

Ocel a slitiny železa

Petr Šidlof

Vlastnosti železa

- nejčastější prvek na Zemi (dle hmotnosti), nejdůležitější technický kov
- $T_M = 1539\text{ °C}$, $\rho = 7874\text{ kg/m}^3$ (20°C), $\rho = 6980\text{ kg/m}^3$ (tavenina při T_M),
 $a = 5120\text{ m/s}$
- čisté železo .. měkké, tvárné
- feromagnetické vlastnosti – do Curieho teploty 760°C
- roční produkce (2015): 1600 Mtun (1. Čína 822 Mtun, 2. Japonsko 110 Mtun,
3. USA 88 Mtun, 4. Indie 87 Mtun, 5. J.Korea 71 Mtun, ČR 5 Mtun)

Krystalické modifikace

- α -Fe α -ferit do 910°C bcc
- γ -Fe austenit 910-1400°C fcc
- δ -Fe δ -ferit 1400-1539°C bcc
- ε -Fe $p > 10\text{ GPa}$.. vnitřní zemské jádro hcp

Výroba železa

Surové železo

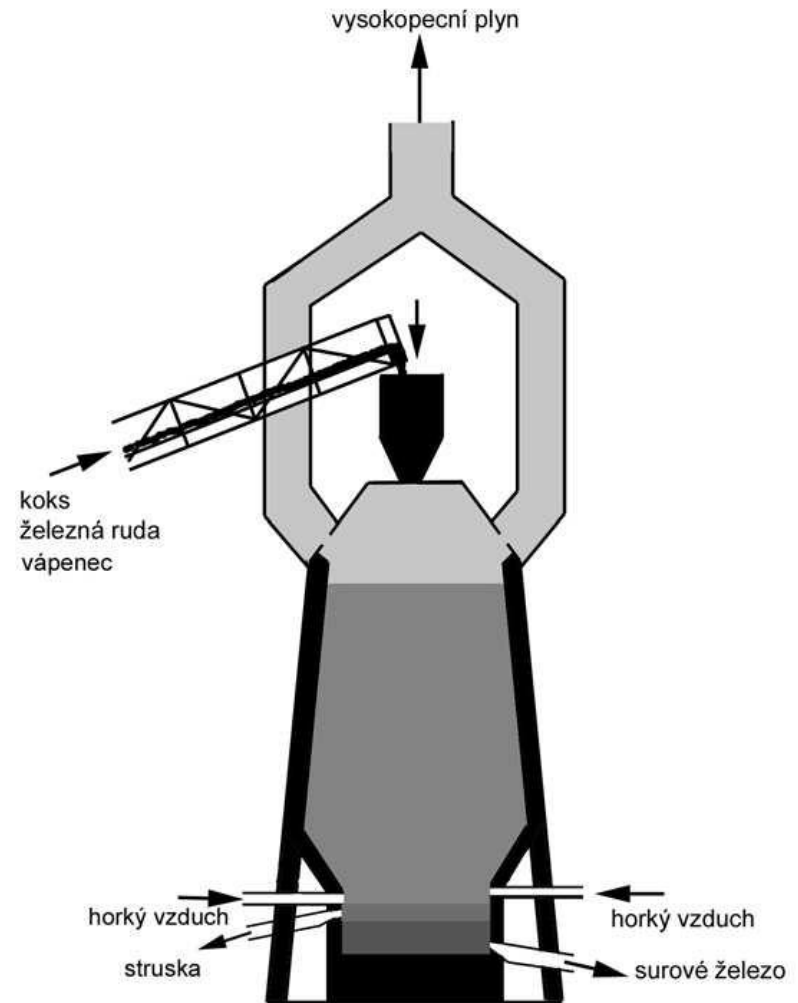
- vysoká pec – redukce oxidů železa železné rudy (Fe_2O_3) pomocí CO a C
- koks + horký vzduch .. zdroj tepla a CO
- surové železo – vysoký obsah C, S, P, Si, Mn

Zkujňování surového železa

- reakce roztaveného surového železa s kyslíkem
- snížení obsahu nežádoucích prvků
- výsledek – tvárná a kujná ocel

