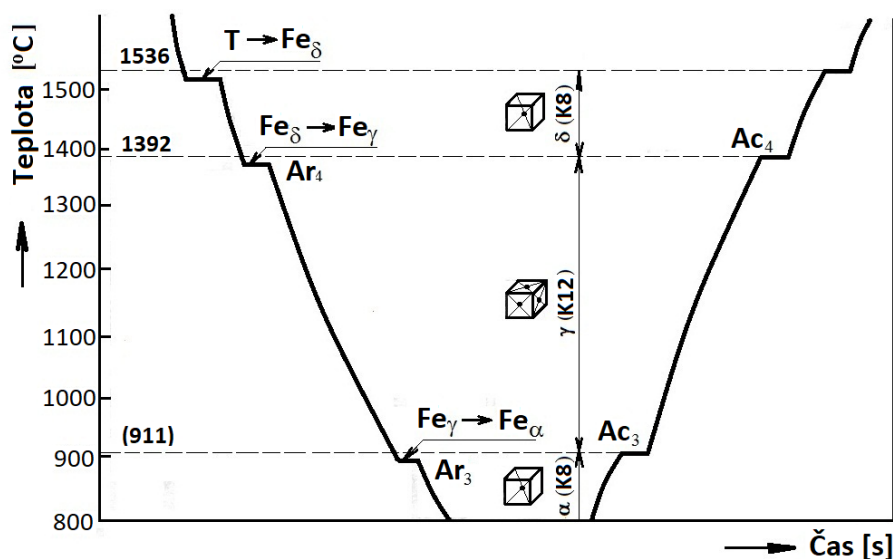


3 TECHNICKÉ ZLIATINY ŽELEZA

Zliatiny železa s uhlíkom sú najrozšírenejšími technickými zliatinami. V súčasnej dobe poznáme asi 20000 zliatin technických kovov. Z toho 12000 zliatin železa s legujúcimi prvkami ako C, Mn, Si, Cr, Ni, Mo, V, Nb, Ta, Ti, Zr, a i. Zliatiny železa - ocele a liatiny, tvoria základné konštrukčné materiály strojárkeho priemyslu. Vyznačujú sa nielen výbornými mechanickými vlastnosťami, ale aj výhodnou cenou. Vo všetkých zliatinách je prítomný uhlík a jeho obsah výrazne mení ich štruktúru a vlastnosti. Základom štúdia týchto zliatin je preto diagram Fe – C v stabilnej alebo v metastabilnej forme.

3.1 Sústava železo - uhlík

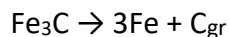
Komponenty tejto sústavy tvorí čisté železo a uhlík. Čisté železo – technické má teplotu tavenia $1536 \pm 5^\circ\text{C}$. Má nízke mechanické vlastnosti, je mäkké, tvárne ($R_m = 180 - 220 \text{ MPa}$, $A = 50 \%$, $Z = 85 \%$, tvrdosť HB = 60). Železo v závislosti od teploty má dve alotropické modifikácie, ktoré sa na krivke ochladzovania prejavujú zádržnými čiarami. Pri ochladzovaní tavenina za konštantnej teploty kryštalizuje na Fe_δ s kubickou priestorovo centrovanou mriežkou - K8, obr.3.1. Kryštalické Fe_δ pri teplote A_4 prekonáva alotropickú premenu a dochádza ku prekryštalizácii Fe_δ na Fe_γ s mriežkou K12. Rozdiel teplôt transformácií Fe na krivke ohrevu a ochladzovania (A_c , A_r) sa nazýva teplotná hysterézia. Na krivke ohrevu (ochladzovania) železa sa objavuje pri teplote 768°C ďalšia zádržná čiara. Pri nej nedochádza k zmene modifikácie, ale ide o tzv. Curieho teplotu, pri ktorej Fe_α stráca pri ohreve feromagnetické vlastnosti a mení sa na paramagnetickú látku.



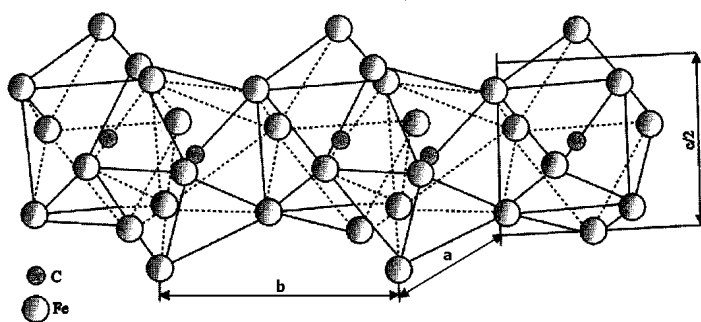
Obr.3.1 Krivka ohrevu a ochladzovania čistého železa, index c – ohrev, r - ochladzovanie

Na vlastnosti zliatin železa má najväčší vplyv uhlík. Ako zložka rovnovážnej sústavy Fe – C vystupuje buď ako chemická zlúčenina so železom Fe_3C nazývaná **cementit**, alebo ako voľný uhlík (C) nazývaný **grafit**.

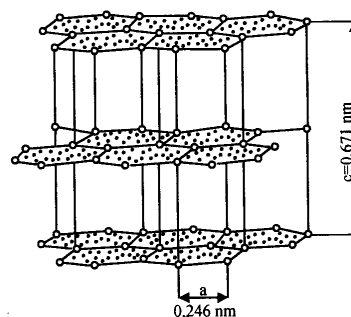
Cementit – Fe_3C je typická intermediárna fáza s obsahom 6,67 %C. Má zložitú kryštalickú mriežku (rombická sústava) – obr.3.2. Je veľmi tvrdý (asi 800 HV) a krehký, netvárný. Z termodynamického hľadiska je cementit fázou metastabilnou a za vhodných podmienok sa rozpadá na železo a grafit:



Tento proces nazývame priama **grafitizácia**.



Obr.3.2 Kryštalická mriežka cementitu



Obr.3.3 Kryštalická mriežka grafitu

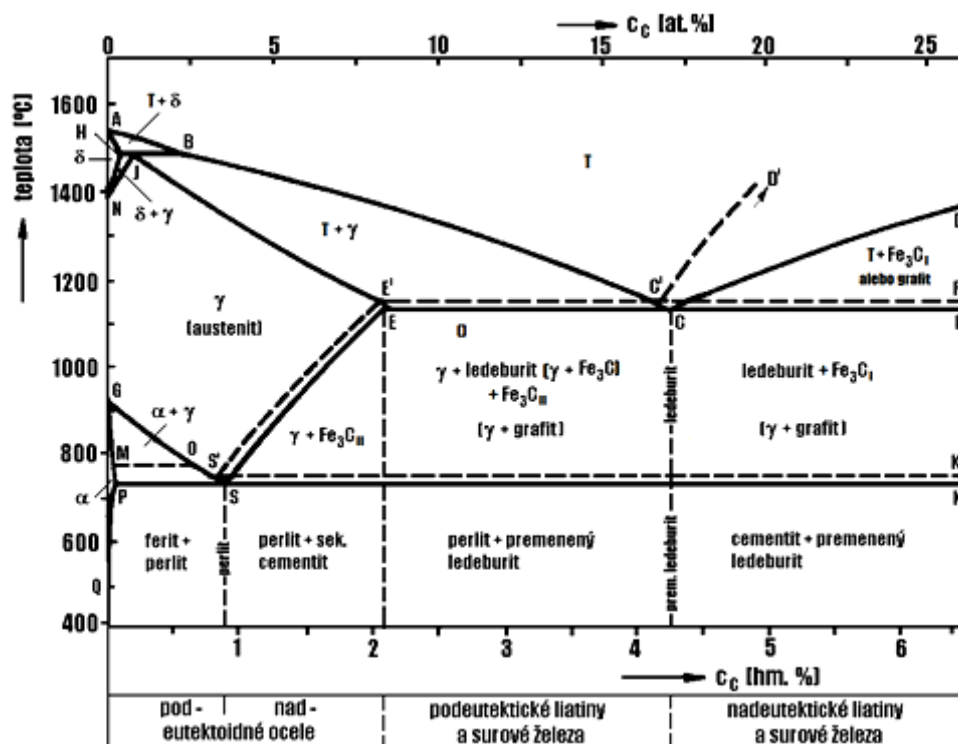
Grafit je elementárny uhlík a kryštalizuje v hexagonálnej sústave, obr.3.3. Je mäkký, pevnosť a tvárnosť v porovnaní so železom je nepatrná ($R_m = 10 - 20 \text{ MPa}$). Z termodynamického hľadiska je fázou stabilnou.

Uhlík tvorí so železom α aj γ interstitické tuhé roztoky s obmedzenou rozpustnosťou v tuhom stave, čím zvyšuje pevnostné vlastností železa. Ak zliatina obsahuje uhlík nad mieru jeho rozpustnosti v železe vytvára samostatné fázy – cementit alebo grafit. Vlastnosti zliatin železa budú silne ovplyvňované spôsobom vylúčenia, tvarom a množstvom častíc týchto fáz. Z uvedeného vyplýva, že rozoznávame dve sústavy železa s uhlíkom:

- **sústavu stabilnú železo - grafit** (grafitické liatiny),
- **sústavu metastabilnú železo – cementit** (oceľ, biele liatiny).

Podmienky vzniku stabilnej či metastabilnej rovnováhy závisia od troch faktorov [4]:

1. Od obsahu uhlíka – zvyšovanie jeho obsahu (nad 2 %) podporuje vylučovanie grafitu. Pri nižších obsahoch nastane vždy metastabilná rovnováha (vylučovanie cementitu).
2. Od rýchlosti ochladzovania – pri vysokých obsahoch uhlíka vznikne stabilná rovnováha pri pomalom ochladzovaní (vylučovanie grafitu) a naopak, rýchle ochladzovanie podporuje metastabilnú rovnováhu.
3. Od obsahu ďalších prvkov – zvyšujúci obsah tzv. grafitotvorných prvkov (Si, P, a i.) podporuje vylučovanie grafitu, prvky ako mangán a siera podporujú tvorbu cementitu.

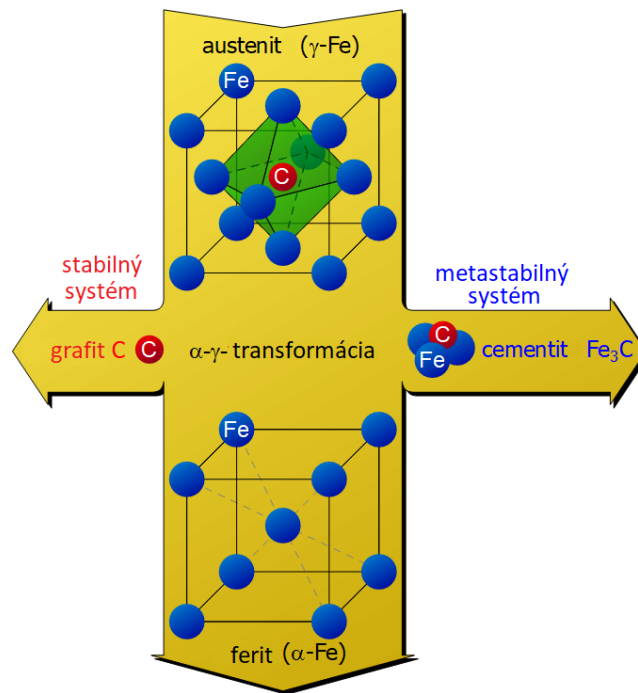


Obr.3.4 Rovnovážny diagram sústavy železo - uhlík

Obe sústavy sú uvedené na obr.3.4, na ktorom plné čiary platia pre metastabilnú sústavu a čiarkované pre stabilnú sústavu. Dôležité body metastabilnej sústavy sú vyznačené veľkými písmenami E, C, F atď., a stabilnej sústavy E', C' atď.

Proces kryštalizácie podľa stabilnej sústavy je totožný s procesom kryštalizácie podľa metastabilnej sústavy, iba namiesto cementitu Fe_3C sa vylučuje grafit. Eutektikum v stabilnej sústave je tvorené zmesou kryštálov tuhého roztoku γ a grafitu – **grafitové eutektikum**. Eutektoid je zase zmesou feritu a grafitu – **grafitový eutektoid**.

Počas premeny $\gamma \rightarrow \alpha$ sa uhlík, ktorý už nie je rozpustný v α -železe, môže v zásade vyzrážať z mriežky dvoma spôsobmi. Pri pomalom ochladení a relatívne vysokom obsahu uhlíka sa môže spojiť dostatočný počet atómov uhlíka, aby vytvorili svoju vlastnú hexagonálnu mriežkovú štruktúru. V tejto mriežkovej modifikácii sa uhlík nazýva aj **grafit**. Tvorba grafitu nie je podmienená iba relatívne nízkymi rýchlosťami chladenia, ale môže byť tiež špecificky podporená pridávaním kremíka. Vznik uhlíka vo forme grafitu sa tiež označuje ako *stabilný systém*, pretože uhlík v tejto forme sa už nemôže ďalej rozpadáť, a preto je stabilný v termodynamickom zmysle. Na obr. je stabilná a metastabilná precipitácia uhlíka a transformácia Fe_γ na Fe_α .



Obr.3.5 Stabilná a metastabilná precipitácia uhlíka

3.1.1 Metastabilný rovnovážny diagram Fe – Fe₃C

Metastabilný diagram Fe - Fe₃C (v rozsahu 0 – 6,67 %C) sa používa pri sledovaní kryštalizácie a prekryštalizácie uhlíkových ocelí a ledeburitických (bielych) liatin.

