

NAUKA O MATERIÁLU

Obsah:

- 1) Atom – základní stavební prvek hmoty
- 2) Druhy chemických vazeb
- 3) Krystalové mřížky
- 4) Vady mřížek
- 5) Difuze
- 6) Základní termodynamické a kinetické pojmy
- 7) Gibbsův zákon fází
- 8) Tuhé roztoky a jejich rozpustnost
- 9) Krystalizace čistého kovu
- 10) Krystalizace slitin
- 11) Binární diagramy
- 12) Diagram Fe – Fe₃C
- 13) Diagram Fe – C
- 14) Primární austenitizace
- 15) Sekundární austenitizace
- 16) Mechanismy růstu austenitického zrna
- 17) Průběh perlitické přeměny
- 18) Průběh bainitické přeměny
- 19) Průběh martenzitické přeměny
- 20) IRA diagram eutektoidní oceli
- 21) IRA diagram podeutektoidní oceli
- 22) IRA diagram nadeutektoidní oceli
- 23) Technické slitiny železa
- 24) Doprovodné a nežádoucí prvky, legury
- 25) Tepelné zpracování ocelí
- 26) Chemicko-tepelné zpracování ocelí
- 27) Kontrolní otázky
- 28) Použitá literatura

1) Atom – základní stavební prvek hmoty

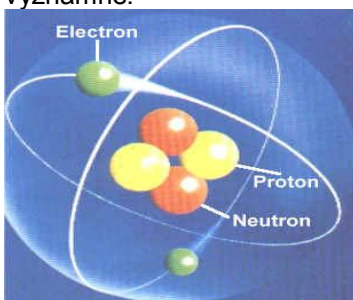
Atom je základní částice hmoty dále chemicky nedělitelná. Z hlediska strojírenské technologie je důležitá, protože určuje vlastnosti hmoty.

Atom se skládá z:

- 1) jádra (protony a neutrony)
- 2) obalu (elektrony)

Pozn.:

Další částice, jako např. fotony, pozitrony, hadrony apod. nejsou z hlediska strojírenské technologie významné.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Protony: kladně nabitě částice, které jsou zhruba stejně hmotné jako neutrony a cca 2000x hmotnější než elektrony. Proto je hmotnost atomu soustředěna do jádra. Jejich množství určuje tzv. protonové číslo, které určuje pořadí prvku v periodické soustavě (viz. chemie).

Neutrony: částice, které nenesou žádný el. náboj, ale jejich množství v jádře určuje atomovou hmotnost. Některé prvky tvoří tzv. **izotopy**, tj. prvky s konstantním počtem protonů (tím i elektronů), ale odlišným množstvím neutronů. Příkladem je třeba vodík. Protium obsahuje 1P + 1e, Deuterium 1P+1N+1e a nakonec Tritium (tricium), který má 1P+2N+1e. Dalšími známými prvky tvořícími izotopy je uhlík ^{12}C a ^{13}C , případně uran ^{235}U a ^{238}U .

Elektrony: tvoří obal atomu, pohybují se v orbitalech (místa s nejpravděpodobnějším výskytem elektronu) a jsou uspořádány ve **sférách**. Poslední slupka atomu je nazývána **valenční sférou**, která určuje vlastnosti prvku a jejich elektronegativitu. Pokud je valenční sféra uzavřená, hovoříme o **netečném, inertním prvku** (helium, krypton, argon...). Pokud valenční sféra obsahuje méně než polovinu možných elektronů (maximálně však 8), pak má prvek nízkou elektronegativitu a za určitých podmínek elektrony ztrácí – tj. tvoří kladně nabitě ionty (**kationty**), v opačném případě elektrony z okolí přibírá a tvoří záporné ionty (**anionty**). Kovy patří mezi prvky s velmi nízkou elektronegativitou – elektrony jsou k jádru vázány velmi slabě a proto se volně pohybují mezi jádry → způsobují elektrickou i tepelnou vodivost kovů.

2) Druhy chemických vazeb

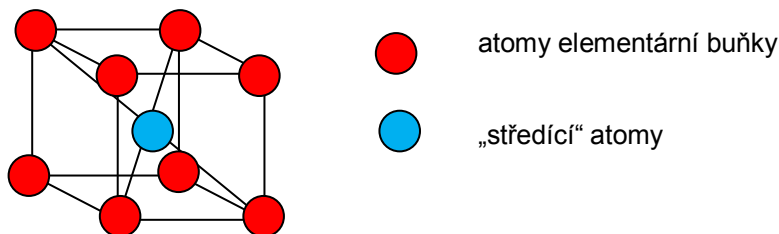
- iontová** - slučuje prvky s velkou a nízkou elektronegativitou, vzniklá molekula je polární.
- kovalentní** – slučuje prvky se stejnou elektronegativitou. Atomy si své elektrony nepředávají, ale sdílejí je společně, vzniklá molekula je nepolární.
- kovová** – valenční elektrony volně putují v mřížce, tvoří tzv. elektronový mrak, který způsobuje vodivost kovů.

3) Krystalové mřížky

Kromě rtuti jsou kovy za normální teploty všechny ve stavu pevném, atomy jsou uspořádány v mřížkách, ve kterých je drží meziatomové síly, tzv. vazby.

Příklady neznámějších mřížek:

Krychlová prostorově středěná mřížka



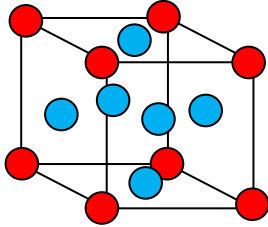
Počet atomů v elementární mřížce: 9

Počet atomů na 1 mřížku : $2 (8 \times 1/8 + 1)$

Příklady prvků, které v ní krystalují: Fe_α , Fe_β , Fe_δ , Cr, Mo, Na, Ta, W, V....

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Krychlová plošně středěná mřížka

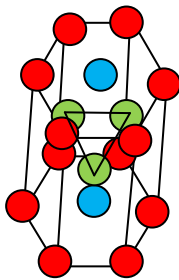





Počet atomů v elementární mřížce: 14

Počet atomů na 1 mřížku: $4 (8 \times 1/8 + 6 \times 1/2)$

Příklady prvků, které v ní krystalují: Fe_v, Ni, Pt, Cu, Ag, Au, Pb (velmi tvárné)

Šesterečná mřížka bazálně středěná



-  atomy elementární buňky
-  bazálně středící atomy
-  atomy uvnitř mřížky

Počet atomů v elementární mřížce: 17

Počet atomů na 1 mřížku: $6 (12 \times 1/6 + 2 \times 1/2 + 3)$

Příklady prvků, které v ní krystalují: Zn, Mg, Ti, Zr, Co

4) Vady mřížek

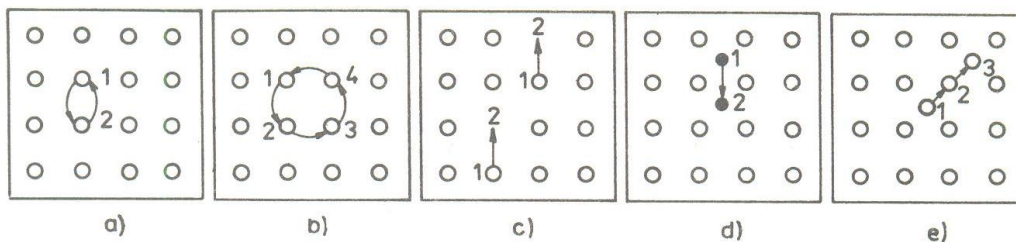
viz. text „Polotovary vyráběné tvářením za tepla“

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

5) Difuze

Difuze je pronikání částic z jednoho prostředí do druhého.

Mechanismy difuze



- výměnný mezi 2 atomy
- výměnný kruhový
- vakantní
- intersticiální
- intersticiální s vytlačení atomu z uzlové do mezuzlové polohy

Nejčastěji probíhá kombinace vakantního a intersticiálního mechanismu. Pro výměnný mechanismus jsou potřebné velké vnější síly.

Intenzita difuze je přímo úměrná teplotě. Ustává při tzv. absolutní nule, to je při 0°K .

6) Základní termodynamické a kinetické pojmy

Termodynamika je obor, který se zabývá:

- vzájemnými přeměnami různých druhů energie
- stanovením směrů fyzikálních a chemických pochodů
- podmínkami rovnováhy soustav

Termodynamická soustava je objekt, který je podrobován termodynamickému studiu (např. určitý objem vyplněný plynem, kapalinou apod.).