Dezoxidace

- odstranění kyslíku z roztaveného železa – např. přidáním Al



Ocel – slitina železa s uhlíkem (< 2.14% hm.) a dalšími legujícími prvky

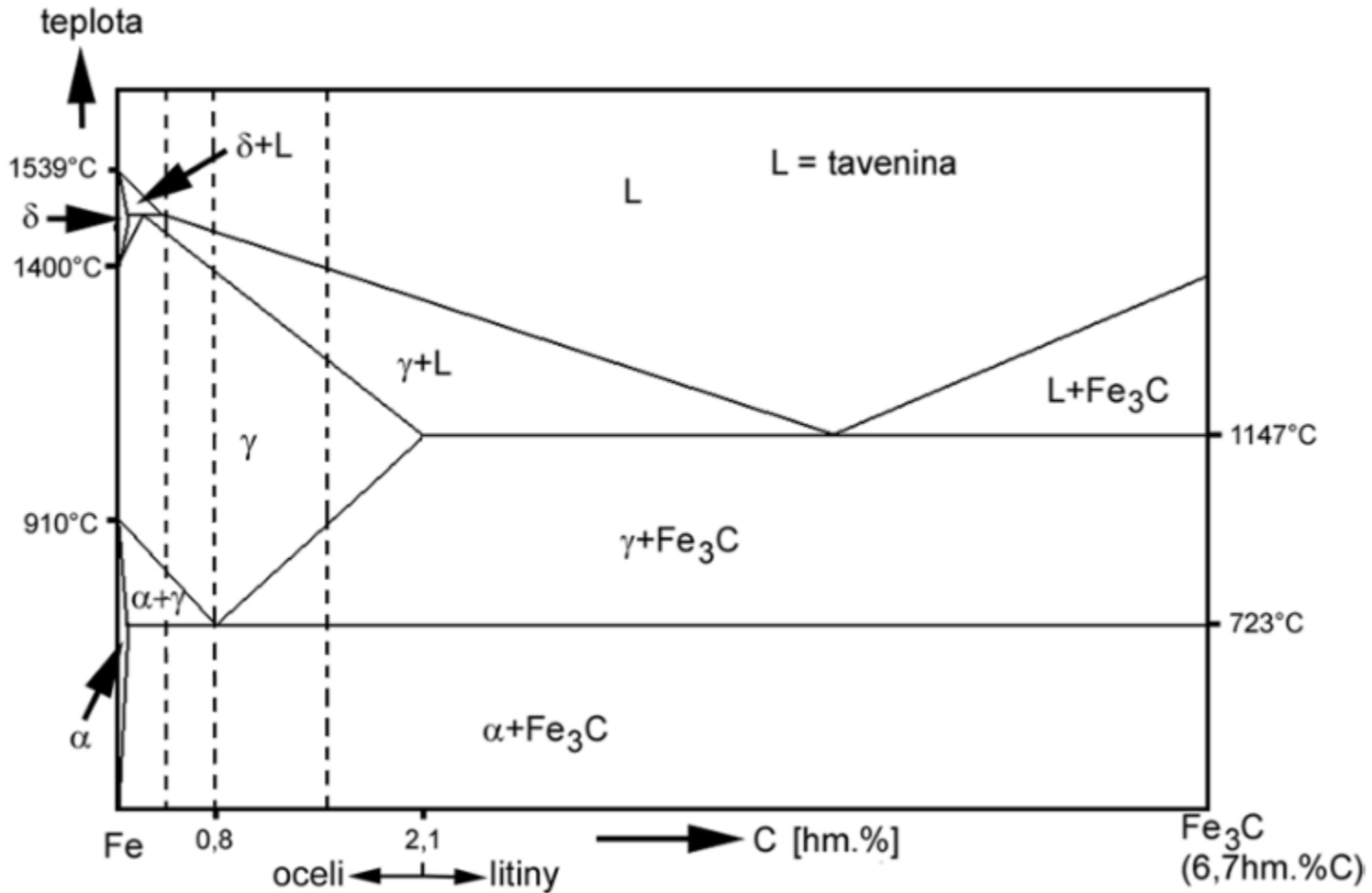
Slitiny železa a uhlíku

- maximální rozpustnost uhlíku v železe (α -feritu) je 0.02% hm. (ve formě intersticiálního tuhého roztoku)
- vyšší procenta uhlíku jsou přítomna ve formě intermediální fáze Fe_3C - cementitu

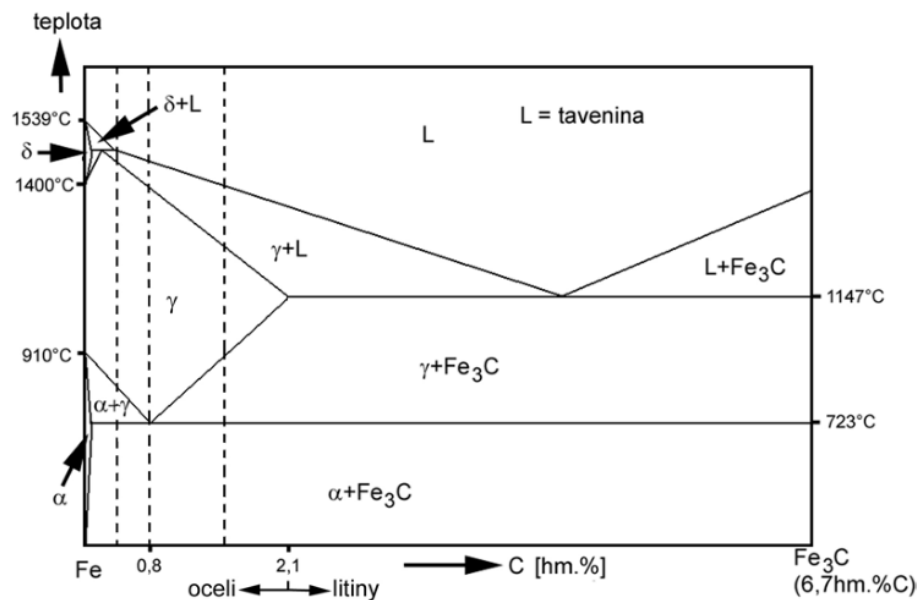
Fe_3C - cementit

- též karbid železa
- odpovídá 6.7% hm. uhlíku
- tvrdý, křehký materiál krystalující v ortorombické soustavě