Uhlík sa rozpúšťa v obidvoch modifikáciách železa intersticiárne. V modifikácii Fe_α sú atómy uhlíka umiestnené v strede stien základných buniek kryštálovej mriežky, medzi atómami železa. Tento interstitický tuhý roztok uhlíka v Fe_α nazývame **ferit** a označujeme **α = Fe_α(C)**. Vo vysokoteplotnej oblasti stability Fe_δ sa sa označuje ako **δ - ferit (δ = Fe_δ(C))**. Maximálna rozpustnosť uhlíka v Fe_α je 0,02 % pri teplote 727°C a s klesajúcou teplotou klesá (čiara PQ, obr.3.4). Pri teplote okolia je len niekoľko tisícín % [18,19,20].

V modifikácii Fe_γ sú atómy uhlíka umiestnené v strede kocky. Uvedený priestor je podstatne väčší ako pri priestorovo centrovanej mriežke, a preto rozpustnosť uhlíka v Fe_γ je väčšia. Maximálna rozpustnosť uhlíka v Fe_γ je 2,14 % pri teplote 1147 °C. Interstitický tuhý roztok uhlíka v Fe_γ sa nazýva **austenit (γ = Fe_γ(C))**.

V rovnovážnom diagrame Fe – Fe₃C sa vyskytujú tieto fázy [15]:

Tavenina T - neobmedzený tekutý roztok atómov Fe a C.

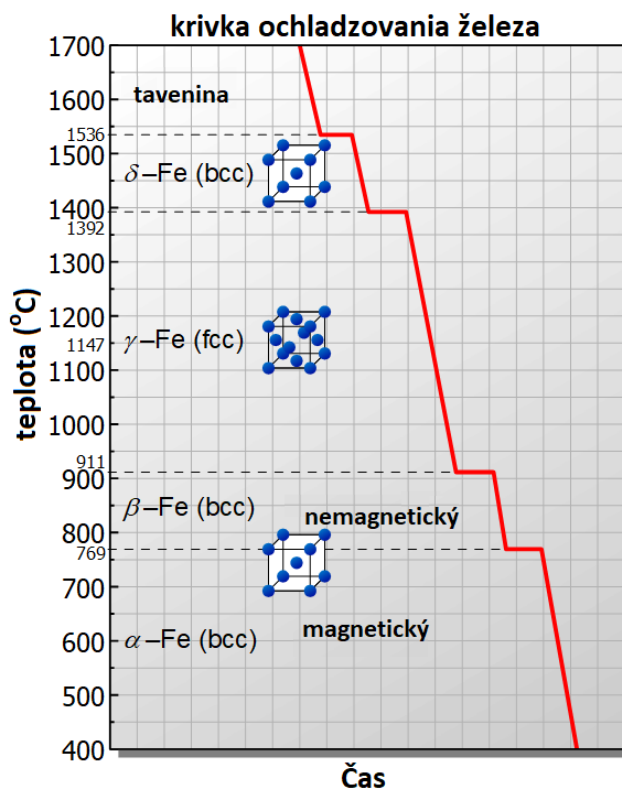
Ferit - α - interstitický tuhý roztok uhlíka v Fe_α.

Ferit - δ - tuhý roztok uhlíka v železe δ s kubickou objemovo centrovanou mriežkou.

Austenit - γ - interstitický tuhý roztok uhlíka v Fe_γ.

Cementit - Fe_3C - karbid železa.

Na Obr.3.6 je uvedená krivka ochladzovania zliatin železa a kryštalografické mriežky jednotlivých modifikácií železa.



Obr.3.6 Krivka ochladzovania nízkouhlíkových ocelí

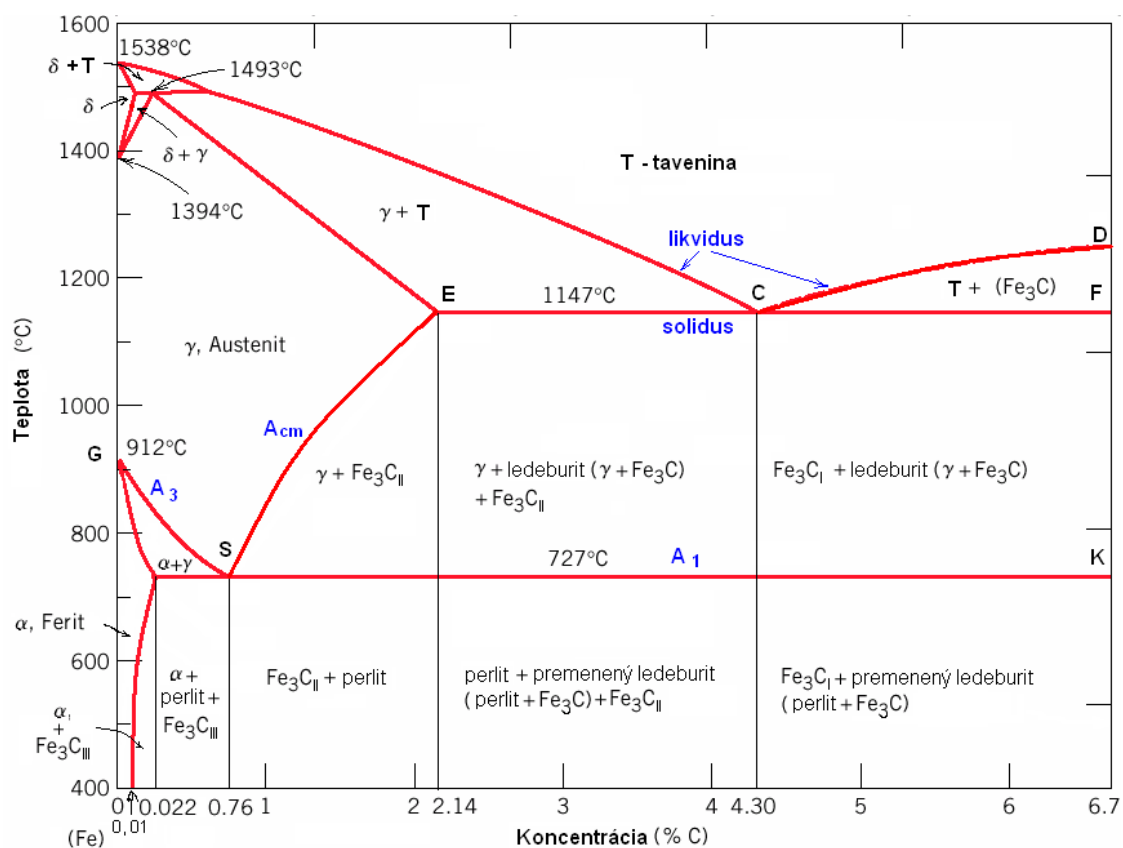
Ďalšie štruktúrne zložky sú:

Ledeburit L – je to eutektikum, ktoré sa skladá z dvoch fáz, austenitu a cementitu.

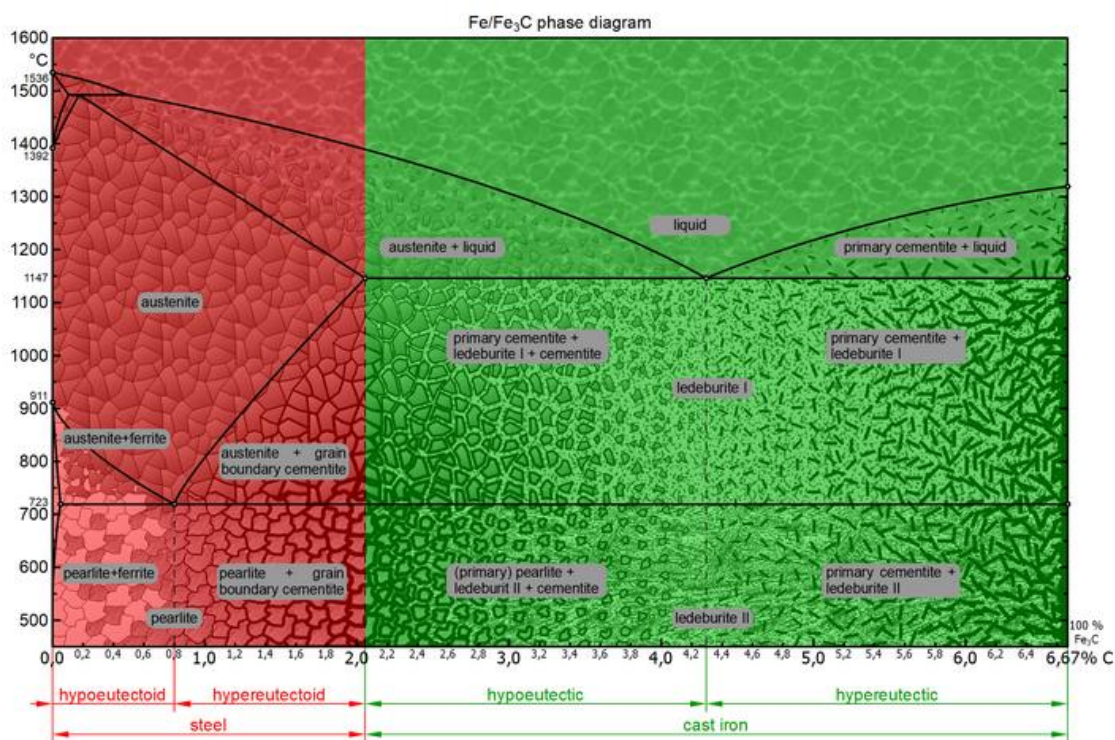
Perlit P – je to mechanická zmes striedavo vylúčeného feritu a cementitu.

Ledeburit premenený L_p – eutektikum – mechanická zmes perlitu a cementitu.

Na obr.3.7 je zjednodušený rovnovážny diagram Fe – Fe_3C , bez oblasti tuhého roztoku δ a peritektickej reakcie, pretože z praktického hľadiska nemajú vplyv na výslednú štruktúru a vlastnosti ocelí. Z diagramu vyplýva, že počas ochladzovania sa znižuje rozpustnosť uhlíka v tuhých roztokoch. Po prekročení hranice rozpustnosti uhlíka v austenite (čiara ES) dochádza preto k rozpadu presýteného tuhého roztoku (segregácii) a nadbytočný uhlík sa vylučuje formou cementitu. Podobný proces nastáva pri nižších teplotách, kde dochádza k vylučovaniu cementitu ako segregátu z feritu. Klasifikácia ocelí a bielych liatin v metastabilnom diagrame Fe- Fe_3C je uvedená obr.3.8.



Obr.3.7 Metastabilný rovnovážny diagram Fe – Fe₃C

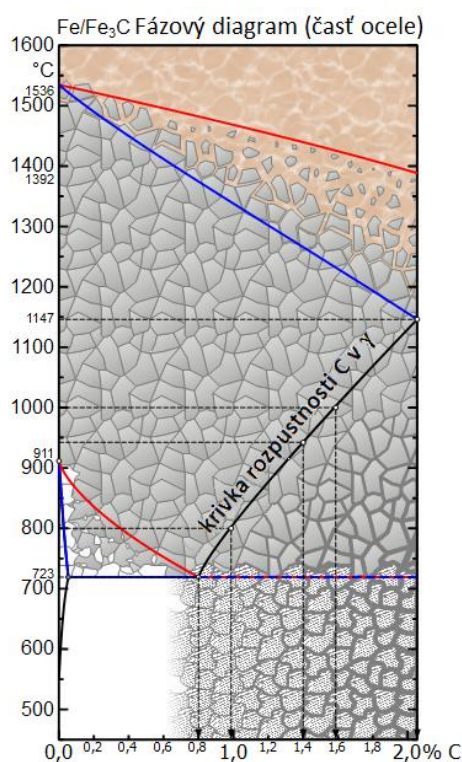


Obr.3.8 Klasifikácia ocelí a bielych liatin v metastabilnom diagrame Fe- Fe₃C

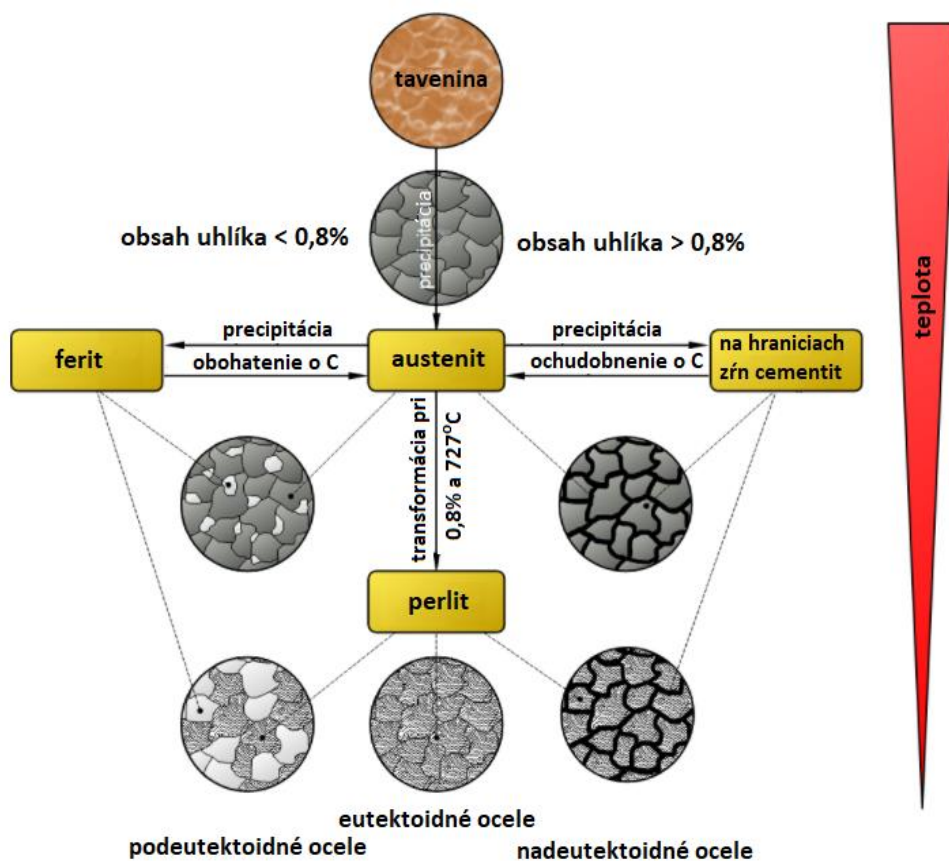
Podľa podmienok vzniku rozoznávame päť druhov cementitu a označujú sa ako Fe_3C_I až Fe_3C_V :

1. **primárny Fe_3C_I** – kryštalizuje priamo z taveniny v oblasti CDF a tvorí hrubé ihlicovité až doskovité útvary,
2. **sekundárny Fe_3C_{II}** – vylučuje sa z austenitu u nadeutektoidných ocelí a liatin v dôsledku znižovania sa rozpustnosti C v austenite s klesajúcou teplotou,
3. **terciálny Fe_3C_{III}** – vzniká v dôsledku znižovania sa rozpustnosti C vo ferite s klesajúcou teplotou,
4. **eutektický Fe_3C_{IV}** – súčasť eutektika – ledeburitu,
5. **eutektoidný Fe_3C_V** – súčasť eutektoidu – perlitu.