Stav této termodynamické soustavy určují:

- složení
- teplota
- tlak

Složkou termodynamické soustavy může být chemický prvek nebo chemická sloučenina, která při změnách nemění své fyzikální ani chemické vlastnosti.

Fáze je ohraničená oblast soustavy, kde dochází k náhlým změnám vlastností. Může být tvořena jednou nebo více složkami a má stálé chemické i fyzikální vlastnosti.

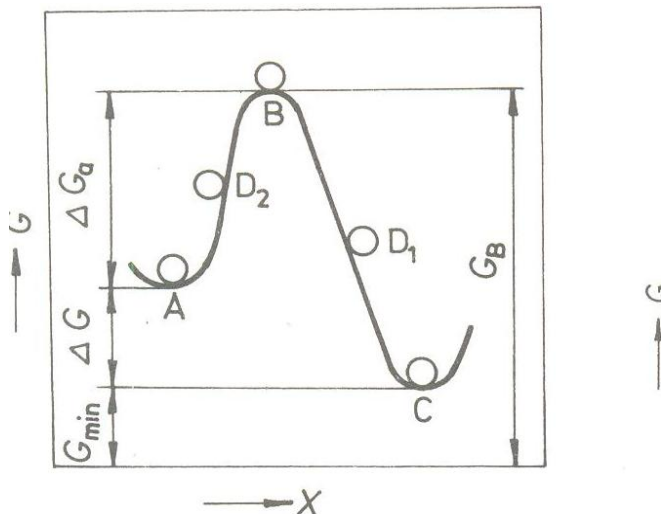
Činitelé ovlivňující soustavu:

- nezávisle proměnný** – může nabývat libovolných hodnot (p , T)
- závisle proměnný** – nelze je libovolně měnit (čas, objem, hustota)

Termodynamické kritérium rovnováhy soustavy při konstantním tlaku a teplotě vyjadřujeme pomocí **volné entalpie**. Ta vyjadřuje tepelný obsah soustavy, tj. celkovou energii soustavy při konstantním tlaku a jej ji možno přeměnit na práci.

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Stavy soustavy:



Obr. 2. Závislost volné entalpie G soustavy na jejím stavu X

G_B – energetická bariéra, ΔG_a – aktivační volná entalpie, ΔG – rozdíl volné entalpie mezi stavem se stabilní rovnováhou C

a stavem s metastabilní rovnováhou A ,

G_{min} – minimální volná entalpie pro stav stabilní rovnováhy C , B – nestabilní

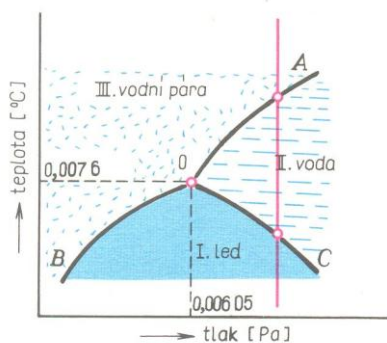
rovnovážná poloha, D – nerovnovážná

poloha

V rovnovážném stavu soustava nemůže svůj stav samovolně změnit, v nerovnovážném stavu ano, postupně se vždy přibližuje ke stavu rovnovážnému.

7) Gibbsův zákon fází

Zákon fází pro 2 proměnné (p - T)



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

$$v = n + 2 - f$$

v.....počet stupňů volnosti (= činitelů, které můžeme změnit, aniž by se změnil počet fází)

n.....počet složek (pro soustavu led-kapalina-pára $n = 1 = \text{H}_2\text{O}$)

f.....počet fází

O ... trojný bod ($f = 3$)

$$v = 1 + 2 - 3 = 0$$

OC ...tání, tuhnutí

OA...vypařování, kondenzace

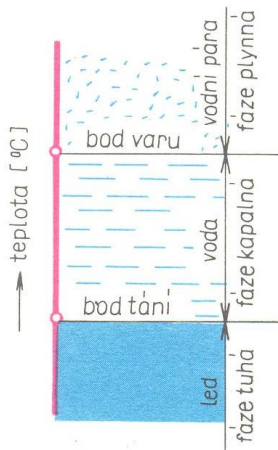
OB.....sublimace, desublimace

$$v = 1 + 2 - 2 = 1$$

I, II, III ... oblast s jednou fází

$$v = 1 + 2 - 1 = 2$$

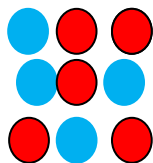
Zákon fází pro 1 proměnnou (T)



$$v = n + 1 - f$$

8) Tuhé roztoky a jejich rozpustnost

a) substituční



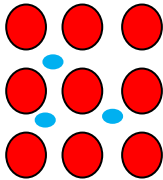
● rozpouštěná látka

● rozpouštědlo

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Rozpustnost: dokonalá
částečná

b) *intersticiální*



Rozpustnost: pouze částečná

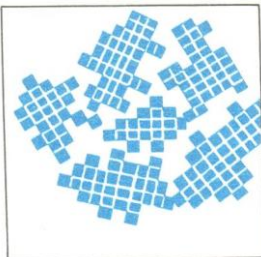
9) *Krystalizace čistého kovu*

Postup krystalizace:

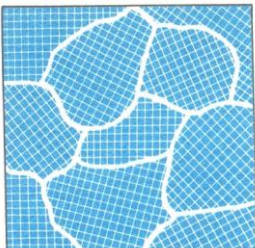
a) vznik zárodků (nukleace)



b) růst zrn

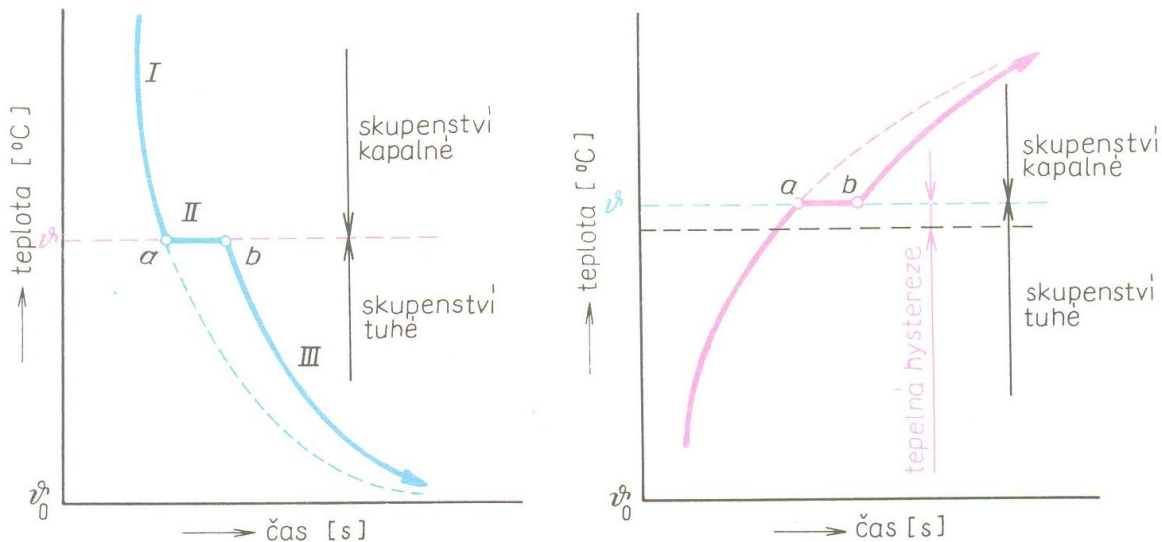


c) vytvoření hranic zrn (místa, kde se dotýkají různě orientované mřížky)