Metastabilní diagram Fe - Fe₃C

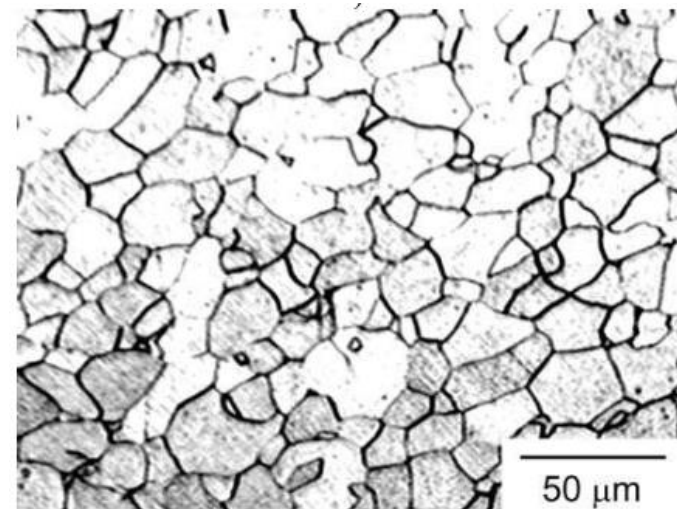


Ocel s 0.01% uhlíku: feritická mikrostruktura



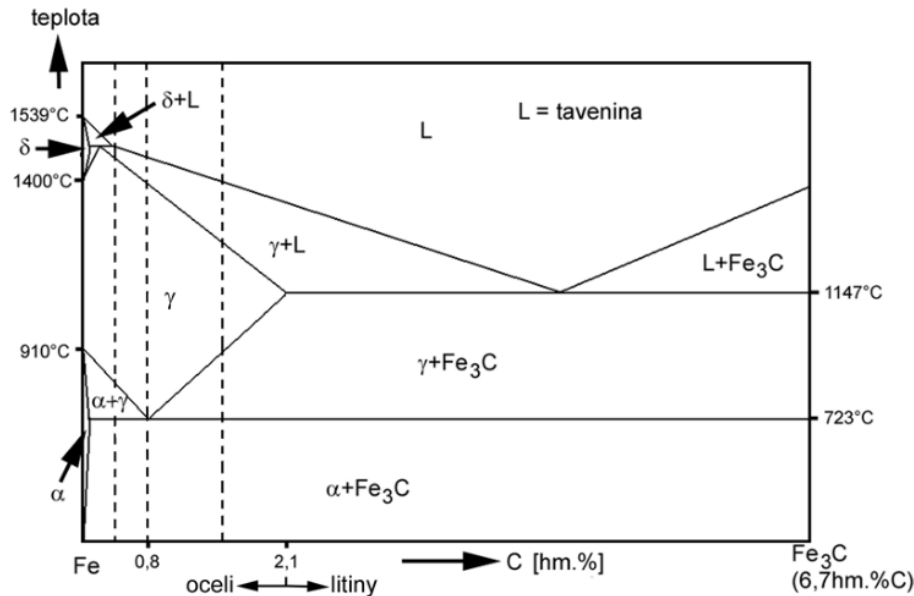
- tavenina → δ-ferit → austenit → α-ferit