Maximálna možná rozpustnosť uhlíka v austenite je pri teplote 1147 °C a koncentrácii uhlíka 2,14 % (Obr.3.9). Každá druhá až tretia elementárna bunka je obsadená atómom uhlíka. Keď teplota klesá, rozpustnosť C klesá kontinuálne a bezprostredne pred rozpadom austenitu z K12 na K8 pri 723 °C je rozpustnosť C len 0,8%. Atómy uhlíka nachádzajú miesto iba v každej šiestej až siedmej jednotkovej bunke. Pomocou čiary znižujúcej sa rozpustnosti C v austenite je možné určiť príslušný maximálny obsah uhlíka pri konkrétnej teplote v austenite. Napríklad pri teplote 1 000 °C je maximálna rozpustnosť uhlíka okolo 1,6 %, zatiaľ čo rozpustnosť pri 940 °C je iba okolo 1,4% a pri 800 °C dokonca klesla na približne 1,0 %. Obr.3.10 schematicky znázorňuje vývoj mikroštruktúry v závislosti od obsahu uhlíka a teploty.



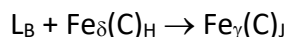
Obr.3.9 Medza rozpustnosti uhlíka v austenite



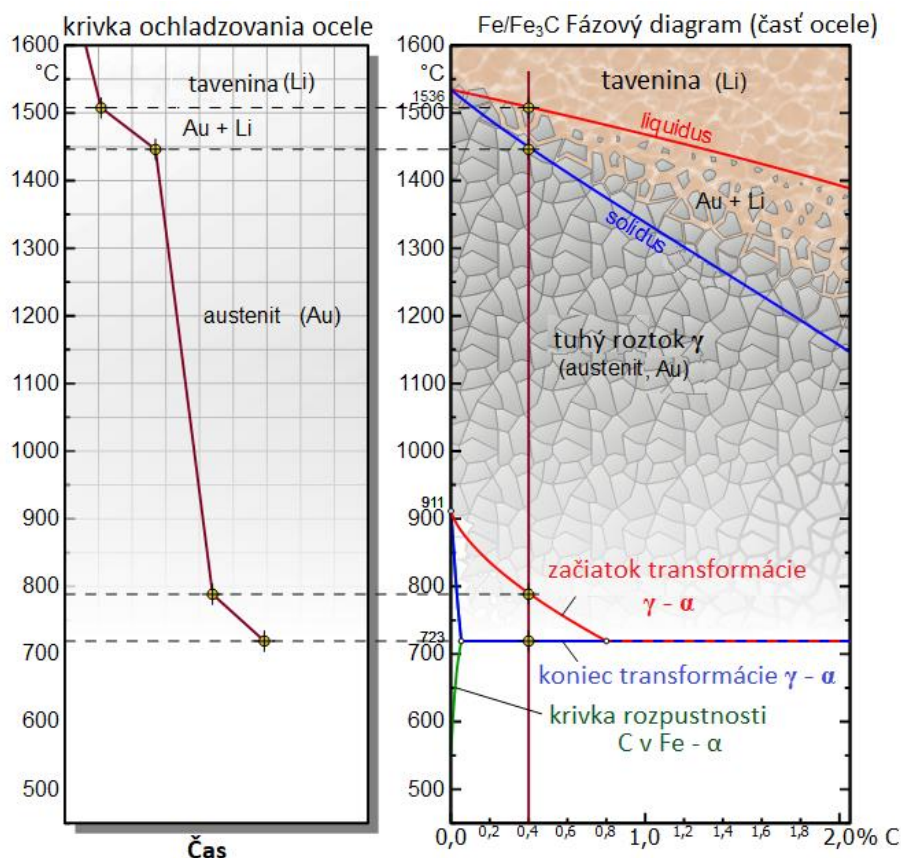
Obr.3.10 Prehľad tvorby mikroštruktúry ocelí

V metastabilnom systéme Fe – Fe₃C rozlišujeme tri základné reakcie:

1. Peritektická reakcia – prebieha v zliatinách s obsahom uhlíka od 0,10 do 0,51 %, obr. . Pri teplote 1499°C dochádza k reakcii medzi primárne vylúčenými kryštálmi tuhého roztoku δ o zložení H a taveninou T o zložení B (obr.3.4) za vzniku nového tuhého roztoku (peritektika), ktorým je austenit γ podľa rovnice:



Z praktického hľadiska nemá táto reakcia veľký význam. Fázová transformácia podeutektoidnej ocele je uvedená na obr.3.11. Mikroštruktúra podeutektoidnej ocele s rôznou koncentráciou C je na obr.3.12.

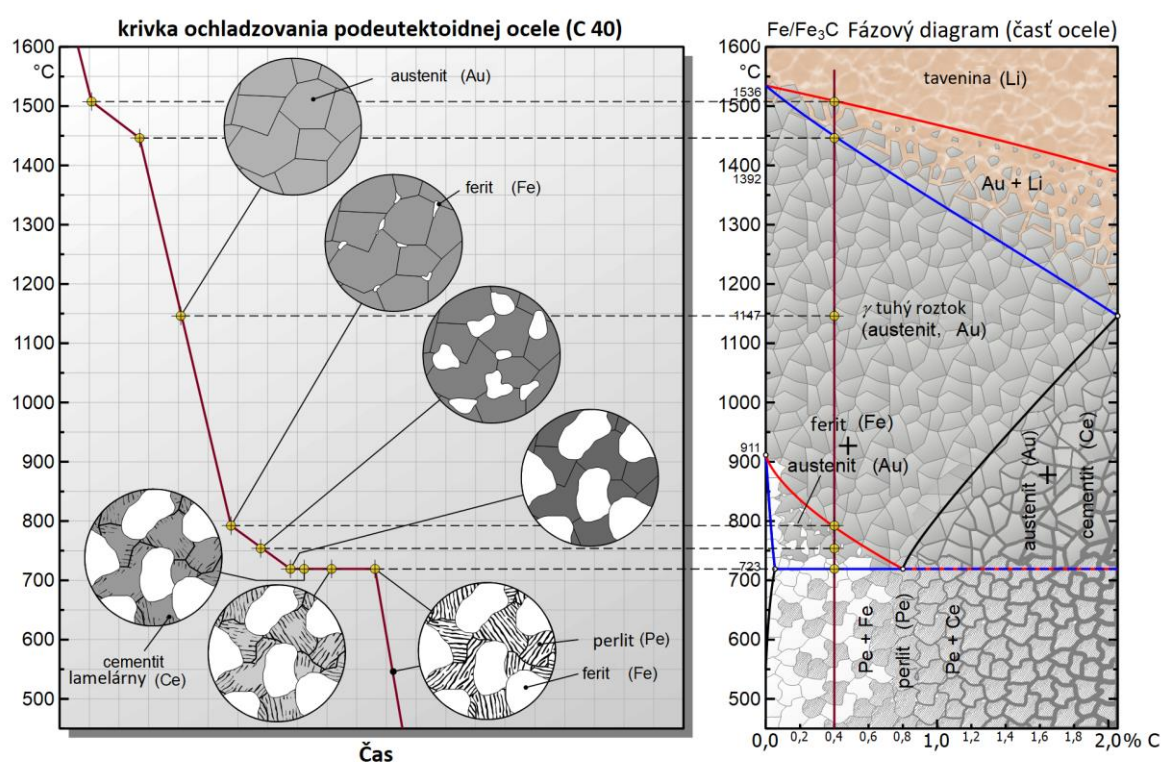


Obr.3.11 Krivka ochladzovania podeutektoidnej ocele

Podeutektoidné fázové transformácie

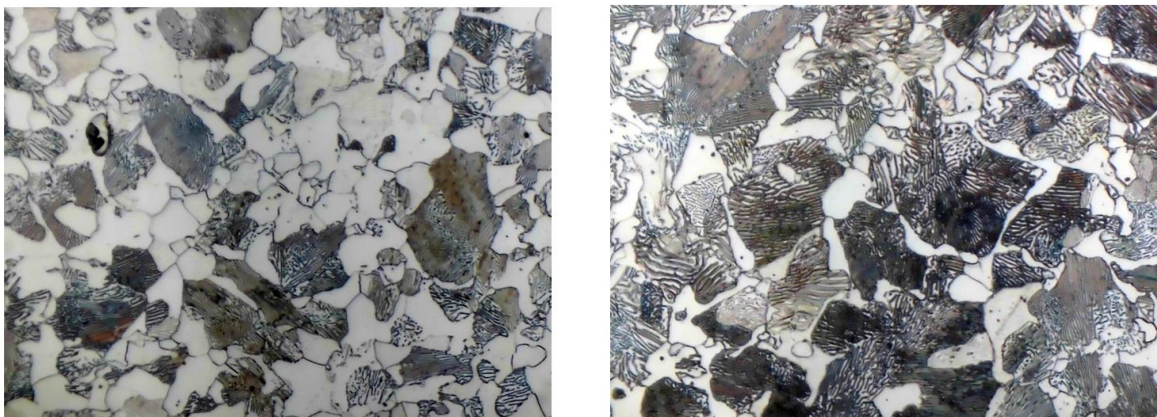
Podeutektoidná oceľ má obsah uhlíka nižší ako 0,8 %. Ako príklad je možné podrobnejšie vysvetliť mikroštruktúrne transformácie podeutektoidnej ocele s obsahom uhlíka 0,4%, obr.3.12. Podeutektoidná oceľ začína tuhnúť ako každá iná oceľ, ako tuhý roztok. Uhlík je spočiatku úplne rozpustný v štruktúre austenitu. Podeutektoidná oceľ má príliš málo uhlíka na to, aby prekročila maximálnu hranicu rozpustnosti uhlíka v austenite. Pri najnižšej možnej teplote 723 °C - nad ktorou existuje austenit - je (minimálna) rozpustnosť uhlíka v austenite už 0,8 %. Rozpustnosť uhlíka je preto vždy vyššia ako obsah uhlíka v podeutektoidných oceliach. Všetok uhlík zostáva rozpustný v austenitickej mriežke podeutektoidných ocelí. Mikroštruktúrna transformácia podeutektoidnej ocele nie je teda určená limitom rozpustnosti, ako pri nadeutektoidných oceliach, ale skôr transformáciou γ - α . Začiatok mriežkovej transformácie je možné vidieť na červenej transformačnej čiare vo fázovom diagrame Fe-Fe₃C, ktorú každá podeutektoidná oceľ nakoniec pri ochladení pretnie. U podeutektoidnej ocele s obsahom 0,4% uhlíka sa transformácia mriežky K12 austenitu na K8 feritu začína pri približne 800 °C (namiesto 911 °C, ako v prípade čistého železa). Transformácia začína na energeticky priaznivých hraniciach zŕn. Mriežková transformácia sa pri ďalšom ochladení šíri do okolitej austenitickej štruktúry. Táto premena už neprebíha pri konštantnej teplote ako v prípade čistého železa, ale v teplotnom rozmedzí. Preto transformácia γ - α opäť obsahuje dvojfázovú oblasť v diagrame, v ktorej mikroštruktúra

pozostáva z častí už prevedeného feritu a zvyšného austenitu. S ďalším ochladzovaním feritické zrná rastú, takže stále viac uhlíka difunduje do okolitých austenitických zrn. To vedie k obohateniu obsahu uhlíka v austenite. Príslušné koncentrácie je možné určiť po priblížení sa k fázovému rozhraniu a následnom nakreslení zvislej čiary na os koncentrácie. S ďalším ochladzovaním a tým zvyšovaním tvorby feritu sa uhlík v austenite hromadí čoraz viac. Pri 723 °C nakoniec vzrástol obsah uhlíka na 0,8 %. Austenit dosiahol eutektoidné zloženie a je úplne nasýtený, to znamená, že už nemôže absorbovať žiadny ďalší uhlík. Austenit sa teraz správa ako eutektoidná oceľ a nakoniec sa pri konštantnej teplote začína meniť na eutektoidný perlit. Zvyšný austenit tiež prechádza mriežkovou transformáciou na feritickú štruktúru nerozpustnú v uhlíku. Uhlík predtým rozpustený v austenitickej mriežke vytvára zlúčeninu cementitu karbidu železa, ktorá sa počas transformácie mriežky vyzráža v lamelárnej forme zo zvyškového austenitu.