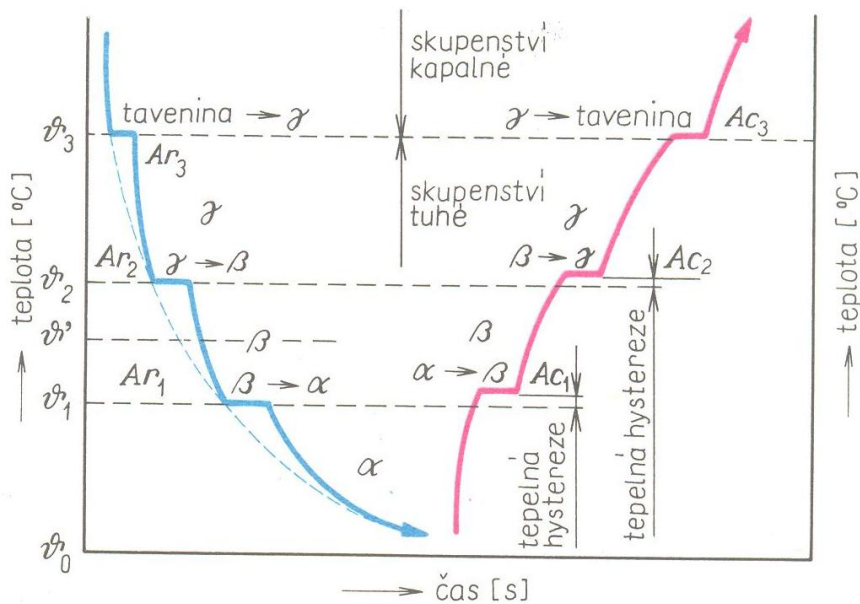


INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Křivka tuhnutí a tání nepolymorfního kovu

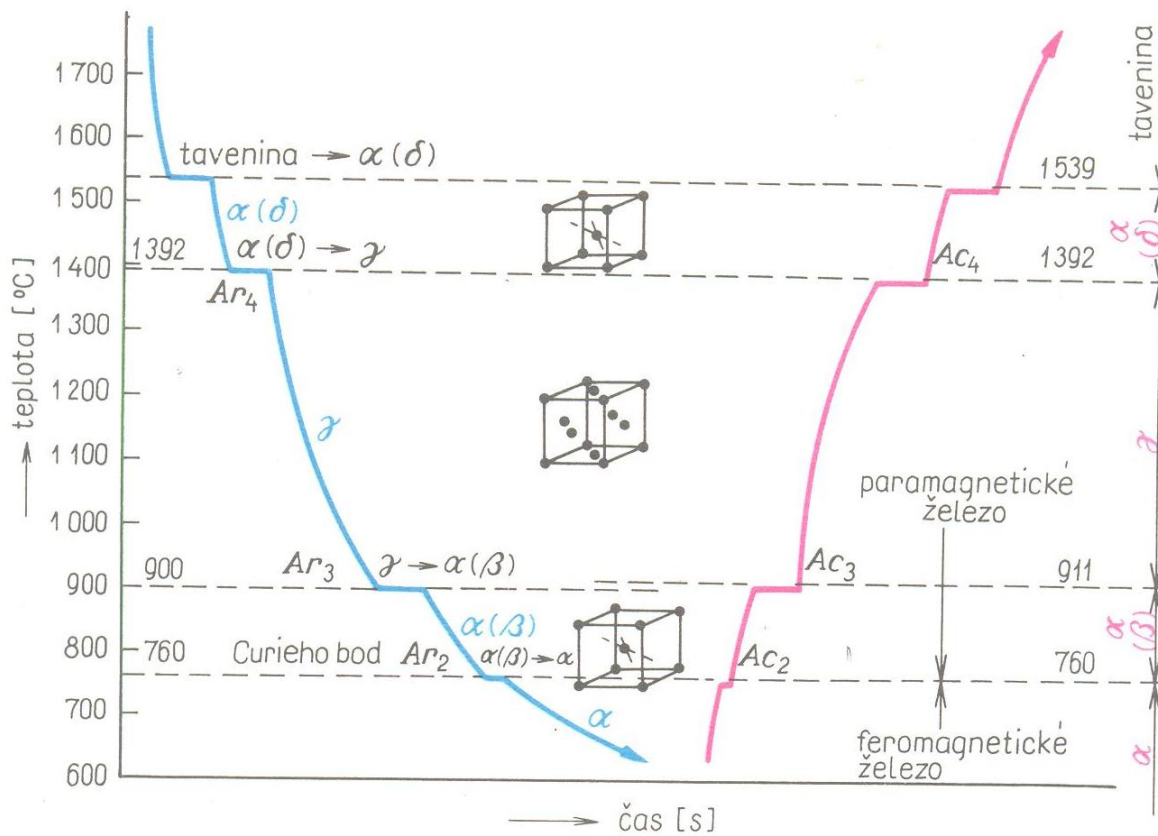


Křivka tuhnutí a tání polymorfního kovu

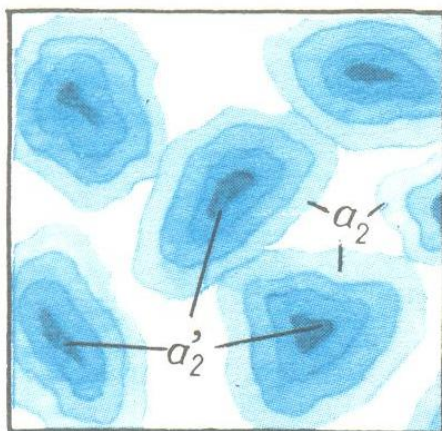


INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Křivka tuhnutí a tání čistého železa



10) Krystalizace slitin



Složení zrna není homogenní, ale díky difuzi se postupně vyrovná.

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Binární slitiny:

jsou to slitiny tvořené 2 prvky, které v **tekutém stavu mohou být**:

- dokonale rozpustné** (v jakémkoli poměru tvoří homogenní směs)
- částečně rozpustné** (do určitého poměru tvoří homogenní směs)
- nerozpustné** (netvoří homogenní směs)

Pro konstrukci binárních diagramů jsou brány v úvahu pouze dokonale rozpustné kapalně roztoky, které pak v **tuhém stavu mohou být**:

- dokonale rozpustné** (substituční TR)
- částečně rozpustné** (intersticiální nebo substituční TR)
- nerozpustné**

11) Binární diagramy

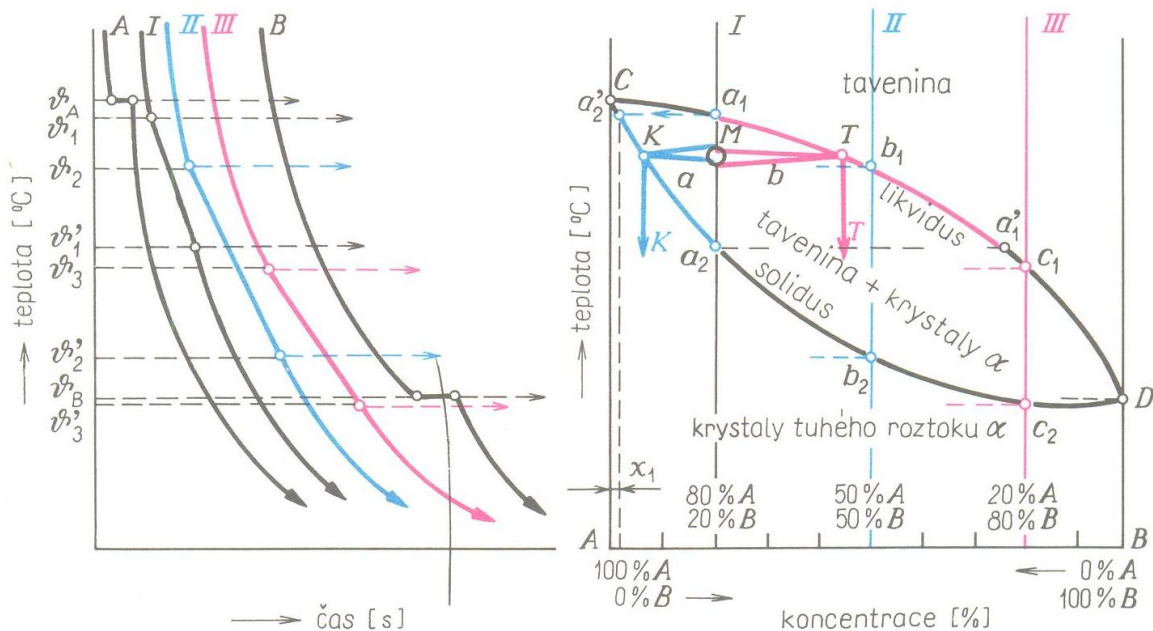
Likvidus: křivka vzniklá spojením počátků krystalizace

Solidus: křivka nebo přímka vzniklá spojením konců krystalizace

Věty o solidu:

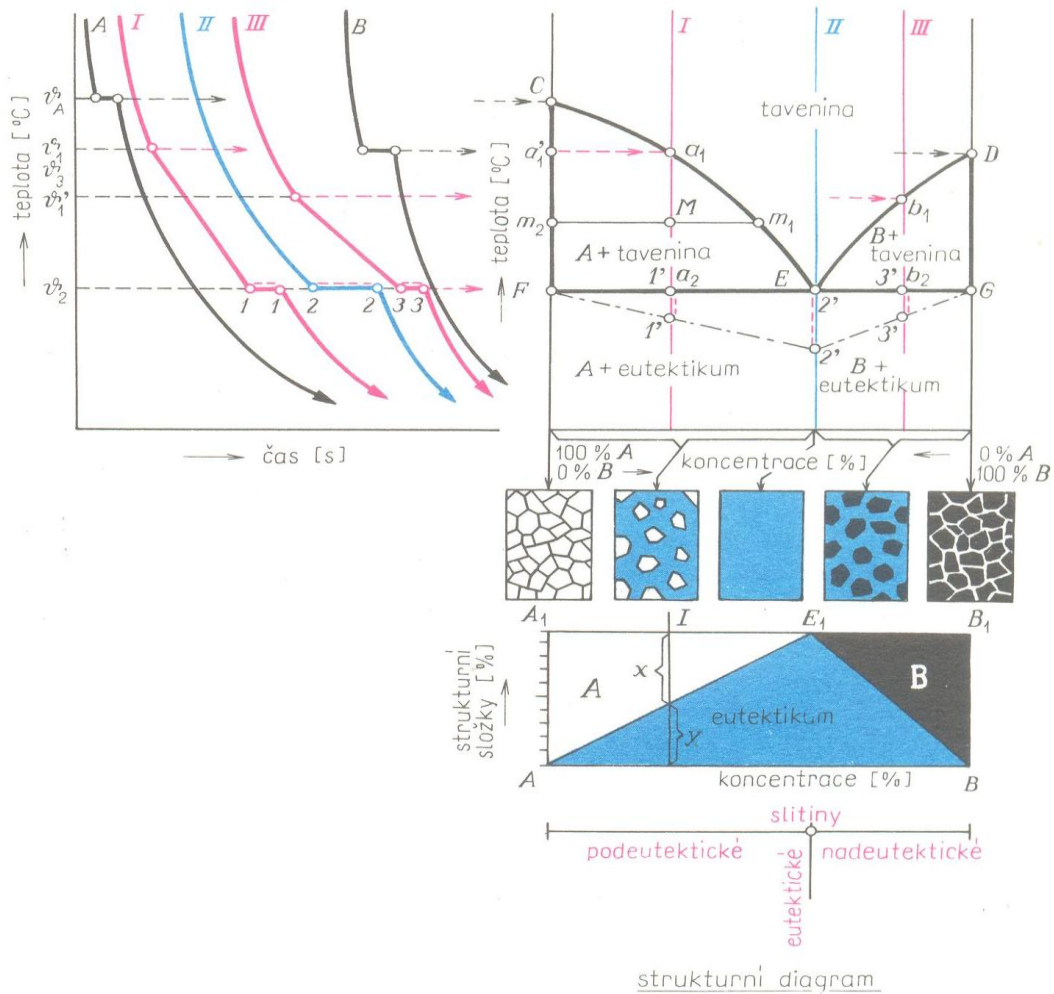
- Je-li solidus **celý křivkový**, pak se jedná o slitinu tvořenou kovy dokonale rozpustnými v tuhém i tekutém stavu
- Je-li solidus **celý přímkový**, jedná se o 2 kovy nerozpustné v tuhém stavu
- Je-li solidus tvořený **přímkou** (přímkami) **a křivkou** (křivkami), jedná se o dva kovy částečně rozpustné v tuhém stavu

ad 1)



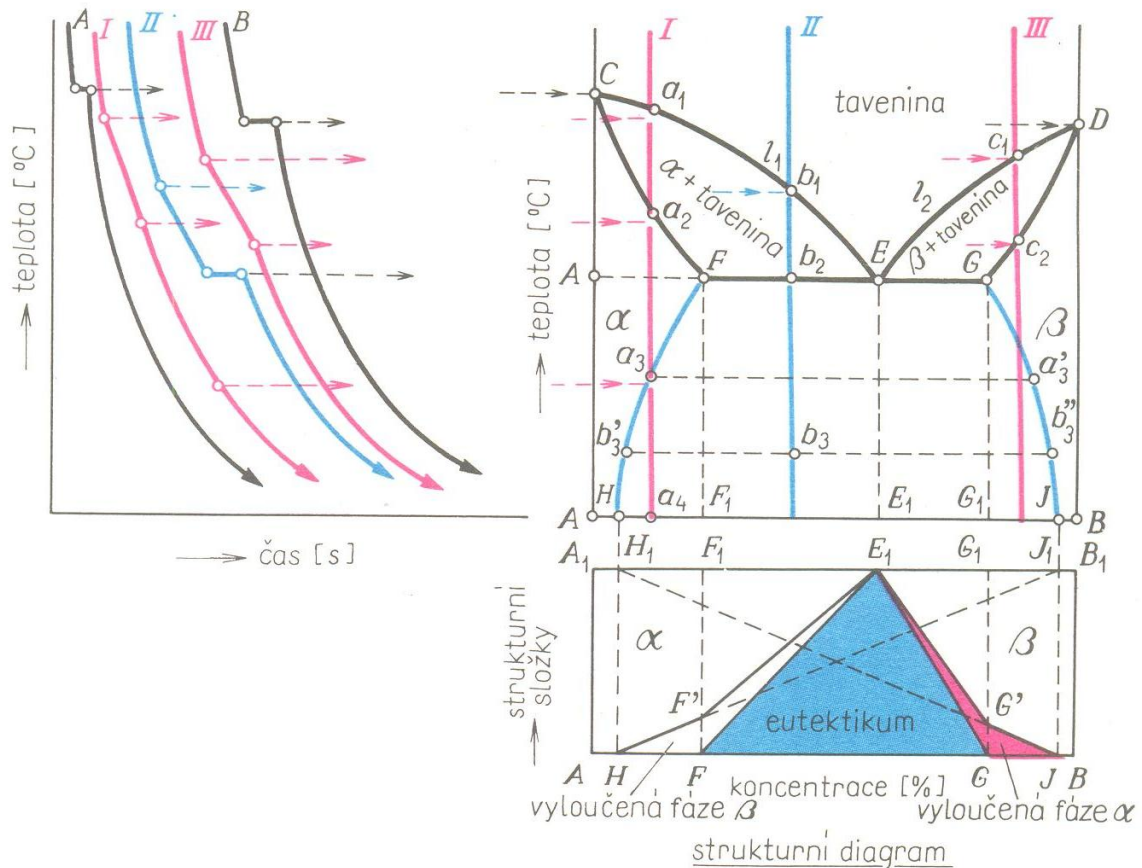
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

ad 2)



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

ad3)



12) Diagram Fe-Fe₃C

Železo a uhlík tvoří intersticiální tuhý roztok s omezenou rozpustností. C je maximální atom, který je železo schopno přijmout.

Tato soustava je metastabilní, tzn., že obsahuje uhlík ve formě Fe₃C

Základní pojmy:

Austenit (γ) : tuhý roztok uhlíku v Fe _{γ} . Maximálně rozpustí 2,14 % C při teplotě 1 147 °C a 0,765 % C při teplotě 727 °C. Má 14-ti atomovou krystalovou mřížku (krychlová plošně středěná)

Ferit (α): tuhý roztok uhlíku v Fe _{α} . Maximálně rozpustí 0,02 % C při teplotě 727 °C, za normální teploty jen 0,008 % C. Má 9-ti atomovou mřížku (krychlová prostorově středěná)

Cementit (C_I – primární, C_{II} -sekundární, C_{III} – terciální) : nejtvrďší složka diagramu, obsahuje stále 6,67 % C .