mikrostruktura



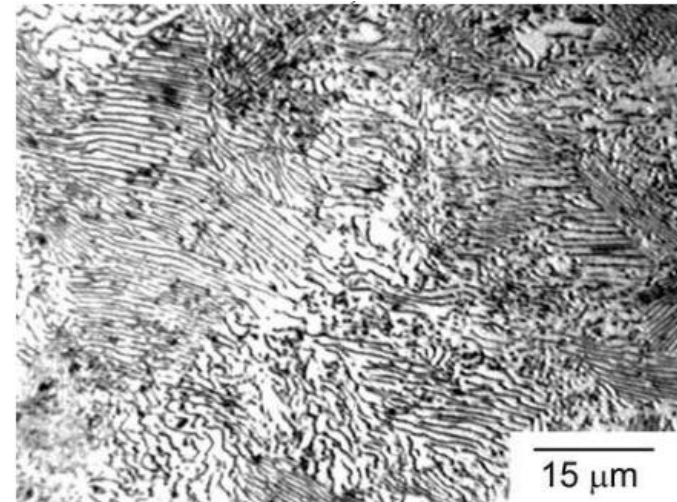
- mikrostruktura – zrna čistého feritu

Ocel s 0.8% uhlíku: perlitická mikrostruktura



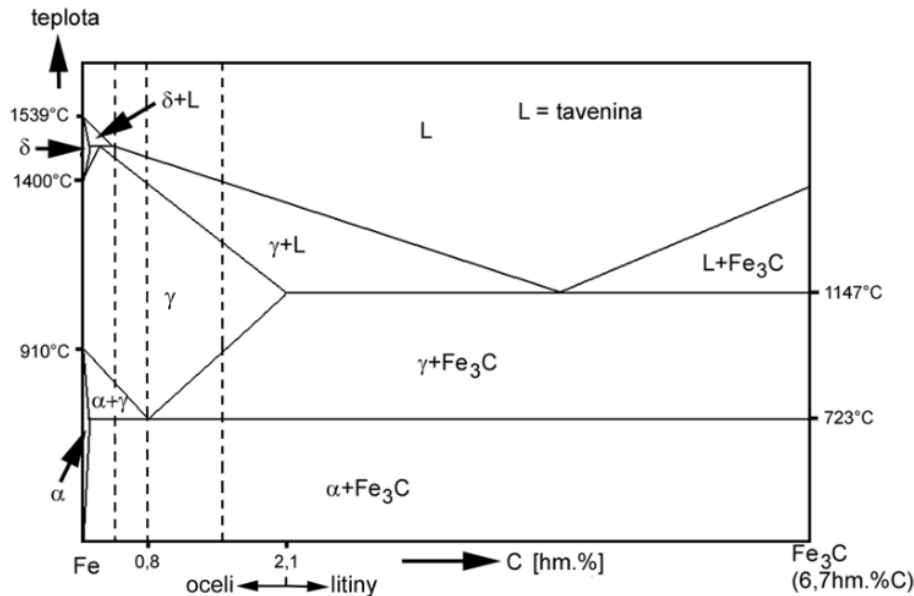
- tavenina → γ + L → austenit → rozpad austenitu na α-ferit + Fe₃C (perlit)

mikrostruktura



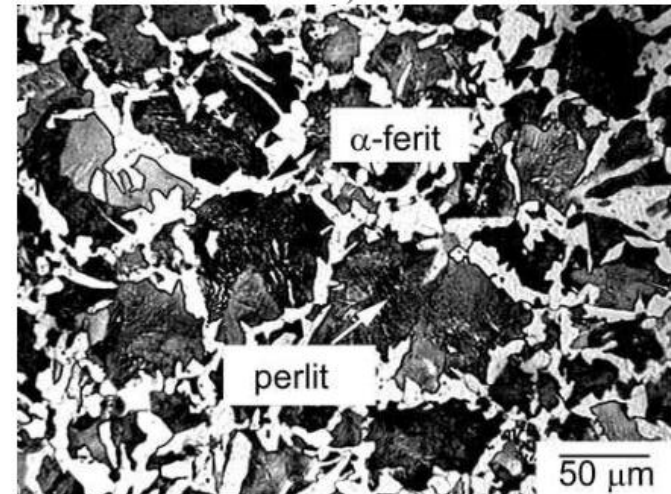
- difuze v tuhém stavu pomalá – při běžné ochlazovací rychlosti vzniká jemná směs fází
- lamelární mikrostruktura - perlit

Ocel s 0.4% uhlíku: feriticko-perlitická mikrostruktura



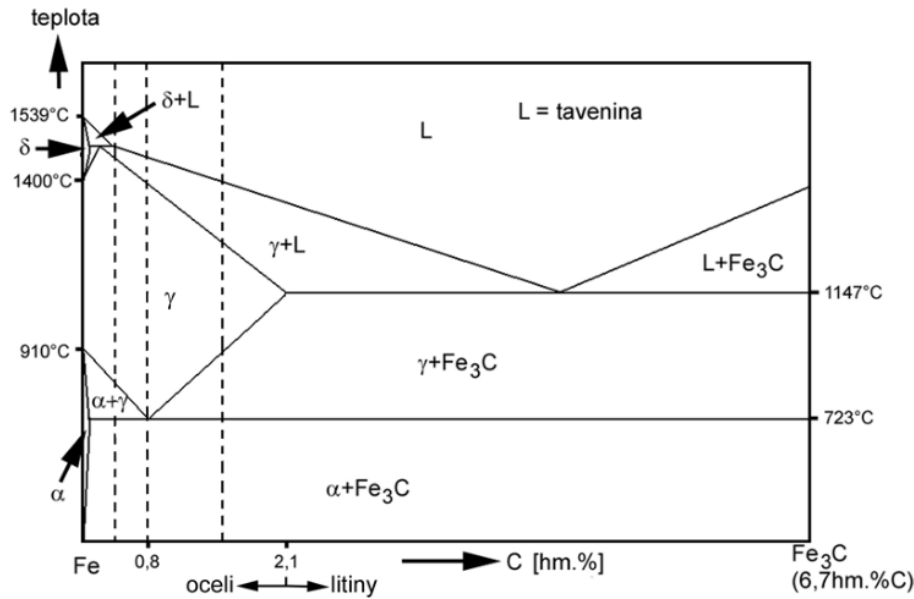
- tavenina → γ + L → austenit → α-ferit (primární) + austenit → ferit + perlit (= sekundární ferit + cementit Fe₃C)