Obr.3.12 Fázová transformácia podeutektoidnej ocele

Na obr.3.12 je ozbrazená fázová transformácia podeutektoidnej ocele s 0,45% uhlíka. Sú viditeľné feritické zrná (biele) a perlitické zrná (tmavé pruhy). Mikroštruktúra podeutektoidnej ocele je zobrazená na obr.3.13 a 3.14. Na porovnanie je uvedená mikroštruktúra podeutektoidnej ocele s 0,4 % C a mikroštruktúra s vyšším obsahom uhlíka 0,6 %. Vďaka vyššej koncentrácii uhlíka má tiež podstatne vyšší obsah perlitu v mikroštruktúre.



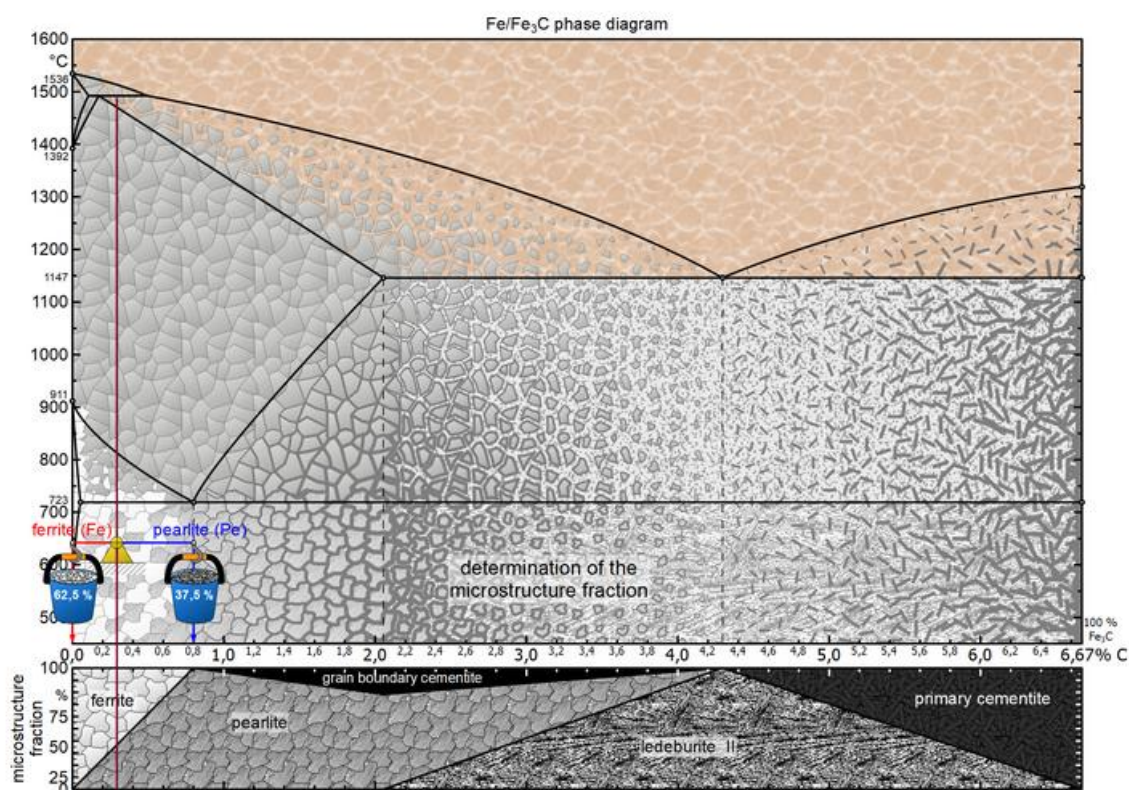
Obr.3.13 Mikroštruktúry podeutektoidných ocelí

a) koncentrácia uhlíka 0,45 %, b) koncentrácia uhlíka 0,6 %

U podeutektoidných ocelí pozostáva mikroštruktúra z feritických a perlitických zŕn pri izbovej teplote. Aby sa určili príslušné frakcie mikroštruktúry, ramená páky pri uplatnení pákového pravidla sa príslušne nakreslia od uvažovaného stavu do oblasti feritickej fázy (pri 0 % uhlíka) až po perlitickú hranicu (pri 0,8 % uhlíka). Pri oceli s napr. 0,3% uhlíka je obsah feritu 62,5% pri izbovej teplote a zodpovedajúci obsah perlitu je 37,5%:

$$\text{ferrite} = \frac{0.8 - 0.3}{0.8} \cdot 100 \% = 62.5 \%$$

$$\text{pearlite} = \frac{0.3}{0.8} \cdot 100 \% = 37.5 \%$$

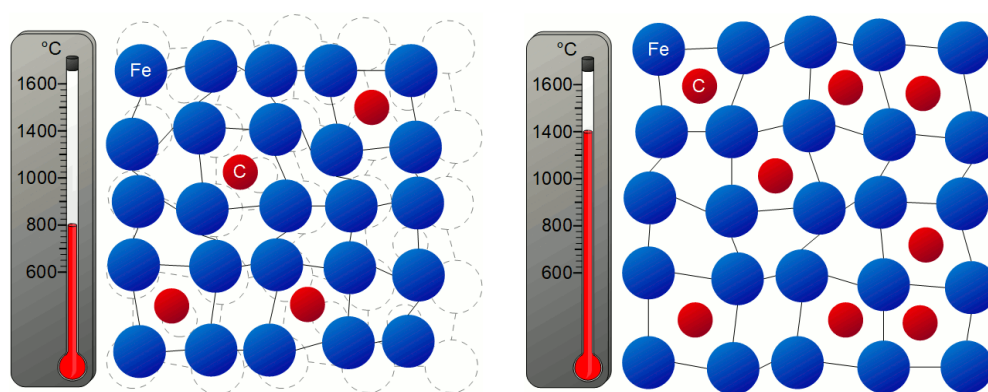


Obr.3.14 Stanovenie mikroštruktúry časti podutektoidnej ocele

Pákové pravidlo popisuje všeobecne lineárny vzťah medzi obsahom uhlíka a podielmi štruktúrnych fáz. Pre podeutektoidnú oceľ sa stabilne zvyšuje podiel perlitu s vyšším obsahom uhlíka, až nakoniec dosiahne 100% pri 0,8% uhlíka. Aj keď je uhlík v tejto austenitickej štruktúre pomerne dobre rozpustný, jeho rozpustnosť nie je neobmedzená.

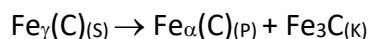
Atómy uhlíka sú príliš veľké na to, aby sa ľahko umiestnili do intersticiálnej polohy. Výsledkom je, že v blízkosti vložených atómov uhlíka dochádza k mriežkovým deformáciám. Ďalšie atómy C sa už nemôžu usadiť v mriežke. Rozpustnosť atómov C v austenite je teda obmedzená.

Maximálny počet atómov uhlíka, ktoré je možné rozpustiť v mriežke austenitu, závisí vo veľkej miere od teploty. Nižšia teplota znamená zníženú mriežkovú vibráciu atómov v mriežkových polohách. Vďaka tomu sa môže v mikroštruktúre austenitu rozpustiť menej atómov uhlíka. Naopak, vyššia teplota znamená vyššiu rozpustnosť C. Obr.3.15 zobrazuje rozpustnosť uhlíka v austenite, ktorá klesá so znižujúcou sa teplotou.



Obr.3.15 Pokles rozpustnosti C pri klesajúcej teplote

2. Eutektoidná reakcia – pri teplote 727°C a zložení 0,78 %C (bod S) sa austenit eutektoidného zloženia rozpadá na eutektoid (lamelárna mechanická zmes feritu o zložení bodu P a eutektoidného cementitu), ktorý nazývame perlit:

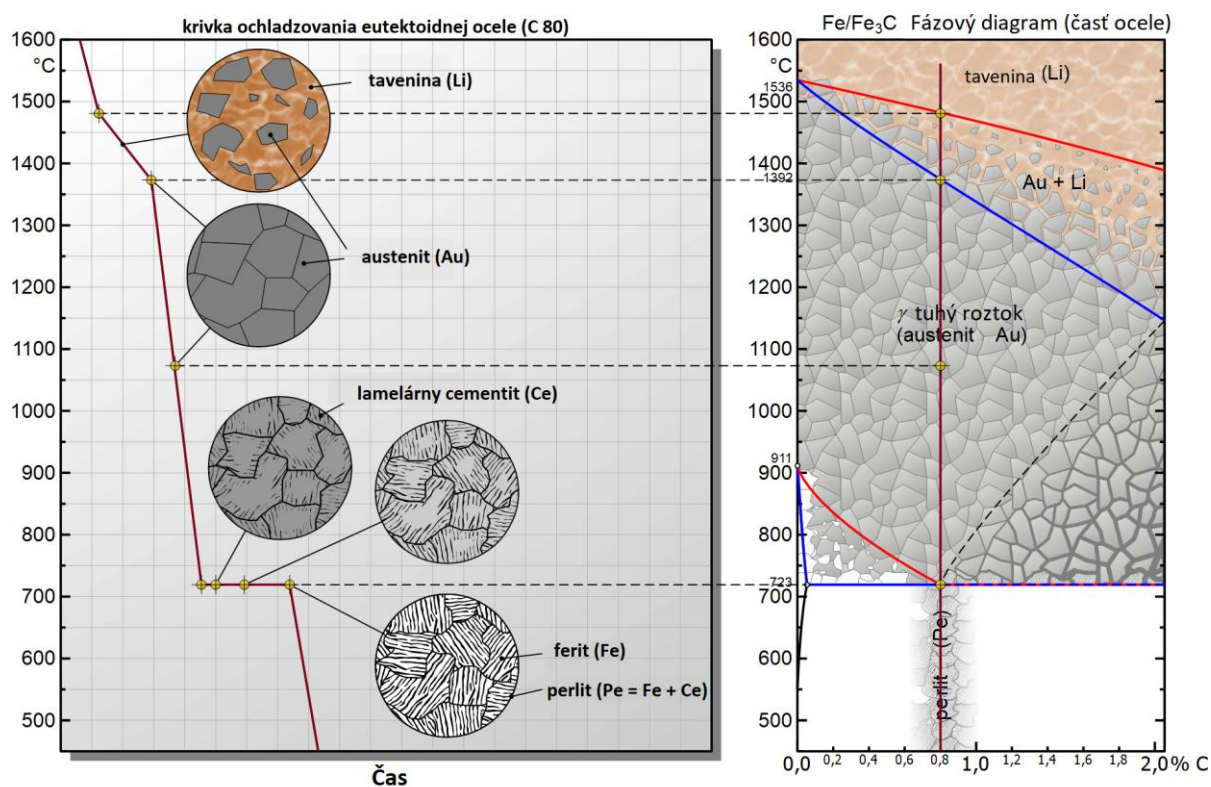


Čiara PSK je eutektoidná čiara a bod S je eutektoidný bod.

Zmeny v mikroštruktúre počas transformácie $\gamma \rightarrow \alpha$ je možné vysvetliť na eutektoidnej oceli s obsahom uhlíka 0,8%. Prebieha transformácia $\gamma \rightarrow \alpha$ pri teplote 723 °C. Mriežka K12 sa transformuje na mriežku K8 feritu pri konštantnej teplote (tepelná zadrž). Pretože stred mriežky feritu zaberá atóm železa, atómy uhlíka sa v nej už nemôžu rozpustiť. Počas tejto mriežkovej transformácie sa uhlík vyzráža v metastabilnej forme ako karbid železa Fe_3C (cementit). Z dôvodu relatívne nízkej teploty 723 °C sú atómy pomalé a nemôžu preto prekonávať veľké vzdialenosti. Zrážajú sa priamo z mriežkovej štruktúry a ukladajú sa vedľa seba v lamelárnej štruktúre. Keď sa austenit úplne premení na ferit, uhlík sa (takmer) úplne

oddolí od mriežky Fe. Z bývalých austenitických zŕn sa teraz stali feritické zŕn s vloženými cementitickými lamelami. Táto lamelárna dvojfázová zmes feritu a cementitu sa nazýva *perlit* a to aj vďaka perleťovému lesku pod mikroskopom.

Počas transformácie γ - α sa mení aj vonkajší tvar zŕn. Zatiaľ čo austenit má hranatú štruktúru zrna, perlitické zŕn sú skôr zaoblené. Polyedrická forma austenitu je spôsobená zvýšenou tvorbou tzv. dvojitych zŕn. Vďaka svojej lamelárnej štruktúre je perlitická štruktúra veľmi podobná eutektickej štruktúre zliatin s navzájom nerozpustnými zložkami. Jediný rozdiel je v tom, že eutektikum sa tvorí z tekutého stavu, zatiaľ čo štruktúra perlitu sa tvorí z už stuhnutého stavu. Preto sa táto fázová zmes nenazýva eutektická, ale *eutektoidná*. V danom prípade má oceľ s obsahom uhlíka 0,8% čisto eutektoidnú štruktúru. Takáto oceľ sa nazýva aj eutektoidná oceľ alebo perlitická oceľ.