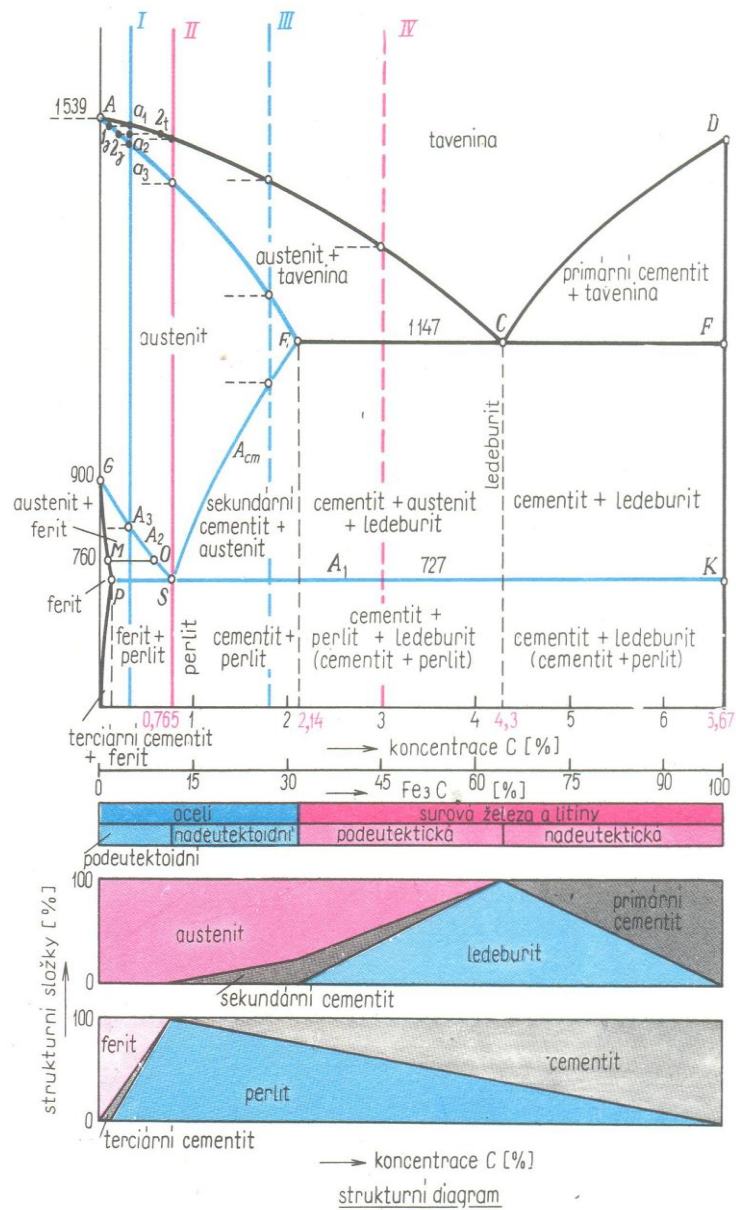
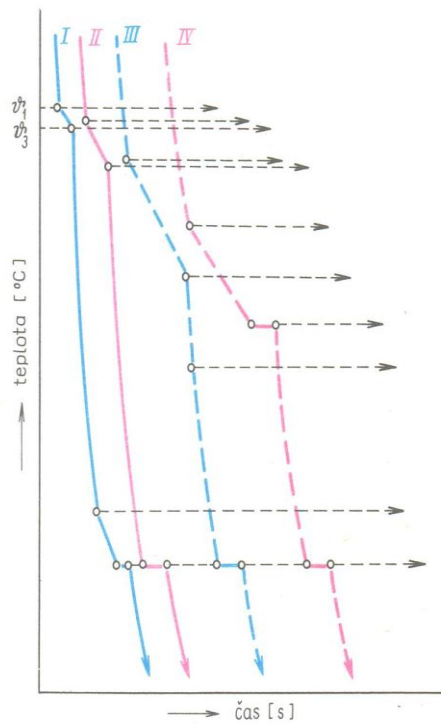
Perlit (P) : eutektoid tvořený feritem a cementitem při teplotě 727 °C z austenitu.

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Ledeburit (L , L^{TR}) – eutektikum tvořené austenitem a cementitem z taveniny při teplotě 1 147 °C.

Delta-ferit (δ) : tuhý roztok uhlíku v Fe_δ , má prostorově středěnou 9-ti atomovou mřížku, rozpustí maximálně 0,10% C při teplotě 1492 °C.

Grafit (C) : uhlík ve formě lupínků



13) Diagram Fe-C

Tato soustava je stabilní, obsahuje uhlík ve formě grafitu.

Ke krystalizaci v této soustavě dochází u slitin, které mají $C \geq 2\%$ (do 4,3 %C může probíhat krystalizace ve stabilní i metastabilní soustavě – záleží na rychlosti chlazení /velká – metastabilní/, nad 4,3 % C pak pouze ve stabilní soustavě).

14) Primární austenitizace

Probíhá během procesu přeměny taveniny v tuhou fázi a jedná se o proces vzniku austenitu. Ten může vzniknout:

- přímo z taveniny** – u ocelí, které mají $\geq 0,53\%$ C. Vzniklé zrno má tvar dendritu - stromečkovitý útvar, který vzniká na cizím zárodku (stěně formy) a roste velmi rychle kolmo na stěnu formy. Uvnitř formy vzniká zrno na vlastním zárodku, které má pravidelnější tvar.
- překrystalizací delta-feritu** – u ocelí, které mají $\leq 0,1\%$ C. Velikost zrna austenitu je dána velikostí zrna delta-feritu.
- částečně z taveniny a částečně z delta-feritu** – u ocelí, které mají $> 0,1$ a $< 0,53\%$ C

Pozn. Dendrit se při teplotách 200 – 300 °C pod solidem rozpadává, tzv. granuluje.

15) Sekundární austenitizace

Probíhá během ohřevu, který se provádí např. před tvářením za tepla, tepelným zpracováním apod. Velikost zrna austenitu je závislá na velikosti zrna předchozí struktury a náchylnosti oceli ke zhrubnutí zrna, resp. na teplotě austenitizace.

16) Mechanismy růstu austenitického zrna

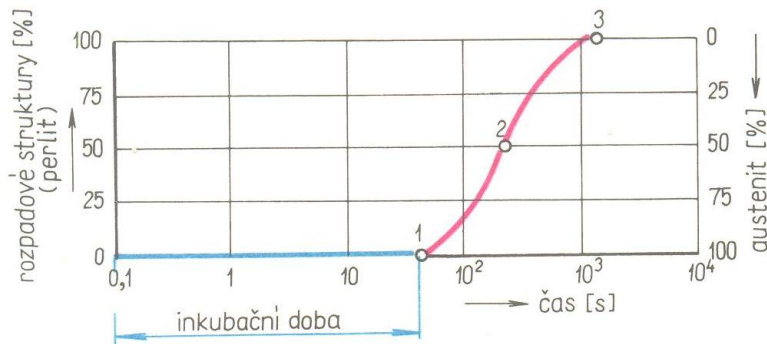
- srůstem několika zrn** – rychlá změna
- posuvem hranic zrn** – některá zrna rostou na úkor vedlejších zrn, pomalá změna

17) Průběh perlitické přeměny

Austenit se na perlit rozpadá v rozmezí teplot 727 a cca 500 °C. Nejdříve se vyloučí destička cementitu a pak destičky feritu (podle schopnosti pojmout množství uhlíku).

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Kinetická křivka přeměny:



18) Průběh bainitické přeměny

Bainitická přeměna probíhá mezi teplotami cca 500 až 300 °C, v oblasti IRA diagramu pod nosem křivky. Bainit je ferit přesycený uhlíkem, který nestačil oddifundovat z mřížky, protože difuze je mírně potlačena vlivem nižších teplot. Podle teploty vzniku se dělí na horní bainit (houževnatější) a dolní bainit (tvrdší, křehčí).

Kinetická křivka přeměny: nedochází ke 100% změně austenit → bainit, ve struktuře zůstává určitý podíl zbytkového austenitu, který ovlivňuje mechanické vlastnosti materiálu.