mikrostruktura



- perlit .. jeví se jako tmavá zrna. Primární α-ferit beze změny

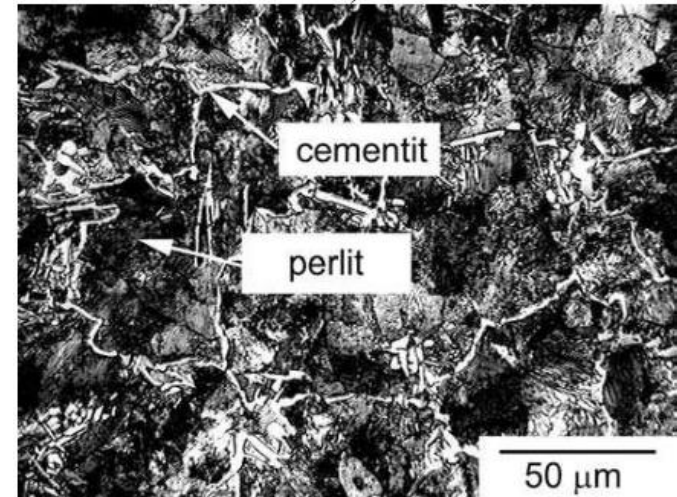
Ocel s 1.5% uhlíku



- perlitická zrna obklopená cementitovým síťovím

- tavenina → $\gamma + L$ → austenit → austenit + cementit Fe₃C → perlit + cementit Fe₃C

mikrostruktura



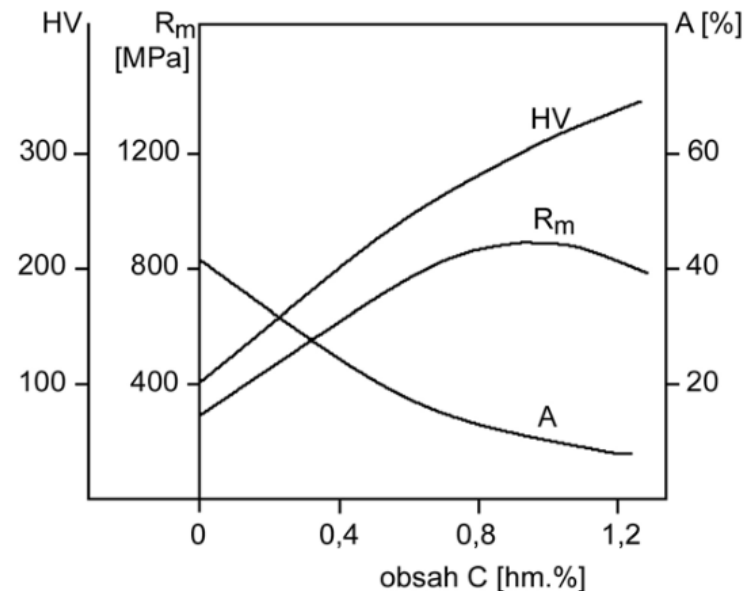
Ocel

Ocel – slitina železa s uhlíkem ($< 2.14\%$ hm.) a dalšími legujícími prvky

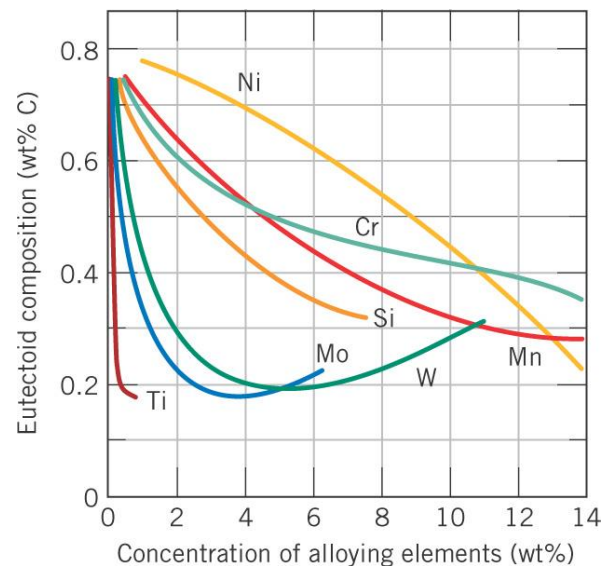
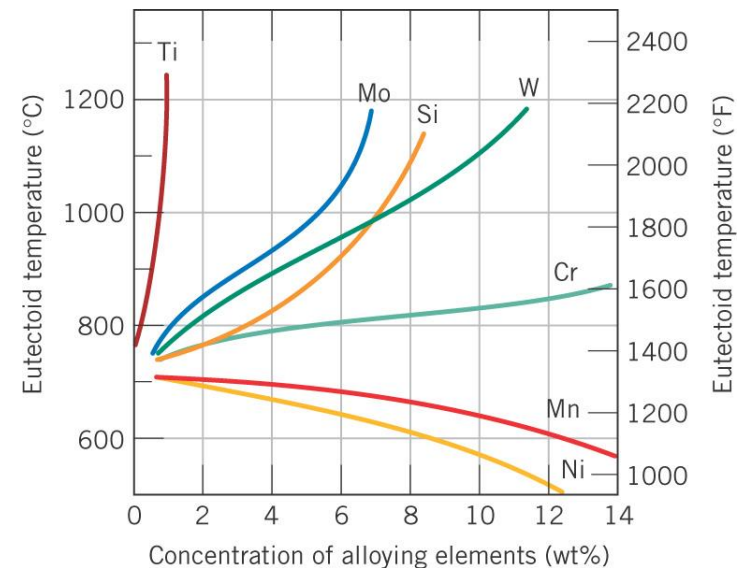
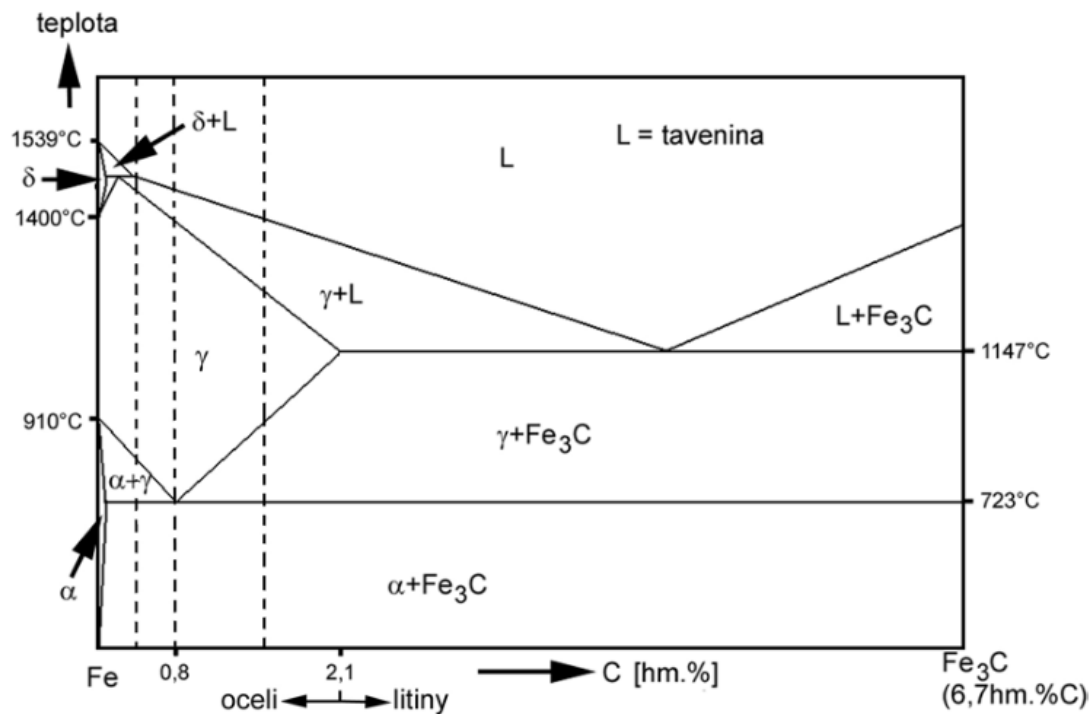
- uhlíkové oceli – Fe + C (cca 90%, z toho většina s obsahem C do 0.3% hm.)
- legované oceli – Fe + C + Ni, Cr, Mn, Si, V, Mo, W