Obr.3.16 Fázová transformácia eutektoidnej ocele

Obr.3.17 a 3.18 zobrazujú perlitickú oceľ s 0,8% uhlíka. Viditeľné sú cementitické lamely (tmavé pruhy) vo feritických zŕnách (svetlé oblasti medzi nimi).



Obr.3.17 Štruktúra eutektoidnej ocele (0,8 % C) Obr.3.18 Mikroštruktúra nadeutektoidnej ocele (1 % C)

Nadeutektoidné fázové transformácie

Z dôvodu obmedzenej rozpustnosti C v Fe dochádza počas ochladzovania nadeutektoidných ocelí k mikroštruktúrnym zmenám. Na príklade ocele s 1,4% uhlíka sú podrobnejšie opísané fázové transformácie, ktoré sú uvedené nižšie. Najskôr nadeutektoidná oceľ tuhne ako tuhý roztok v teplotnom rozmedzí. Vďaka vysokým teplotám bezprostredne po stuhnutí je všetok uhlík spočiatku úplne rozpustný v austenitickej mikroštruktúre. Nakoniec sa rozpustnosť C začne kontinuálne znižovať od teploty 1147 °C podľa vyznačenej čiary, obr.3.19. Pri 1000 °C je maximálna rozpustnosť iba 1,6%. Pretože oceľ má nižší obsah uhlíka 1,4%, všetok uhlík je rozpustný v mriežke austenitu. Oceľ by mohla teoreticky rozpustiť ešte viac uhlíka, tento stav sa označuje ako presýtený stav. Maximálna rozpustnosť C so znižujúcou sa teplotou ďalej klesá. Pri teplote 940°C je možné všetok uhlík obsiahnutý v oceli úplne rozpustiť v mriežke austenitu. Pretože austenitická mriežka je úplne nasýtená uhlíkom, tento stav sa tiež označuje ako nasýtený stav.

Ak ochladzovanie pokračuje, obsah uhlíka v oceli je vyšší ako jeho maximálna rozpustnosť. Pri teplote 800 °C sa môže v austenitickej mriežke rozpustiť iba asi 1,0% uhlíka; oceľ však má obsah uhlíka 1,4%. Pri prekročení limitu rozpustnosti sa mikroštruktúra zmení, dôjde k fázovej transformácii. Inak by v mriežke austenitu bolo viac uhlíka, ako by sa v ňom mohlo skutočne rozpustiť. Ak sa v mriežke rozpustí viac uhlíka ako dokáže skutočne absorbovať, z austenitickej mriežky sa vyzráža „príliš veľa“ uhlíka. V metastabilnom systéme táto segregácia uhlíka prebieha vo forme cementitu. Tvorba Fe_3C cementitu na hraniciach zŕn je sprevádzaná zmenou energetického stavu. Ak dôjde k prekročeniu limitu rozpustnosti, môže sa v austenite ďalším ochladením rozpustiť čoraz menej uhlíka. Ako chladenie pokračuje, na hraniciach zŕn sa vyzráža čoraz viac cementitu. To zaisťuje, že austenit je podľa svojej rozpustnosti vždy nasýtený uhlíkom. Preto pri prekročení limitu rozpustnosti zodpovedá koncentrácia uhlíka v austenite vždy maximálnej možnej rozpustnosti. To si samozrejme vyžaduje, aby ochladzovanie bolo také pomalé, že uhlík má tiež čas na vyzrážanie. Iba týmto spôsobom je možné vždy dosiahnuť termodynamický rovnovážny stav.

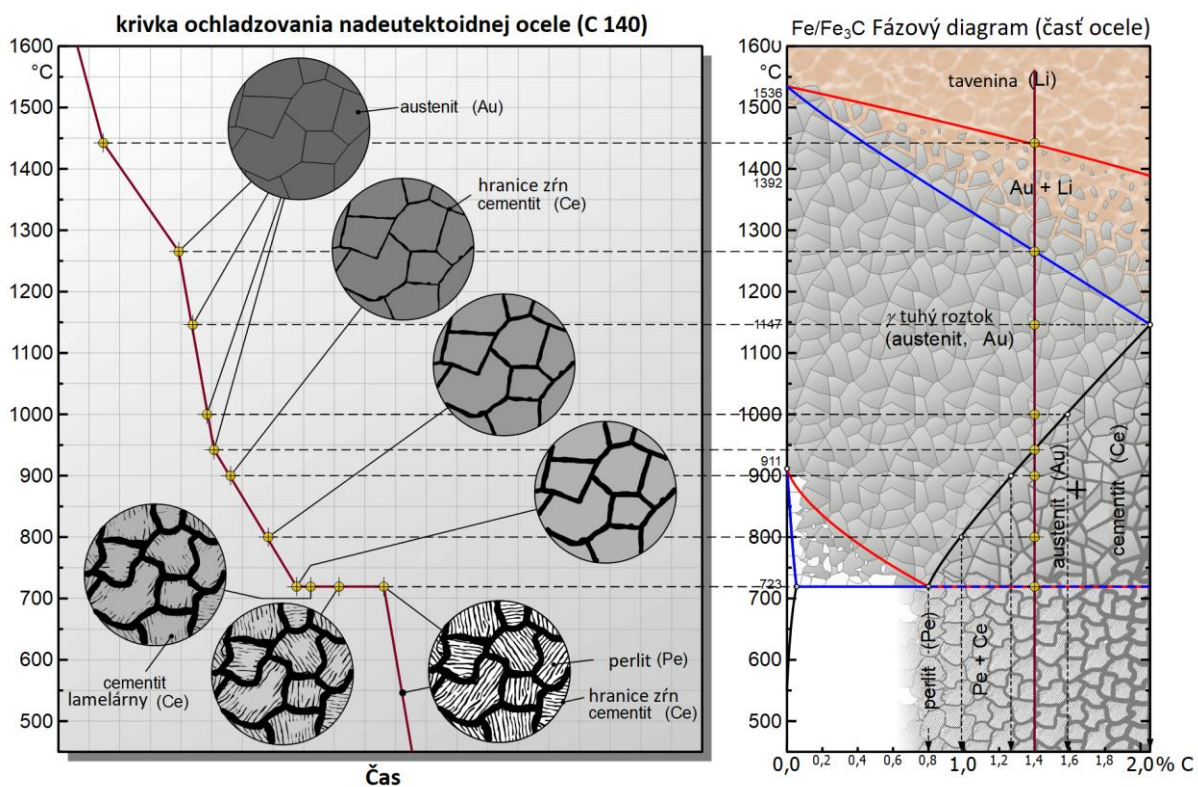
Ak sa oceľ ďalej ochladzuje, maximálna rozpustnosť a teda obsah uhlíka v austenite klesá čoraz viac, až kým pri 723 °C nedosiahne eutektoidné zloženie 0,8% uhlíka. Austenit sa potom v zásade správa ako eutektoidná oceľ, ktorá obsahuje presne 0,8% uhlíka. Pri konštantnej teplote 723 °C sa austenit začína rozpadáť na perlit, keď sa K12 austenitu transformuje do úplne nerozpustnej kubickej štruktúry feritu K8. Uhlík sa vyzráža priamo z mriežkovej štruktúry vo forme cementitických lamiel.

Tvorba cementitu sa uskutočňuje prednostne na energeticky priaznivých miestach, ako sú hranice zŕn. Často sa používa aj termín *sekundárny cementit*. Cementit sa nevyzráža v lamelárnej forme uprostred mriežkovej štruktúry, ako v prípade tvorby perlitu, pretože vyzrážanie cementitu počas tvorby perlitu je spôsobené transformáciou mriežkovej štruktúry. Ak je však prekročený limit rozpustnosti C, mriežka austenitu sa zachová, to znamená, že k mriežkovej transformácii nedôjde. Mechanizmy tvorby cementitu a perlitu sú zásadne odlišné. Po tejto konečnej transformácii mikroštruktúry je proces ochladzovania konečne ukončený a mikroštruktúra nadereutektoidnej ocele pozostáva z perlitických zŕn (feritické zrná s lamelami cementitu) a cementitu, ktorý sa predtým vyzrážal na hraniciach zŕn.

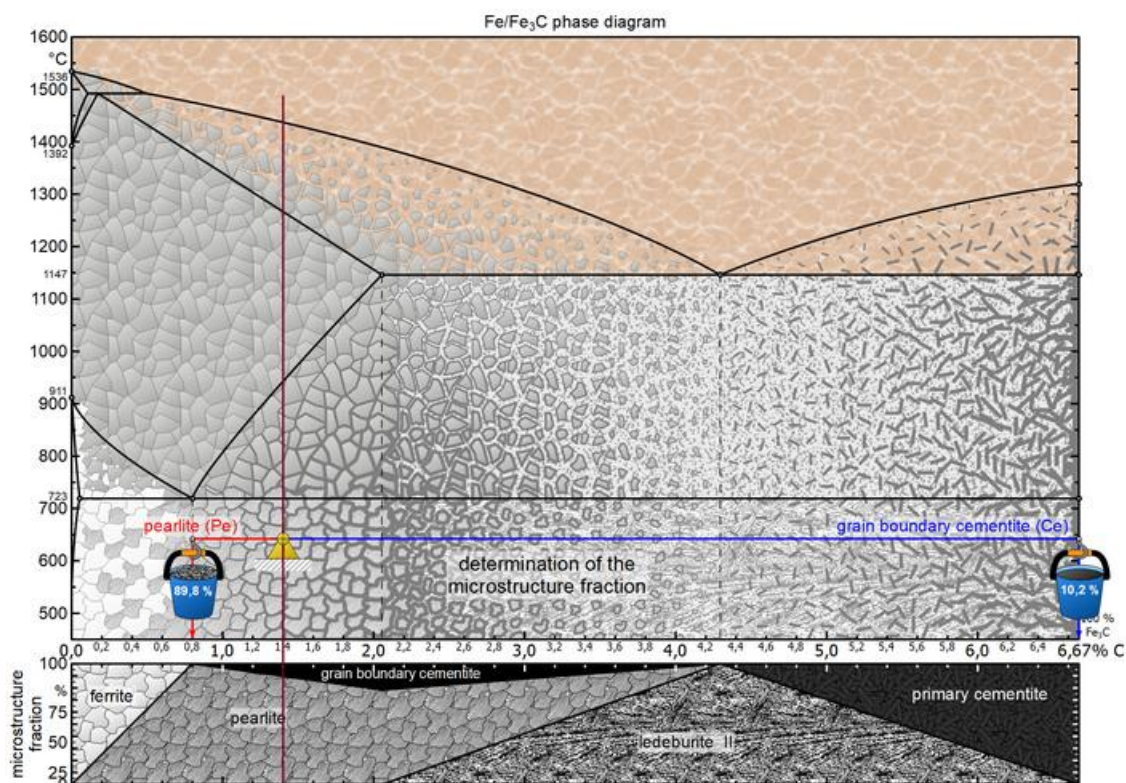
Zložky mikroštruktúry nadeutektoidných ocelí je možné určiť rovnakým spôsobom ako pre podeutektoidné ocele. Ramená páky sú priťahované k príslušným zložkám mikroštruktúry perlitu (s 0,8% uhlíka) a cementitu na hranici zŕn (s 6,67% uhlíka). V prípade ocele s 1,4% uhlíka pri izbovej teplote je podiel perlitu okolo 89,8% a frakcia cementitu na hranici zŕn 10,2%.

$$\text{pearlite} = \frac{6.67 - 1.4}{6.67 - 0.8} \cdot 100 \% = \underline{89.8 \%}$$

$$\text{grain boundary cementite} = \frac{1.4 - 0.8}{6.67 - 0.8} \cdot 100 \% = \underline{10.2 \%}$$



Obr.3.19 Fázová transformácia nadeutektoidnej ocele

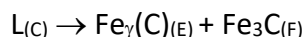


Obr.3.20 Stanovenie mikroštruktúry nadeutektoidnej ocele

V prípade hypereutektoidnej ocele podiel perlitu neustále klesá so zvyšujúcim sa obsahom uhlíka na minimum 78,5% (pri 2,14% uhlíka). V súlade s tým sa frakcia cementitu na hranici

zrń zvyšuje na maximum 21,5%. Po tejto konečnej mikroštruktúrálnej transformácii je proces ochladzovania ukončený a mikroštruktúra nadeutektoidnej ocele pozostáva z perlitických zrń (feritické zrná s lamelami cementitu) a cementitu na hraniciach zrń. Pri izbovej teplote majú nadeutektoidné ocele perlitickú mikroštruktúru (feritové zrná s vloženými lamelami cementitu) s dodatočne vyvráňaným cementitom na hraniciach zrń.

3. Eutektická reakcia – pri teplote 1147°C tavenina eutektického zloženia (bod C - 4,3 %C) tuhne nonvariantne na mechanickú zmes austenitu zloženia bodu E (2,14 %C) a eutektického cementitu podľa rovnice:



Vznikajúca eutektická zmes austenitu a eutektického cementitu sa nazýva ledeburit. Eutektickou reakciou končí kryštalizácia zliatin s obsahom 2,14 až 6,67 %C. Pri eutektoidnej teplote 727°C sa austenit rozpadá na perlit a výsledná štruktúra je tvorená jemným perlitom a eutektickým cementitom a nazýva sa **premenený ledeburit**.