19) Průběh martenzitické přeměny

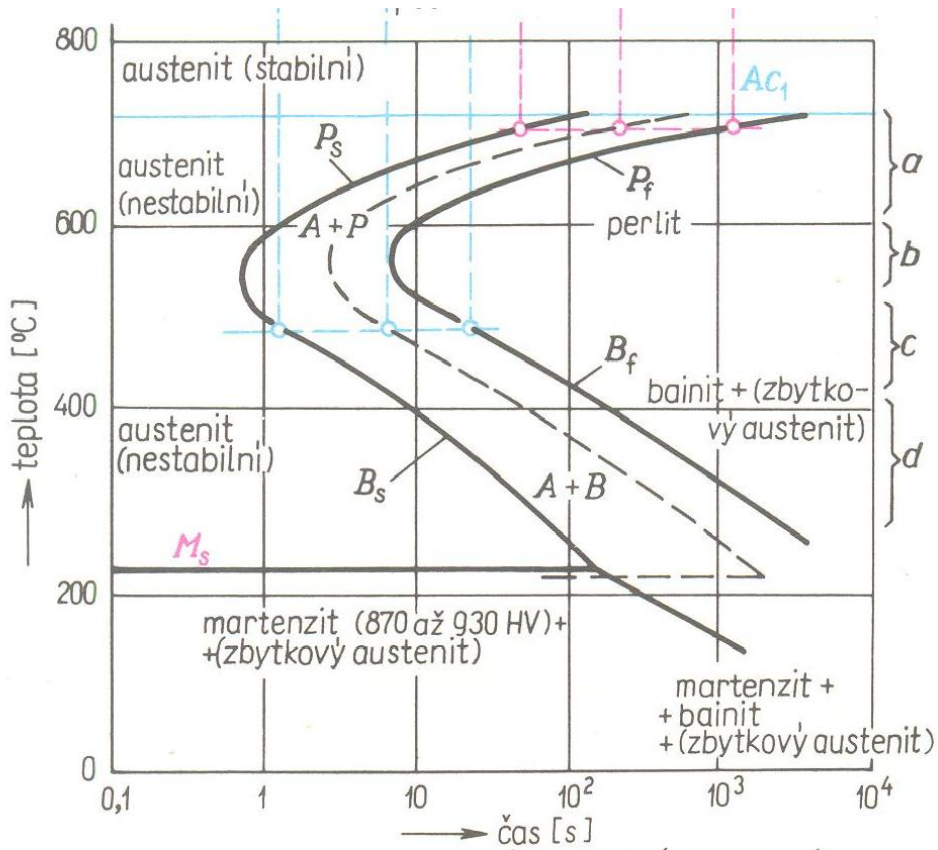
Martenzitická přeměna probíhá při teplotách pod 300 °C a dochází k potlačení difuze. Vlivem toho se mění krychlová mřížka v tetragonální (kvádrovou), která se vyznačuje vysokou tvrdostí a křehkostí.

Kinetická křivka přeměny: viz bainitická křivka

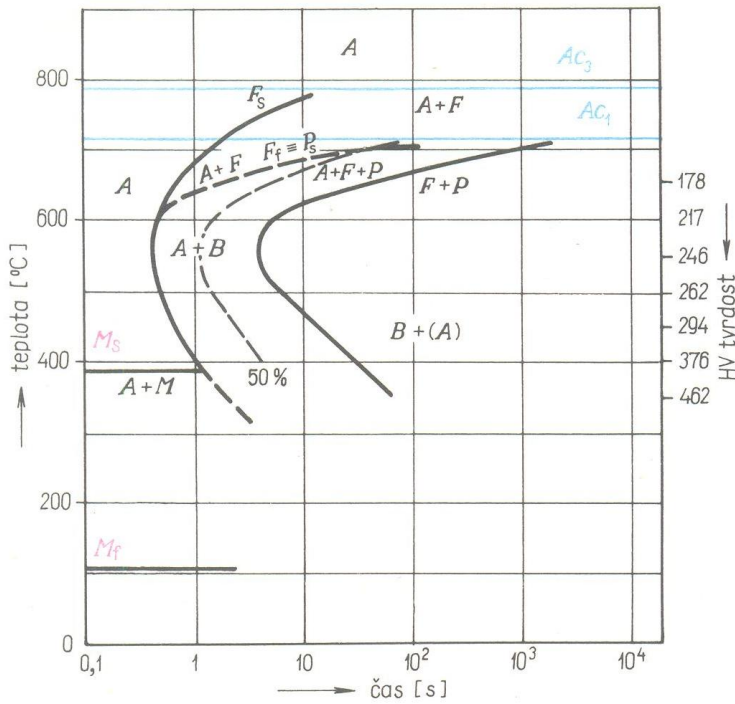
20) IRA diagram eutektoidní oceli

IRA – izotermický rozpad austenitu

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

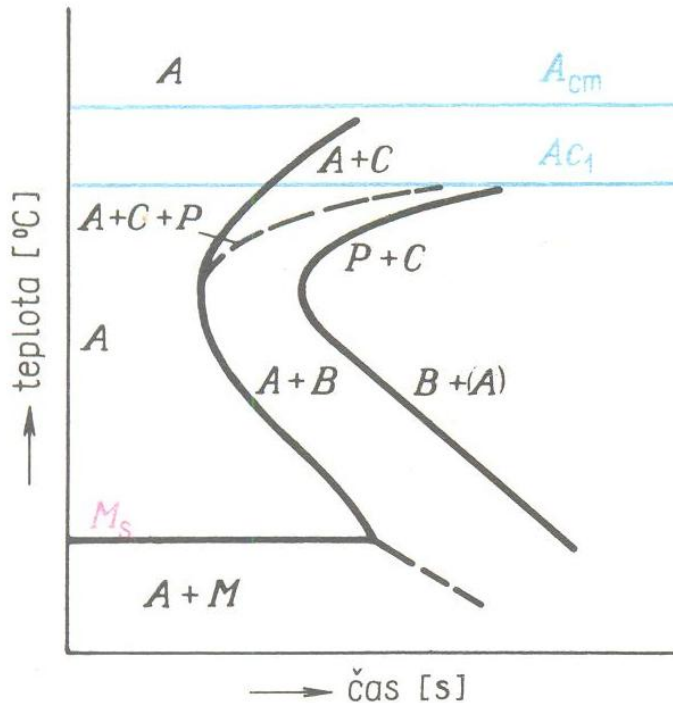


21) IRA diagram podeutektoidní oceli



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

22) IRA diagram nadeutektoidní oceli



23) Technické slitiny Fe

- ocel – $C \leq 2,14$ ve formě Fe_3C
- bílá litina – $C \geq 2,14$ % ve formě Fe_3C
- šedá litina – $C \geq 2,14$ % ve formě lupínkového grafitu
- tvárná litina – vzniká ze šedé litiny očkovaním hořčíkem, který sbalí lupínky grafitu do kuliček (globulí)

24) Doprovodné, nežádoucí prvky a legury

Doprovodné prvky:

Uhlík – ovlivňuje tvrdost materiálu, jeho strukturu, kalitelnost...

Mangan – stabilizuje cementit, zvyšuje houževnatost a pevnost, vázáním na S a O_2 zlepšuje kvalitu oceli

Křemík – váže se na O_2 , zlepšuje slévatelnost, zhoršuje tvárnost za studena

Měď – zlepšuje odolnost proti atmosférické korozi, zhoršuje tvárnost za tepla

Nežádoucí prvky:

Síra – způsobuje křehkost při tváření za tepla (sulfidy obalují austenitická zrna)

Fosfor – způsobuje křehkost za studena, snižuje vrubovou houževnatost

Kyslík – zhoršuje vrubovou houževnatost, ve sloučeninách s Mn, Al, Si způsobuje zjemnění zrna

Vodík – způsobuje křehkost, tvoří tzv. vločky

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Dusík – tvoří nitridy, které zvyšují tvrdost a zhoršují vrubovou houževnatost, tvárnost (stárnutí ocelí)

Legury:

Přidávají se záměrně do ocelí ke zlepšení mechanických a chemických vlastností ocelí.

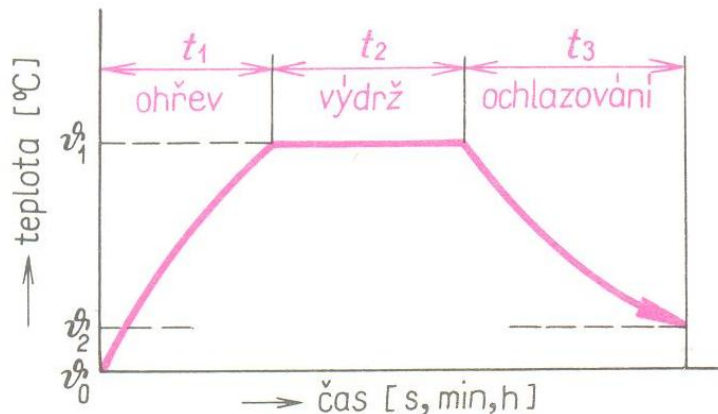
Dělí se na karbidotvorné a nekarbidotvorné.

Jsou to např. Cr, Ni, Mn, Si, Mo, W, V, Ti, Ta, Al,....

25) Tepelné zpracování ocelí

Podstata:

Tepelné zpracování ocelí spočívá v ohřevu na předepsanou teplotu, prohřátí materiálu a následném různě rychlém ochlazení, které zajistí získání požadovaných mechanických vlastností materiálu.



KALENÍ:

Základní pojmy:

Kalitelnost: schopnost materiálu být zakalen. Oceli s obsahem C $\geq 0,3\%$ jsou spolehlivě kalitelné. U slitinových ocelí stačí %C menší, protože legury tvoří s uhlíkem tvrdé karbidy.