Mechanické vlastnosti ocelí – klíčové faktory

- obsah uhlíku (zvyšuje obsah cementitu – tvrdší, pevnější, křehčí a méně tažné oceli)
- obsah legujících prvků (výrazný nárůst tvrdosti – karbidy Mo, Cr, V, W)
- tepelně-mechanické zpracování



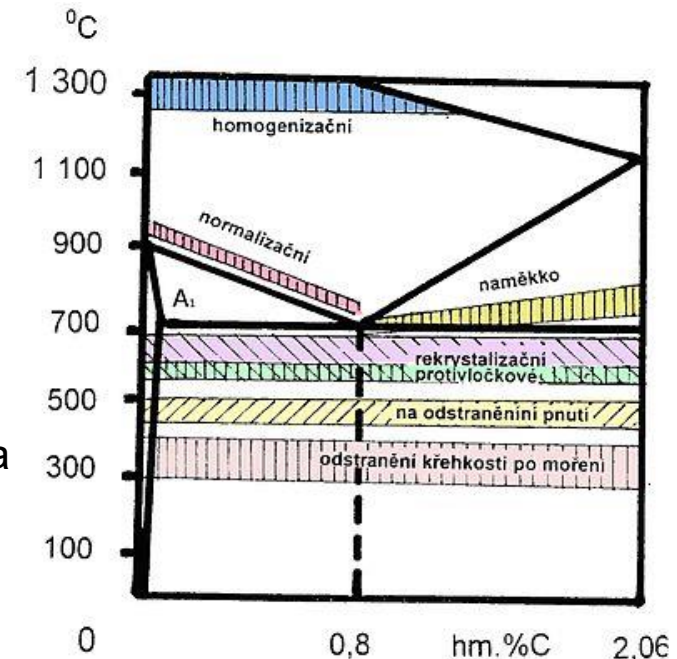
Vliv legujících prvků na fázový diagram



Tepelně-mechanické zpracování ocelí

Žihání

- **homogenizační žihání** – odstranění lok. výkyvů chemického složení u ingotů
- **normalizační žihání** – rovnoměrná feriticko-perlitická mikrostruktura u odlitků, výkovků a svařovaných součástí
- **žihání na měkko** – hrubší a globulární mikrostruktura (snížení tvrdosti, zvýšení tvárnosti a obrobitelnosti)
- **rekrytalizační žihání** – relaxace dislokací po deformačním zpevnění za studena
- **žihání na odstranění pnutí**