Perlit a ledeburit sú dôležité štruktúrne zložky zliatin železa. Základným morfológickým variantom perlitu je lamelárny perlit, ktorý sa skladá zo striedajúcich sa lamiel feritu a cementitu – obr.3.21. Štruktúra premeneného ledeburitu je tvorená cementitickým základom so zrnami perlitu – obr.3.22.

Pre označenie kritických teplôt sa bežne používajú tieto symboly (obr.3.5):

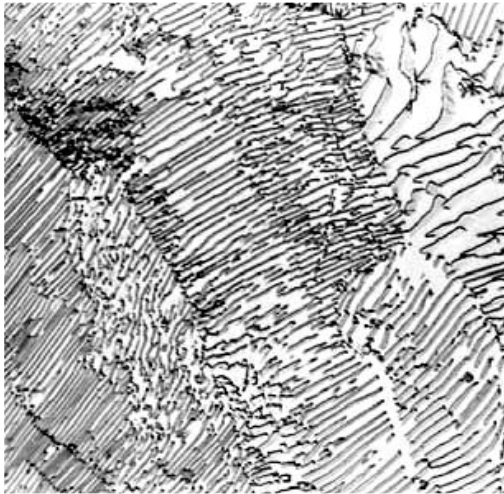
A_1 – eutektoidná teplota (Ac_1 - ohrev, Ar_1 - ochladzovanie)

A_3 – začiatok prekryštalizácie austenitu na ferit, čiara GS diagramu,

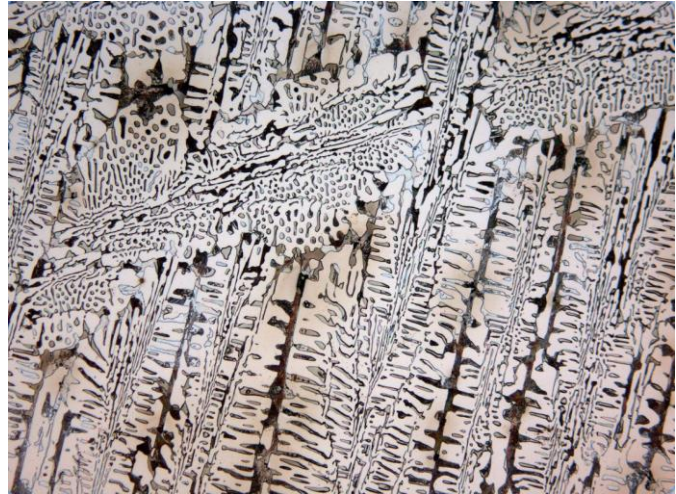
A_m – hranica rozpustnosti uhlíka v austenite, čiara SE rovnovážneho diagramu.

Rozdelenie zliatin železa s uhlíkom vychádza z rovnovážneho diagramu:

Ocele sú zliatiny železa s obsahom uhlíka do 2,14 % - bod E. Je to hraničná koncentrácia uhlíka v austenite do ktorej možno ohrevom zliatiny získať homogénny tvárny tuhý roztok. Nad touto hraničnou koncentráciou sa v štruktúre zliatin objavujú krehké a netvárne zložky eutektika (ledeburitu), ktoré sťažujú resp. znemožňujú ich tvárnenie. Zliatiny kryštalizujúce podľa metastabilnej sústavy, s obsahom uhlíka väčším ako 2,14 % nazývame **liatiny**.



Obr.3.21 Lamelárny perlit. Zv. 500 x



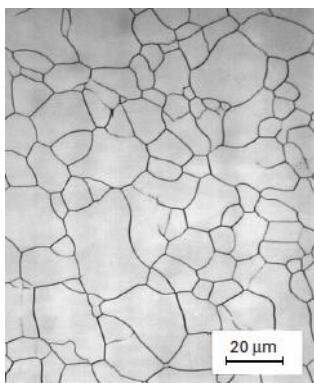
Obr.3.22 Premenený ledeburit. Zv. 500 x

Štruktúru ocelí s obsahom uhlíka do 0,02 %, tvorí základná feritická hmota a terciárny cementit, vylúčený na hraniciach feritických zŕn (obr.3.23a). Tieto ocele nazývame **mäkké ocele**.

U **podeutektoidných ocelí** s obsahom uhlíka 0,02 – 0,78 % je výsledná štruktúra *feriticko-perlitická* – obr.3.23b. Podiel perlitu v štruktúre sa zvyšuje s obsahom uhlíka.

Eutektoidná oceľ má perlitickú štruktúru, pretože pri eutektoidnej teplote nastane eutektoidná reakcia v celom objeme zliatiny.

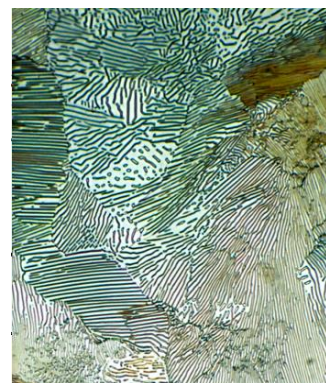
Pri **nadeutektoidných oceliach** ($0,78 \% < C < 2,14 \%$) je výsledná štruktúra perliticko-cementitická (obr.3.24c), pričom sekundárny cementit je vylúčený ako sieťovina po hraniciach pôvodných austenitických zŕn.



a)



b)



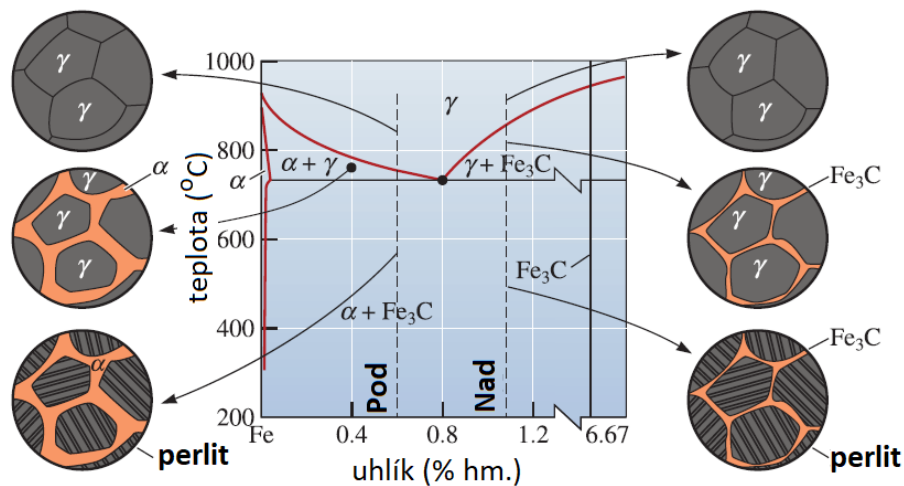
c)

Obr. 3.23 Mikroštruktúry ocelí

a) nízkouhlíková feritická oceľ (0,03 %C), b) nízkouhlíková feriticko-perlitická oceľ (0,3 %C),
c) perliticko-cementitická oceľ (1,4 %C)

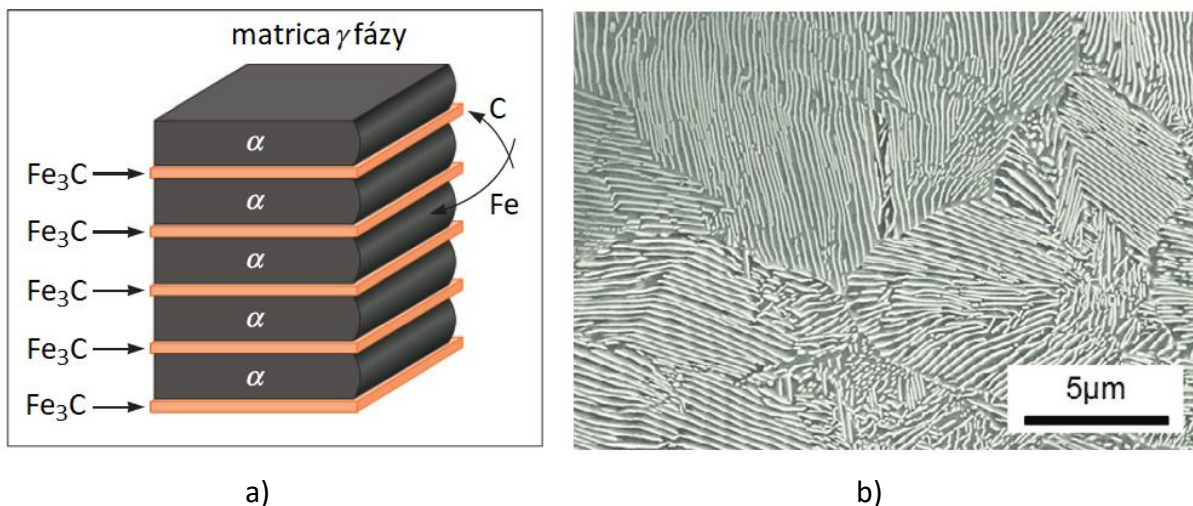
Na obr.3.24 je uvedená premena mikroštruktúry pod a nadeutektoidných ocelí v tuhom stave pri ochladzovaní pod 723°C. U podeutektoidných ocelí sa na hraniciach austenitických zŕn tvorí

nízkouhlíkový ferit, zrná austenitu sa obohacujú o uhlík a pri ochladení pod 723°C sa austenitické zrná c eutektoidnou koncentráciou uhlíka rozpadnú na lamelárnu mechanickú zmes – perlit. U nadeutektoidných ocelí sa na hraniciach austenitických zŕn hromadí uhlík v dôsledku jeho znižujúcej sa rozpustnosti v austenite. Pri ochladení pod 723°C sa austenitické zrná s eutektoidnou koncentráciou uhlíka rozpadajú na perlit.

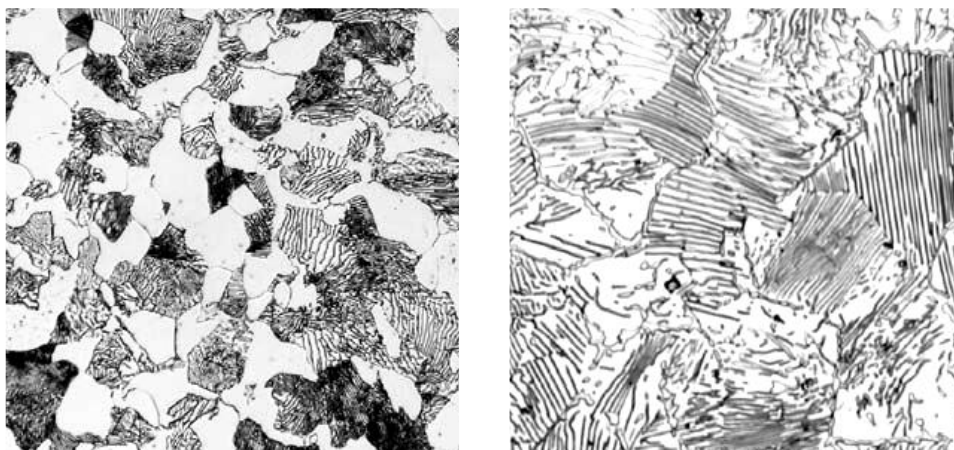


Obr.3.24 Vývoj mikroštruktúry podeutektoidných a nadeutektoidných ocelí počas ochladzovania v metastabilnom diagrame Fe-Fe₃C

Lamelárna zmes feritu a eutektoidného cementitu je uvedená na obr.3.25. Uhlík sa koncentruje v lamelách cementitu a o uhlík ochudobnené oblasti tvoria ferit.



Obr.3.25 Rast a štruktúra perlitu
 a) redistribúcia uhlíka a železa (vznik perlitickej kolónie);
 b) mikroštruktúra lamelárneho perlitu

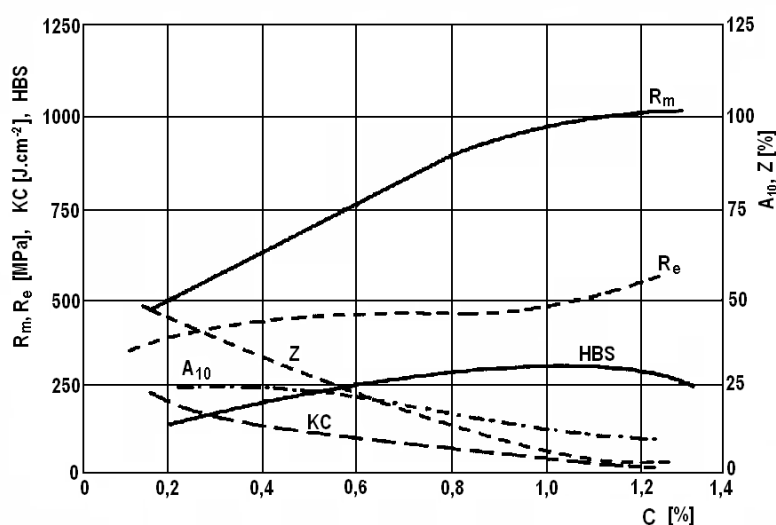


a)

b)

Obr.3.26 a) Štruktúra poeutektoidnej ocele $Fe\alpha$ (biele plochy) a perlitu (0,45 %C), zv.400x; b) štruktúra nadeutektoidnej ocele s primárnym Fe_3C a okolitý perlit (1,0 %C), zv. 800x

Mechanické vlastnosti ocelí závisia od obsahu uhlíka, obr.3.27. S rastúcim obsahom uhlíka dochádza k zvyšovaniu obsahu cementitu v štruktúre na úkor feritu, čo má za následok zvyšovanie pevnostných charakteristík a tvrdosti pri poklese plastičnosti a húževnatosti.