Prokalitelnost: schopnost materiálu dosáhnout konkrétní tvrdosti do určité hloubky.

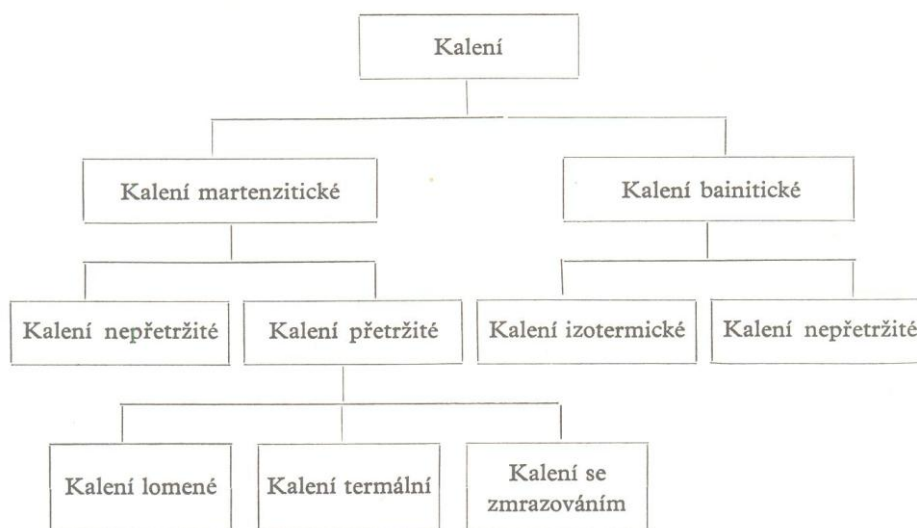
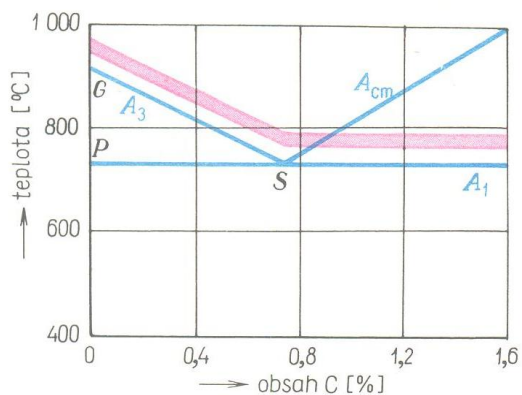
Struktury zakalené oceli:

- Bainit:** vzniká rychlým zchlazením na teplotu cca 500 – 350 °C. Je to ferit přesycený uhlíkem. Je tvrdý, otěruvzdorný, ale i houževnatý.
- Martenzit:** vzniká rychlým zchlazením na teplotu cca 300 – 200 °C. Jeho mřížka se mění v tetragonální, tzn. protaženou v jedné ose. Přeměna je bezdifuzní, uhlík zůstává uzavřený v mřížce, což vyvolá velké vnitřní pnutí. Tím vznikne struktura velmi tvrdá a křehká.

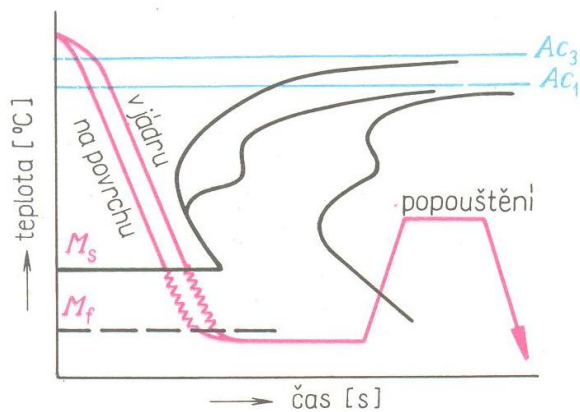
Kalící prostředí:

- Voda** – odvádí teplo intenzivně, ale nerovnoměrně. Vzniklý parní polštář zpomaluje chladnutí.
- Olej** - odvádí teplo rovnoměrněji a pomaleji. V oceli vzniká menší vnitřní pnutí.
- Solné lázně** – odvádí teplo velmi rovnoměrně.
- Kovové lázně** – viz. solné lázně. Používá se např. Pb pro spec. kalení, tzv. patentování.
- Vzduch** – vhodný pouze pro tzv. samokalitelné oceli, které se používají na výrobu zápustek.

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

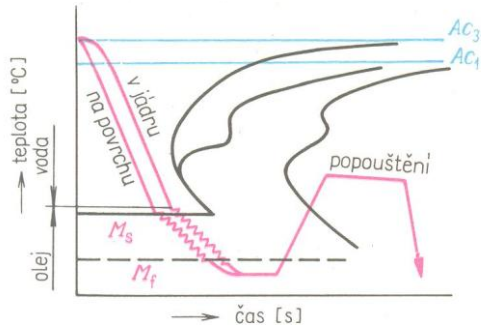


Kalení martenzické: nepřetržité

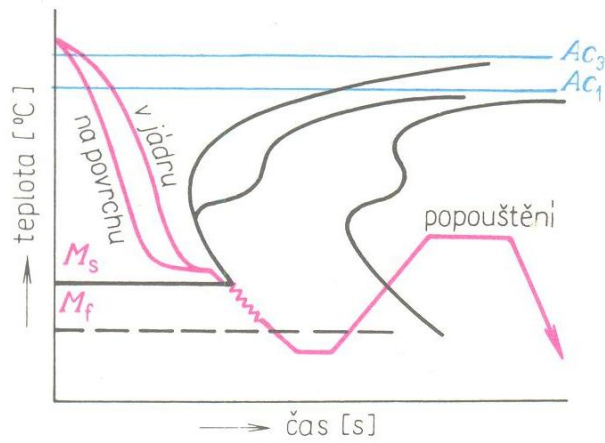


INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

přetržité - lomené



přetržité - termální



přetržité – se zmrazováním

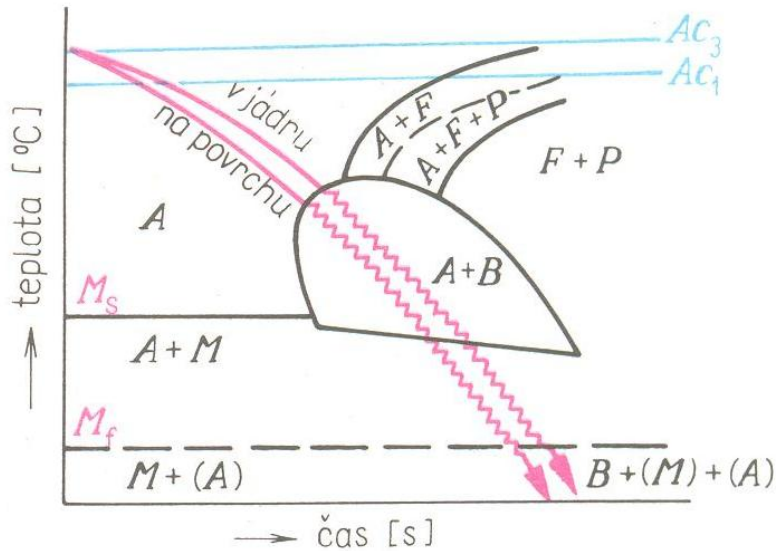
Pro oceli, které mají M_f po 0°C

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

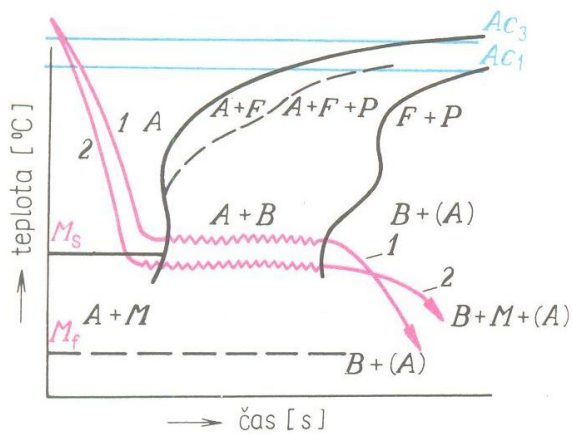
Kalení bainitické:

nepřetržité

Pro oceli s tzv. předsunutou bainickou oblastí v ARA diagramu (anizotermický rozpad austenitu)