Schematický přehled teplotních oblastí žihání ocelí

Zušlechtování

- kalení + popouštění

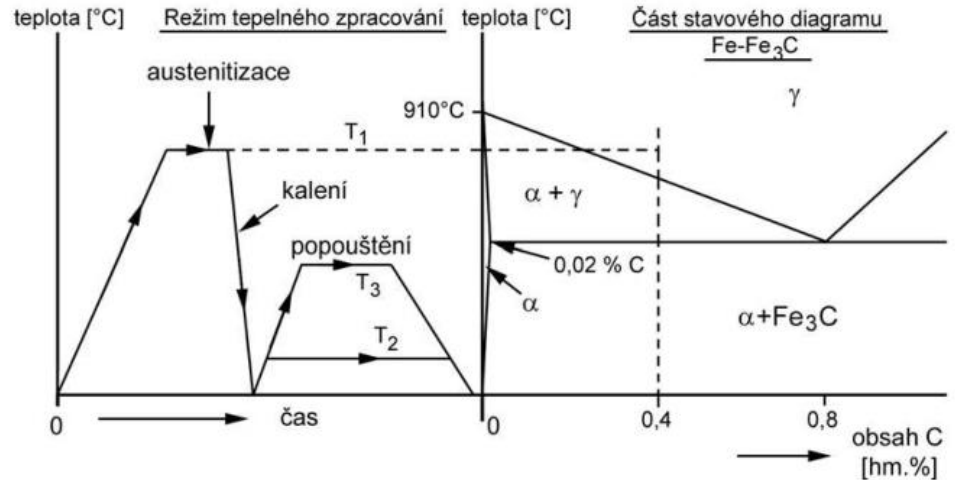
Deformační zpevnění

- kování, válcování, tažení, protlačování, hluboké tažení

Zušlechťování

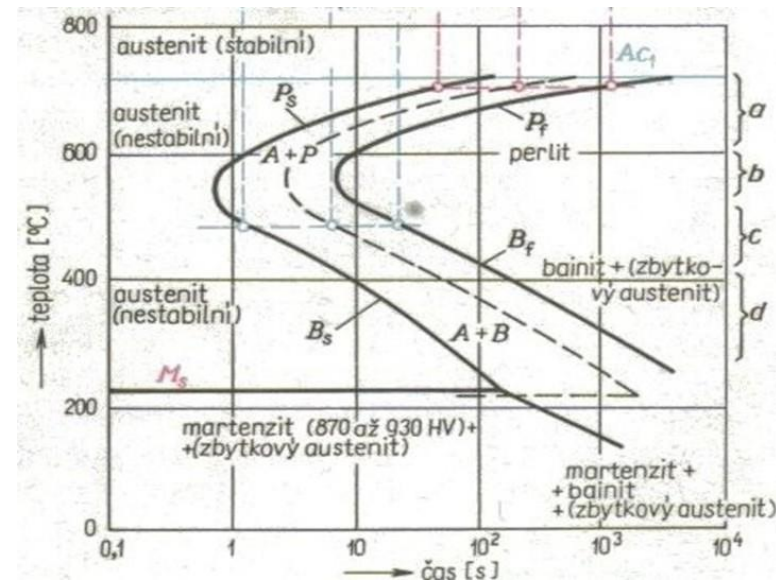
Příklad – ocel 0.4% C

v základním stavu feriticko-
 perlitická mikrostruktura



- **austenitizace** – ohřev na T_1 (zde 880°C), výdrž (rozpuštění cementitu v austenitu)
- **kalení** do oleje nebo vody – přesycený tuhý roztok γ s velkým pnutím – **martenzit** (kolem 200°C , tetragonální mřížka, velmi tvrdý a křehký) nebo **bainit** (kolem 400°C , tvrdý)
- **popouštění** – ohřev na T_2/T_3 , výdrž. Vylučování Fe_3C – mírné snížení tvrdosti, výrazný nárůst houževnatosti