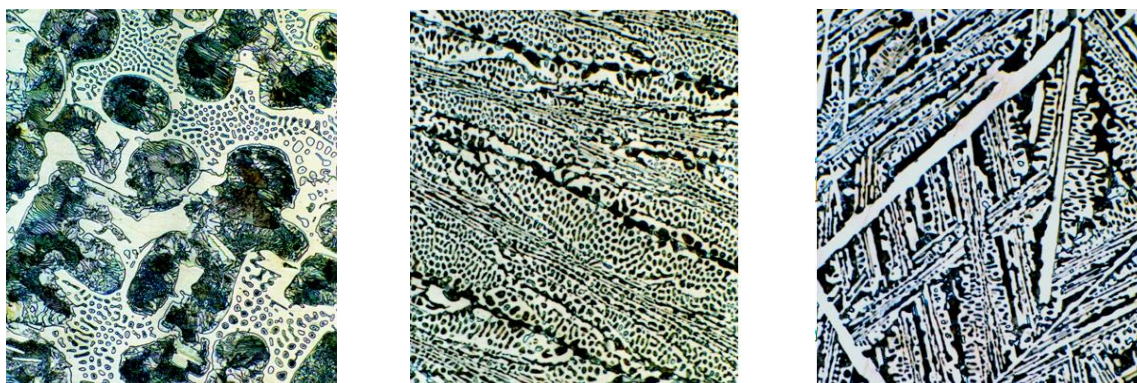
Obr.3.27 Vplyv obsahu uhlíka na mechanické vlastnosti uhlíkových ocelí

Kryštalizáciu bielych liatin charakterizuje eutektická reakcia a prítomnosť eutektika v ich štruktúre. Výsledná štruktúra **podeutektických bielych liatin** ($2,14 \% < C < 4,3 \%$) po ochladení sa skladá z perlitu, sekundárneho cementitu a ledeburitu – obr.3.28a.

Proces kryštalizácie **eutektickej bielej liatiny** začína eutektickou reakciou za vzniku ledeburitu. Pri eutektoidnej teplote sa ledeburitický austenit transformuje na perlit a výslednou štruktúrou je premenený ledeburit, obr.3.28b.

U **nadeutektických bielych liatin** ($4,3 \% < C < 6,67 \%$) začína kryštalizácia vylučovaním primárneho cementitu z taveniny, čím sa zvyšná tavenina ochudobňuje o uhlík a pri

eutektickej teplote tuhne na ledeburit. Výsledná štruktúra je tvorená primárnym cementitom a premeneným ledeburitom, obr.3.28c.



Obr.3.28 Mikroštruktúry bielych liatin, zv. 500 x
a – podeutektická liatina (3 %C), b – eutektická liatina (4,3 %C),
c – nadeutektická liatina (5 %C)

3.1.2 Význam rovnovážnych diagramov Fe - C

Rovnovážne diagramy stabilnej a metastabilnej sústavy dávajú veľmi cenné informácie pre rôzne technológie spracovania, výskum a vývoj ocelí a liatin.

Kryštalizácia ocelí a liatin - rovnovážne diagramy nám umožňujú sledovať vznik štruktúrnych zložiek pri danom zložení a určiť aj ich podiel.

Tavenie a odlievanie. Teplota tavenia sa určuje ako teplota asi o 100 až 200°C nad teplotou likvidus. Teplota odlievania sa volí 50 až 150°C nad teplotu likvidus. Ak je teplota vyššia vzniká nebezpečie zväčšenia obsahu plynov v tavenine, ak je nižšia je nebezpečie, že tavenina nevyplní dokonale formu. Podľa obsahu uhlíka v zliatine môžeme z diagramu Fe – C voliť teploty tavenia a odlievania. Napr. pre čisté železo by bola teplota odlievania 1600°C a pre zliatinu Fe – C s obsahom 4,3 %C len 1250°C.

Tvárnenie. Tvárnenie za tepla sa realizuje v oblasti tuhého roztoku γ (austenitu), pretože má mriežku K12 vyznačujúcou sa dobrou tvárnosťou. Výška teploty tvárnenia je obmedzená na hodnotu 100 – 200°C pod teplotou solidu, aby nedošlo k značnému zhrubnutiu zrna, prípadne k „spáleniu“ ocele. Tvárnenie sa musí dokončiť do teploty Ar_3 u podeutektoidných ocelí a Ar_1 u nadeutektoidných ocelí. U nadeutektoidných ocelí tvárnením medzi teplotou Ar_{cm} a Ar_1 dosiahneme rozdrobenie sieťovia sekundárneho cementitu, čím zvýšime deformačné vlastnosti (ťažnosť, kontrakcia) tejto zliatiny.

Tepelné spracovanie. Najväčší význam má diagram Fe – C pre postupy pri tepelnom spracovaní, ktoré umožňuje meniť vlastnosti materiálov v širokom rozmedzí. Podľa

kritických teplôt A_1 , A_3 , A_m sa určujú, žihacie, kaliace teploty, teploty fázových premien a iné. Diagram umožňuje určiť tiež výsledné štruktúry po tepelnom spracovaní.

Zváranie. Pri zváraní ocelí dochádza v mieste zvaru k ohrevu materiálu na rôzne teploty, od teploty tavenia až po teplotu okolia. Pri ohreve a ochladzovaní dochádza preto k fázovým premenám a podľa výšky dosiahnutej teploty k vzniku rôznych štruktúr s rôznymi vlastnosťami. Priradenie týchto teplôt do diagramu Fe – C umožňuje charakterizovať výsledné štruktúry vo zvarovom spoji.

Z uvedených príkladov, ale aj ďalších aplikácií ako je napr. voľba teplôt pre jednotlivé druhy chemicko–tepelného spracovania, termomechanického spracovania a pod. vyplýva, že rovnovážne diagramy Fe – C dávajú veľmi cenné informácie pre dosiahnutie optimálnych vlastností zliatin železa.

3.1.3 Sprievodné a zliatinové prvky v oceliach

Okrem uhlíka, ktorý má rozhodujúci vplyv na vlastnosti zliatin železa, uplatňujú sa často významnou mierou aj ďalšie prvky. Niektoré z nich sú prítomné v oceliach vždy a ich výskyt súvisí s použitými surovinami a výrobným pochodom. Nazývame ich sprievodné prvky. Ďalšie prvky do ocele pridávame zámerne, aby sme upravili vlastnosti ocele v požadovanom smere. Tieto prvky nazývame prísadové resp. zliatinové (legujúce) prvky.

Prvky, ktoré sa najčastejšie nachádzajú v oceliach môžeme podľa predchádzajúcich kritérií rozdeliť nasledovne:

- **sprievodné prvky škodlivé:** S, O, P, N, H
- **sprievodné prvky prospešné:** Mn, Si, Cu, Al
- **prvky zliatinové (legúry):** Cr, Ni, Mn, Si, Mo, W, V, Al, Ti, Nb, Cu, B, N

Z prehľadu je zrejmé, že niektoré prvky sprievodné, môžu v oceli vystupovať aj ako zliatinové. Výskyt zliatinových prvkov v oceli je tiež základným kritériom pre rozdelenie ocelí, podľa chemického zloženia.

Pod pojmom **uhlíková oceľ** rozumieme zlatinu železa s uhlíkom, sprievodnými prvkami a zliatinovými prvkami, pokiaľ ich obsah neprevyšuje dohovorenú hranicu, ktorú stanovuje norma EN.

Legované ocele sú tie, u ktorých obsah jednotlivých prvkov aspoň v jednom prípade prevyšuje dohovorenú hranicu.

Podľa štruktúry rozdeľujeme ocele na podeutektoidné, eutektoidné a nadeutektoidné. V praxi sa najviac využívajú podeutektoidné ocele.

Vzhľadom na výrazný vplyv obsahu uhlíka na vlastnosti ocelí uhlíkové ocele rozdeľujeme častejšie na:

- nízkouhlíkové, s obsahom C do 0,25 %,
- stredne uhlíkové, C = 0,25 – 0,6 %,
- vysokouhlíkové, s obsahom C nad 0,6 %.

3.1.3.1 Sprievodné prvky a inklúzie

Sprievodné prvky škodlivé - v zásade sa snažíme znížiť ich obsah na minimum. Je to otázka predovšetkým ekonomická. Pre bežné použitie vyrábame ocele z lacnejších surovín a ekonomicky výhodnejšími postupmi a majú preto vyšší obsah nečistôt. Iné suroviny a výrobné pochody volíme pre akostné ocele.

S í r a - dostáva sa do ocele z rúd a paliva. So železom tvorí sulfid železnatý (FeS) a tento so Fe_γ vytvára eutektikum s nízkou teplotou tavenia (985°C), ktoré sa vylučuje ako tenká blana na hraniciach austenitických zŕn a spôsobuje krehkosť pri tvárnení za tepla. Hovoríme, že síra spôsobuje krehkosť za červeného žiaru. FeS zhoršuje tvárnosť ocele aj pri teplote okolia, húževnatosť a zvariteľnosť.

K y s l í k - do ocele sa dostáva pri jej skujňovaní. Kyslík, ktorý ostane v oceli je viazaný na oxidy (FeO, MnO, Al₂O₃) alebo kremičitany (SiO₂). Jeho vplyv v hotovej oceli je jednoznačne škodlivý, pretože značne zhoršuje húževnatosť ocele.

F o s f o r - do ocele sa dostáva zo surovín. Fosfor zhoršuje najmä húževnatosť ocele, zvyšuje náchylnosť ku krehkému porušeniu, zväčšuje sklon na lámavosť za studena. Nepriaznivo pôsobí aj na zvariteľnosť ocelí a iné technologické vlastnosti.

D u s í k - vytvára so železom interstitický tuhý roztok. So znižujúcou teplotou sa jeho rozpustnosť zmenšuje a nadbytočný dusík sa pri pomalom ochladzovaní vylučuje ako nitrid Fe₄N. Pri rýchlejšom ochladzovaní vzniká nestabilný presýtený tuhý roztok dusíka v Fe_α. Ten sa za určitých podmienok (teplota, čas) rozpadá na stabilný nitrid Fe₄N. Nitridy sa prevažne vylučujú po hraniciach zŕn a v sklzových rovinách, čím sa značne znižuje húževnatosť, tvárnosť za studena a zvyšuje prechodová teplota a medza klzu. Tento jav nazývame starnutie ocele. Na starnutie sú náchylné najmä mäkké uhlíkové ocele pre výrobu plechov. Starnutie môžeme zabrániť znížením obsahu dusíka alebo jeho viazaním na nitridy stabilné pri vysokých teplotách (nitridy Al, Ti).

V o d í k - dostáva sa do ocele z pecnej atmosféry a vlhkosti vsádzky. Jeho rozpustnosť v tavenine je veľká. Pri tuhnutí sa zníži asi o 70 % a vodík uniká vo forme bublín. Pri ďalšom chladnutí sa rozpustnosť ďalej znižuje a prebytočný vodík sa vylučuje v miestach mikroskopických porúch v molekulárnej forme za vzniku napätí, ktoré môžu viesť k vzniku mikrotrhlín, nazývané vločky. Vločky zvyšujú náchylnosť ocele ku krehkému lomu.

Sprievodné prvky prospešné – majú eliminovať nepriaznivý vplyv nečistôt. Tu patrí:

M a n g á n - je obsiahnutý vo všetkých zliatinách železa ako základná dezoxidačná a odsírovacia prísada. Jeho obsah sa v uhlíkových oceliach pohybuje od 0,25 do 0,9 %. So

železom tvorí substitučný tuhý roztok a malá časť sa rozpúšťa v cementite a zvyšuje jeho stabilitu. Pôsobí priaznivo na vlastnosti ocelí, zväčšuje medzu klzu aj pevnosti bez zníženia ich húževnatosti a zvariteľnosti.

K r e m í k – je dôležitou dezoxidačnou prísadou. V množstve v akom sa nachádza v uhlíkových oceliach (do 0,5 %) pôsobí na mechanické vlastnosti väčšinou priaznivo. Je rozpustený vo ferite.

M e ď - nie je bežnou prísadou v oceliach. Dostáva sa do ocele z niektorých druhov rúd, alebo pri pretavovaní odpadu a nedá sa hutníckymi pochodmi odstrániť. Jeho obsah nebýva väčší ako 0,2 %. Nemá podstatný vplyv na mechanické vlastnosti, zlepšuje však odolnosť proti poveternostným vplyvom.

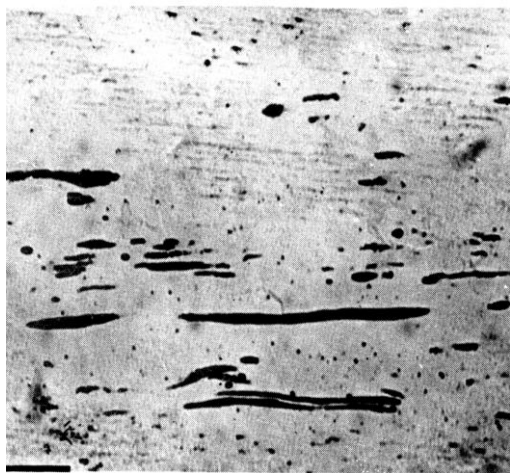
H l i n í k – je častým sprievodným prvkom, je veľmi účinná dezoxidačná prísada.