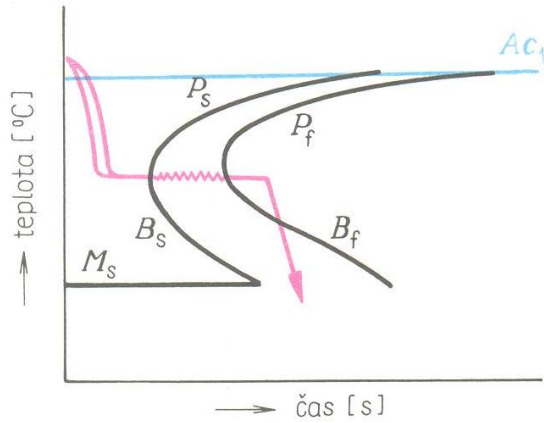


přetržité – izotermické kalení (1) a izotermického zušlechťování (2)



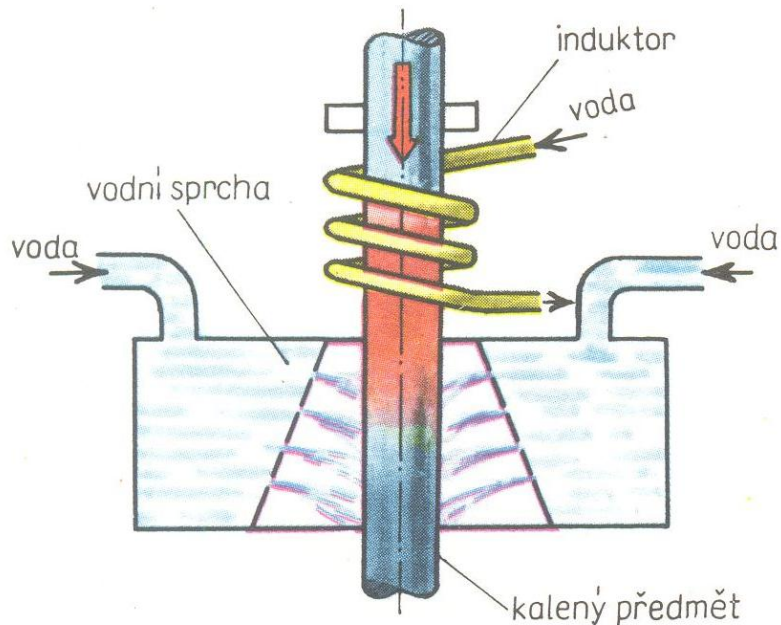
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

přetržité – patentování



Povrchové kalení:

vhodné pro oceli určené k cementování nebo s 0,45-0,6 % C



POPOUŠTĚNÍ

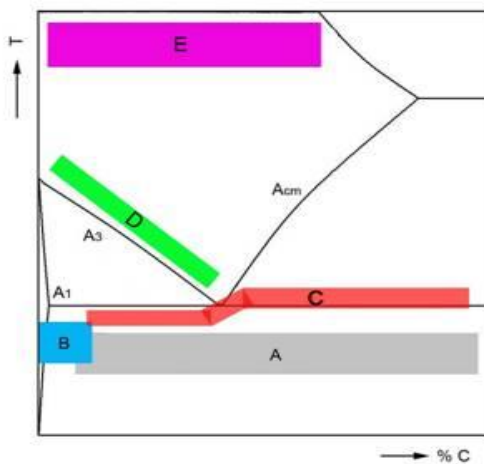
Popouštění se používá po kalení ke snížení křehkosti zakalené oceli, případně ke snížení obsahu zbytkového austenitu ve struktuře.

- Nízkoteplotní:** $T \leq 350 \text{ } ^\circ\text{C}$. Snižuje např. vnitřní pnutí v nástrojích a valivých ložiscích

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

- b) **Vysokoteplotní:** T cca 400-600 °C. Zvyšuje houževnatost, pevnost, mez únavy... Procesu se říká zušlechťování.

ŽÍHÁNÍ



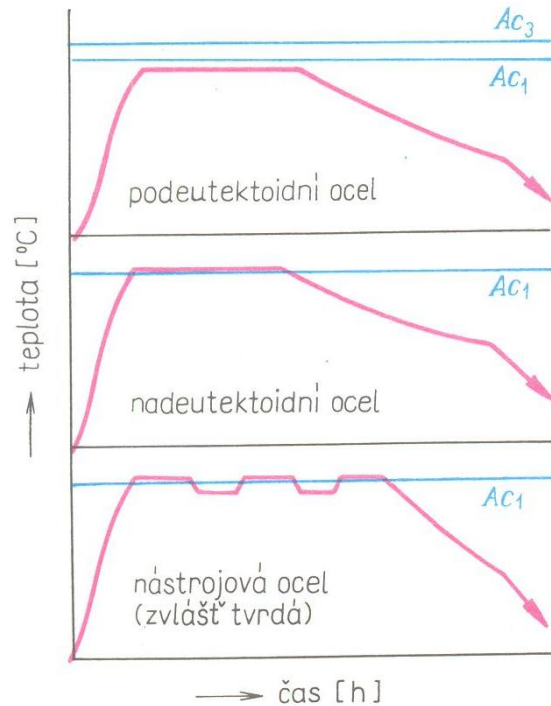
- A na odstranění vnitřního pnutí
 B rekrytalizační
 C na měkko
 D normalizační
 E homogenizační

Oblast žíhacích teplot

Žíhání bez překrytalizace:

- a) **ke snížení vnitřního pnutí:** T 500÷ 650 °C, prohřátí 1÷10 hod. Pro svarky a nenáročné odlitky
 b) **rekrytalizační :** T 550÷ 700 °C, prohřátí cca 1 hod. Mezioperační žíhání vylisků
 c) **na měkko :** T ≤ 727 °C. Změna lamelárního perlitu na globulární →zlepšení o-bitelnosti, tvárnosti....

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



Žihání s překrytalizací

- a) **normalizační** : T 30±50 °C nad Ac₃, Ac_m, prohřátí několik hodin, chlazení na vzduchu nebo regulované v peci. Pro zjemnění struktury odlitků, výkovků.....
- b) **homogenizační** : T 200±300 °C pod solidem, dlouhodobé prohřátí i chlazení. K vyrovnání chemického složení

Poznámka:

rekrytalizace – dochází k uvolnění vnitřních pnutí a rozdrobení textury

překrytalizace – dochází ke změně krystalové mřížky

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

26) Chemicko-tepelné zpracování

Nasycování povrchu součásti vhodným prvkem za zvýšené teploty, zpravidla s následným tepelným zpracováním.

Nejčastější druhy:

Cementování: nasycování povrchu uhlíkem před kalením při teplotě cca 900 °C na obsah cca 0,8 % C. Nauhličená vrstva je 0,5 – 1,5 mm.

Nitridování: nasycování povrchu dusíkem, který vytvoří tvrdé nitridy bez nutnosti kalení. Teploty procesu jsou 500 – 600 °C, nasycená vrstva cca 0,1 mm. Proces probíhá několik hodin.

Nitrocementování : sycení povrchu uhlíkem a dusíkem při teplotě cca 850 °C. Následuje kalení.

27) Kontrolní otázky

- 1) Popiš atom, protonové a nukleonové číslo, izotop
- 2) V jakých mřížkách krystalují Fe_{α} , Fe_{γ} , Fe_{δ}
- 3) Jaké znáš vady mřížek
- 4) Popiš mechanismy difuze
- 5) Vysvětli zákon fází a odvoď počet stupňů volnosti pro trojný bod
- 6) Jaké znáš druhy tuhých roztoků a na čem závisí jejich rozpustnost?
- 7) Jaký je rozdíl mezi tuhnutím slitiny a čistého kovu?
- 8) Popiš křivku tuhnutí polymorfního a nepolymorfního kovu.
- 9) Pracuj s binárními diagramy
- 10) Pracuj s diagramem Fe-Fe₃C
- 11) Vyjmenuj základní nežádoucí a doprovodné prvky, které se nacházejí v ocelích
- 12) Vyjmenuj některé legury a popiš jejich vliv na vlastnosti ocelí
- 13) Popiš politickou, bainitickou a martenzitickou přeměnu a konstrukci IRA diagramu
- 14) Popiš kalení
- 15) Popiš popouštění
- 16) Popiš žíhání
- 17) Popiš chemicko-tepelné zpracování

28) Použitá literatura:

Miroslav Hluchý a kolektiv: Strojírenská technologie 1, SNTL 1976
Zdroj obrázků: internet