Diagram IRA / ARA

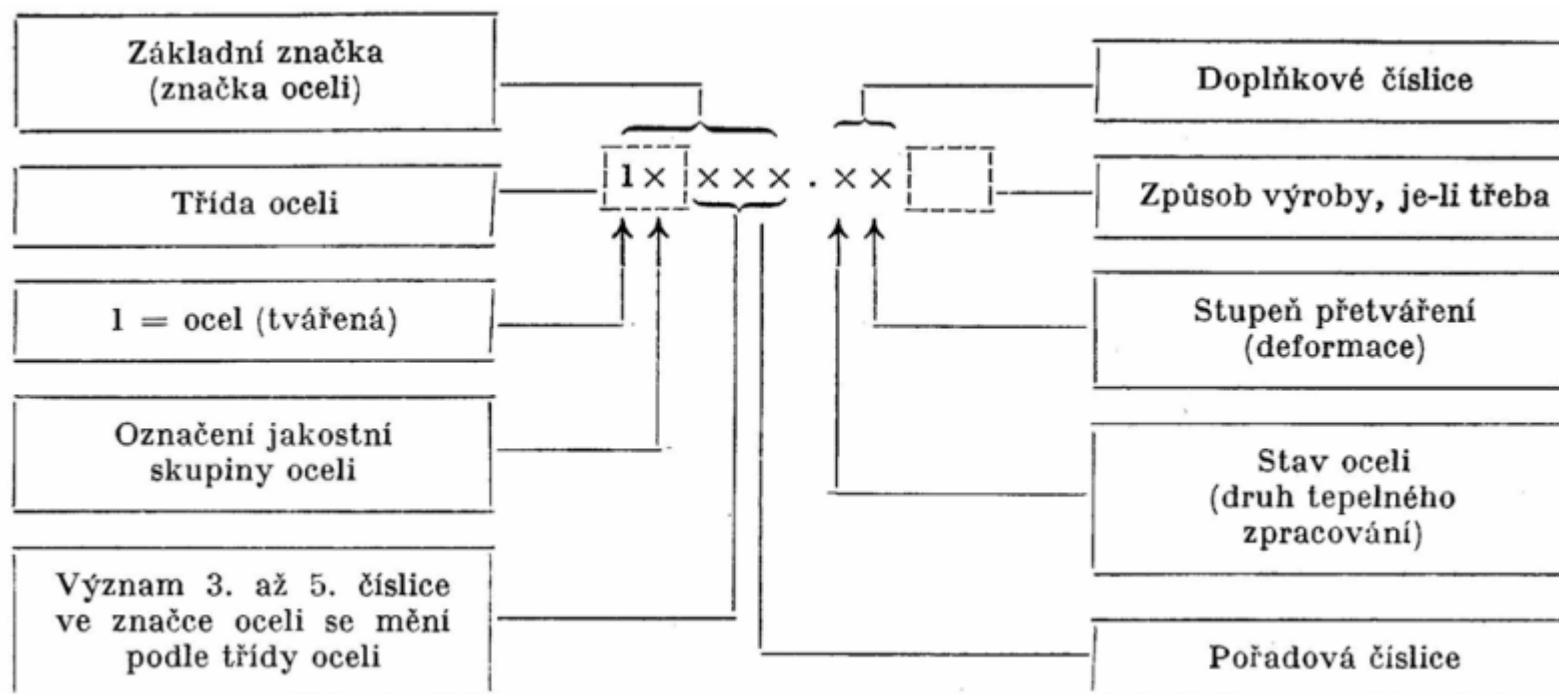


Chemicko-tepelné úpravy ocelí

Obohacování povrchové vrstvy – tvrdý povrch + houževnaté jádro

- cementace – vystavení uhlíkatému plynu při vysoké teplotě (900°C): ozubená kola, hřídele
- nitridace – NH_3 při 500°C: obráběcí nástroje

Třídy ocelí dle ČSN (1)



Oceli třídy 10

- nízký obsah uhlíku (do 0.2%), nezaručuje se obsah P, S, dobře svařitelné
- pevnost řádově 300-500 MPa, nejpevnější až 800MPa (kolejnice)
- stavební a strojní konstrukce – betonové výztuže, nosníky, jeřábové a lodní konstrukce

Třídy ocelí dle ČSN (2)

Oceli třídy 11

- zaručen obsah P, S
- pevnost řádově 350-900 MPa
- hlubokotažné plechy – karosářské plechy (velmi nízký obsah uhlíku + mikrolegování)
- ozubená kola, hřídele
- automatové oceli – vysoký obsah S (vázaná na Mn) – sériově vyráběné díly (šrouby)

Oceli třídy 12

- uhlíkové – k cementování, zušlechťování
- hřídele, rotory pro turbogenerátory, velká ozubená kola, hnací soukolí

Oceli třídy 13-16 - slitinové

- 13: Mn/Si – pružinové (vysoká pevnost a únavová životnost), transformátorové plechy
- 14: Cr + Mn, Si, Al – ložiska
- 15: Cr + V, Mo, W – vysokotlaké kotle a trubky, turbíny (žáropevnost)
- 16: Ni, Cr + W, V, Mo – vysoké meze kluzu při dobré houževnatosti

Třídy ocelí dle ČSN (3)

Oceli třídy 17 – slitinové s vysokým obsahem legujících prvků

- korozi-vzdorné oceli (> 12% Cr): austenitické Cr+Ni (nádobí, zdravotnický materiál), feritické 20-20%Cr, 0%Ni (žáruvzdorné)
- žárupevné oceli (turbínové lopatky, tepelné výměníky) - pevnost při vysokých teplotách, odolnost proti creepu – tepelně stabilní karbidy (Mo, V, W)

Třída 18: slinuté karbidy

- WC, TiC, TaC, NbC, Cr₃C₂. Pojivo - kobalt

Oceli třídy 19 - nástrojové

- uhlíkové nebo slitinové
- rychlořezné oceli – až 18% W

Litiny

litina = slitina železa, uhlíku (> 2.1%) a případně dalších prvků

- výborně slévatelné
- levnější než ocel
- potrubí, skříně čerpadel, bloky motorů, topná tělesa, setrvačníky

Bílé litiny

- $\alpha\text{-Fe} + \text{Fe}_3\text{C}$
- křehké, velmi tvrdé, prakticky neobrobitelné

Grafitické litiny

- $\alpha\text{-Fe} + \text{C}$
- tvárné litiny (s kuličkovým grafitem): mechanicky srovnatelné s ocelí (klikové hřídele)
- šedé litiny (s lupínkovým grafitem): velmi levné