrobku v důsledku plastické deformace (bez odběru třísek).

Vznik deformační textury, částečné odstranění slévárenských vad.

Tváření **za studena** (deformační zpevnění) nebo **za tepla** (u ocelí 800-1100°C)

Technologie tváření

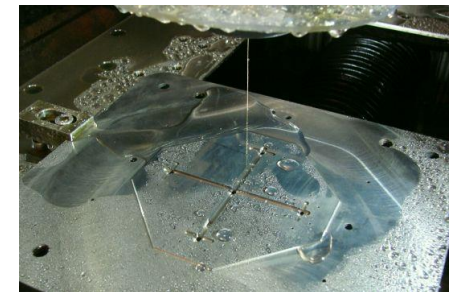
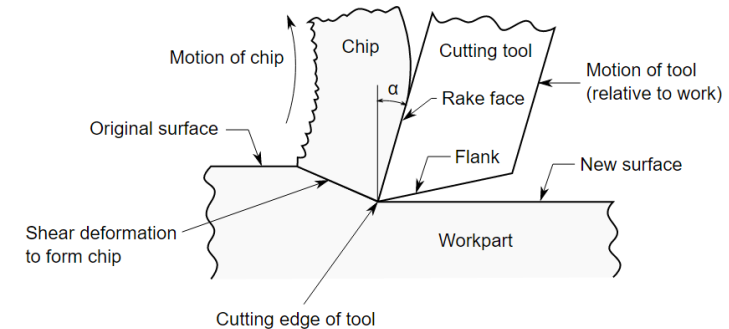
- válcování – plechy, tyče, fólie (a)
- protlačování – tyče, trubky, profily (b)
- volné kování (c)
- zápustkové kování (d)
- tažení – dráty (e)



Obrábění

Dosažení požadovaného tvaru výrobku a kvality povrchu odebráním materiálu

- soustružení (rotující obrobek, nůž se posouvá po povrchu). Mechanické / CNC
- frézování (rotující fréza, obrobek se posouvá)
- vrtání
- broušení, leštění
- řezání (pásová pila, laser, tlaková voda, drátořez – elektrojiskrové řezání)



Drátořez (elektrojiskrové řezání)



Soustruh



CNC soustruh

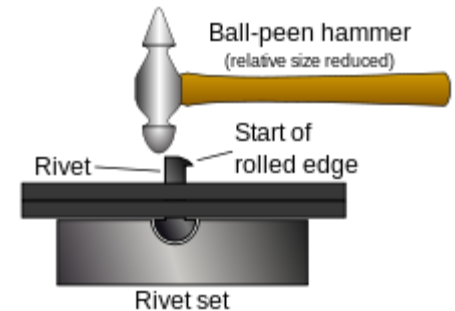


Frézka

Spojování (1)

Nýtování

- nerozebíratelné mechanické spoje
- nýtování za tepla / za studena
- přístup z obou stran / jednostranné nýty



Trhací nýt a nýtvací kleště

Spojování (2)

Šroubové spoje

Lepení

- bez tepelného ovlivnění
- bez vrubů
- nižší pevnost

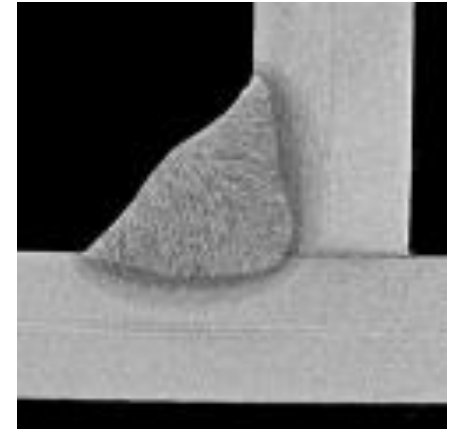
Pájení

- pájka – slitina s nižším bodem tání než spojované součásti. Měkké pájky (Pb, Sn) – do 500°C, tvrdé pájky (mosazné) – nad 500°C
- mechanismus: adheze kovů, difuze (při vyšší teplotě)
- nižší pevnost

Spojování (3)

Svařování

- svařování plamenem (acetylen + kyslík – autogen)
- svařování elektrickým obloukem – tavné / netavné elektrody, ochranná atmosféra
- odporové svařování – spojované materiály mezi elektrodami
- laserové svařování
- svařování elektronovým paprskem



Silné lokální tepelné ovlivnění materiálu – svár má odlišné mechanické a korozní vlastnosti



Povrchové úpravy (1)

Mechanické úpravy

- pískování, otryskávání – odstranění nečistot

Chemické úpravy

- odmašťování (H_2SO_4 , HCl , $NaOH$, CCl_4)
- černění - brunýrování ($NaOH + NaNO_3 + NaNO_2$)
- chromátování (pasivace) hliníku
- fosfátování – podkladová vrstva pro nátěry
- chemické niklování

Elektrochemické úpravy

- galvanické pokovování (předmět jako katoda, rozpouštěná anoda z povlakového kovu) – galvanické zinkování, niklování, chromování
- anodická oxidace – eloxování hliníku (předmět jako anoda) – na povrchu tvrdá a korozně odolná vrstva Al_2O_3

Povrchové úpravy (2)

Tepelné a chemicko-tepelné povrchové úpravy

- žárové pokovení (např. žárové zinkování)
– ponoření do roztaveného kovu, silný kompaktní povrch
- plazmové nástřiky – tvrdé a chemicky odolné povrchové vrstvy
- cementace ocelí (obohacení uhlíkem)
- nitridace ocelí (obohacení dusíkem)



Nátěry