Inklúzie - len malá časť sprievodných prvkov býva rozpustená vo ferite (Mn, Si, P a pod.), alebo v cementite (Mn). Väčšinou sú v štruktúre ocele prítomné v samostatných štruktúrnych zložkách, ktoré sú produktmi odsírenia (sulfidy), dezoxidácie (oxidy, kremičitany, hlinitaný), resp. stabilizácie proti starnutiu (nitridy). Všetky tieto nekovové nečistoty, ktoré sú v kove nerozpustné nazývame inklúzie (vtrúseniny).

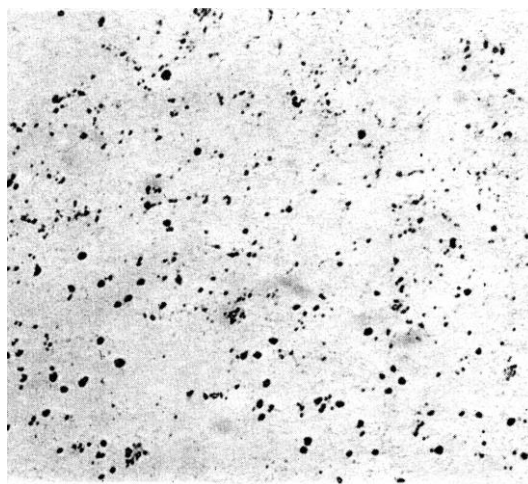
H l i n i t a n y - tvoria tvrdé ostrohranné útvary, ktoré sa pri tvárnení usporiadajú do riadkov a spôsobujú zníženie húževnatosti a medze únavy.

K r e m i č i t a n y a s u l f i d y – sú pri teplotách tvárnenia za tepla plastické a preťahujú sa v smere tvárnenia. Ich negatívny vplyv na vlastnosti ocele je obdobný ako pri hlinitanoch. Sulfidy sú najčastejšie inklúzie v oceliach (FeS, MnS), obr.3.29.

O x i d y a nitridy sú v oceli jemne rozptýlené a pokiaľ sa nevyskytujú vo veľkom množstve pôsobia na vlastnosti ocele priaznivo, pretože zjemňujú zrno a zlepšujú ťažnosť. Oxidy (FeO, MnO, SiO₂, Al₂O₃ atď.) sa vylučujú vo forme globúl, často veľmi jemných – obr.3.30.



Obr.3.29 Sulfidické inklúzie v tvárnenej oceli. Neleptaný stav. Zv. 300 x



Obr.3.30 Mikroštruktúra množstva oxidických inklúzií. Neleptané. Zv. 100 x

Kontrola mikročistoty (obsah inklúzií) je pri niektorých druhoch ocelí ako sú hlbokotažné ocele, ložiskové ocele a pod. veľmi dôležitá. Realizuje sa pomocou svetelnej mikroskopie porovnávaním neleptaných výbrusov s normovanými etalónmi.

3.1.3.2 Zliatinové prvky

Ocele, ktoré okrem železa, uhlíka a sprievodných prvkov obsahujú aj jeden alebo viac zliatinových prvkov nazývame **zliatinové (legované) ocele**. Pridávajú sa do ocele za účelom zlepšenia niektorých vlastností. Podľa celkového obsahu legujúcich (zliatinových) prvkov rozdeľujeme zliatinové ocele nasledovne:

- nízkolegované – s obsahom legúr do 2,5 %,
- stredne legované – od 2,5 do 5,0 % legúr,
- vyššie legované – od 5,0 do 10,0 % legúr,
- vysokolegované – nad 10 % legúr.

Medzi hlavné dôvody legovania zliatin železa patrí:

- zvýšenie mechanických vlastností, predovšetkým pevnosti a tvrdosti pri zachovaní vyhovujúcej húževnatosti (Mn, Si, Ni, Mo, V, W, Cr),
- zvýšenie prekaliteľnosti legovaním prvkami, ktoré znižujú kritickú rýchlosť rozpadu austenitu (Cr, Mn, Mo, V, Ni, B),
- zmenšenie sklonu ocele k rastu austenitického zrna za vyšších teplôt a dosiahnutím jemnozrnnej štruktúry vylúčením disperzných častíc karbidov alebo nitridov (Al, Ti, Nb, Ta, V),
- vytvorenie tvrdých a proti opotrebeniu odolných karbidov, prípadne karbidov stabilných za vysokých teplôt (Cr, Mo, W, V),
- zvýšenie žiarupevnosti ocelí tvorbou disperzných karbidov v štruktúre (Cr, Mo, W, V),
- dosiahnutie niektorých fyzikálnych vlastností - elektrických, magnetických (Si).

Stupeň legovania uvedených ocelí odpovedá nízkolegovaným oceliam. Pre náročnejšie prevádzkové podmienky sa používajú vysokolegované ocele alebo liatiny za účelom:

- zvýšenia korozivzdornosti v agresívnych prostrediach (Cr, Ni, Mo, Si, Cu),
- potlačenia interkryštalickej korózie v korozivzdorných oceliach (Ti, Nb, Ta),
- zvýšenia odolnosti proti oxidácii za vysokých teplôt vytvorením kompaktného filmu oxidov s dobrou príľnavosťou k povrchu ocele (Cr, Si, Al).

Posledné tri uvedené ciele sa dosahujú výrobou vysokolegovaných ocelí u ktorých obsah legujúcich prvkov je v rozmedzí 12 až 50 %.

Legujúce prvky pôsobia ďalej na vlastnosti ocele nasledovne:

a) Zmenou termodynamickej stability tuhých roztokov – podľa toho sa delia legujúce prvky na austenitotvorné a feritotvorné.

Austenitotvorné prvky rozširujú oblasť stability austenitu znižovaním teplôt A_3 , A_1 a zvyšovaním teploty A_4 . Pôsobenie prvkov (Ni, Mn, Co), ktoré rozširujú oblasť austenitu neobmedzene je schematicky uvedené na obr.3.14a. Ocele, ktoré majú austenitickú štruktúru sa nedajú kaliť ani prekryštalizačne žíhať. Ďalšie austenitotvorné prvky (N, C, Cu, B) otvárajú oblasť austenitu ohraničenú.

Feritotvorné prvky rozširujú oblasť stability feritu zvyšovaním teploty A_3 a znižovaním A_4 . Na obr.3.14b je uvedené pôsobenie prvkov (Cr, Si, Al, W, Mo, V, Ti), ktoré nad určitou koncentráciou celkom uzatvárajú oblasť austenitu. Feritotvorné prvky Ta, Zr, B, S, O, Ca uzatvárajú oblasť austenitu čiastočne.

b) Legujúce prvky vplývajú na zmenu fyzikálnych vlastností a chemickej odolnosti. Pri obsahu chrómu nad 12 % sú ocele schopné pasivácie a odolávajú korózii. Korozivzdorné ocele obsahujú obvykle 12 – 27 %Cr. Prísada Ni zvyšuje elektrochemickú ušľachtilosť zliatiny. Prvky, ktoré za vyšších teplôt vytvárajú súvislú vrstvu oxidov zlepšujú odolnosť proti oxidácii za vysokých teplôt a sú základom žiaruvzdorných zliatin.

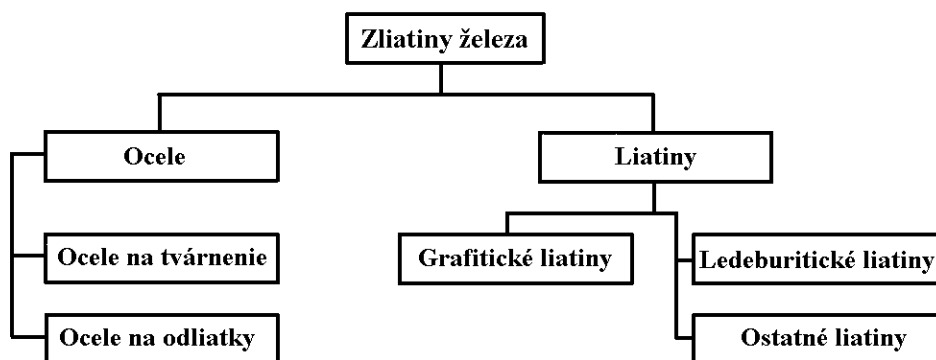
c) Legujúce prvky vplývajú na mechanické vlastnosti. Substitučné prvky spevňujú ferit bez výraznejšieho poklesu húževnatosti. Interstiticky rozpustené prvky vytvárajú zhluky atómov na dislokáciách a prejavujú sa výraznou medzou klzu.

d) Legujúce prvky spôsobujú vznik nových fáz. Prvky, ako W, Mo, Ti tvoria pri vyšších koncentráciách v štruktúre intermetalické fázy, napr. Fe_2W , Fe_2Mo . Ich vznik sa môže využiť pri vytvrdzovaní ocelí. Veľmi dôležité fázy sú karbidy a nitridy (MC , M_2C , M_7C_3 , M_4C_3 , $M_{23}C_6$), ktoré výrazne ovplyvňujú vlastnosti ocelí. Karbidy zvyšujú tvrdosť ocelí, vplyv špeciálnych karbidov je výraznejší. Podobne reaguje dusík s nitridotvornými prvkami za vzniku nitridov o obecnom zložení MN , M_2N .

e) Legujúce prvky ovplyvňujú mechanizmus a kinetiku fázových premien. Všetky legujúce prvky okrem hliníku a kobaltu posúvajú krivku rozpadu austenitu k dlhším časom a zvyšujú prekaliteľnosť. Najviac v tomto smere pôsobí B, Cr, Mn, Si, Ni. Väčšina legujúcich prvkov znižuje teplotu začiatku martenzitickej premeny M_s a tiež zvyšuje obsah zvyškového austenitu. S rastúcim obsahom uhlíka sa legujúce prvky uplatňujú výraznejšie.

3.2 Rozdelenie a označovanie technických zliatin železa, materiálové normy

Technické zliatiny železa sa najobecnejšie delia podľa schémy na obr.3.31 na ocele a liatiny, alebo zliatiny železa určené k tvárneniu a zliatiny železa určené k výrobe odliatkov. Až na výnimky sa k tvárneniu používajú len ocele. Len malá časť ocelí (menej než 2 % svetovej produkcie) je určená k výrobe odliatkov. V celosvetovom meradle je podiel liatin na výrobe technických zliatin železa asi 10 %.



Obr.3.31 Schéma rozdelenia zliatin železa

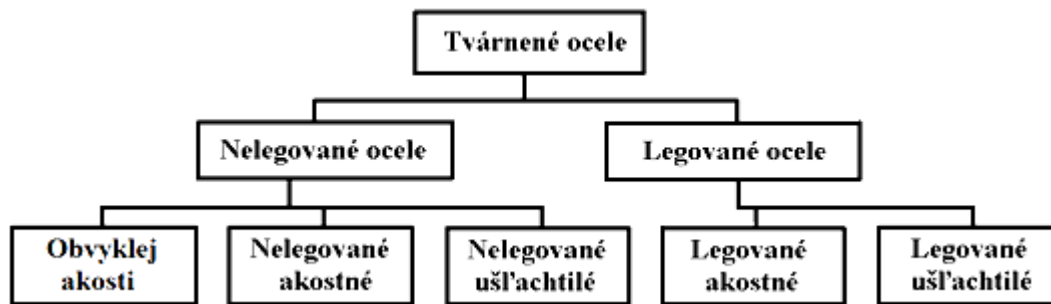
3.2.1 Ocele na tvárnenie

3.2.1.1. Rozdelenie ocelí na tvárnenie

Rozdelenie a označovanie ocelí sa v Európe zjednocuje na základe európskych noriem (EN) a postupne sa stanú normami celoeurópskymi. V SR sú vydávané ako STN EN. Rozdelenie ocelí je dané európskou normou EN 100020, v ktorej sa definuje:

- pojem ocele k tvárneniu,
- rozdelenie druhov ocelí podľa chemického zloženia,
- rozdelenie do hlavných skupín akosti na základe vlastností a účelu použitia.

Ako **ocеле k tvárneniu** sú označované materiály, u ktorých hmotnostný podiel železa je väčší než ktoréhokoľvek iného prvku, obsahujú menej ako 2 %C a obsahujú ďalšie prvky. Schéma rozdelenia tvárnených ocelí je na obr.3.32.



Obr.3.32 Schéma rozdelenia ocelí na tvárnenie

Rozdelenie ocelí podľa chemického zloženia:

- *Nelegované ocele* - sú tie, u ktorých obsah jednotlivých prvkov v žiadnom prípade nedosahuje medzné hodnoty uvedené v tab.3.1.
- *Legované ocele* – sú tie, u ktorých obsah jednotlivých prvkov minimálne v jednom prípade dosahuje alebo prekračuje medzné hodnoty obsahu legujúcich prvkov uvedené v tabuľke 3.1.

Tabuľka 3.1 Medzné obsahy prvkov (hmotnostný podiel prvkov je uvedený v %)

Mn = 1,65	Si = 0,60	Cu = 0,40	Ni = 0,30
W = 0,30	Co = 0,30	Al = 0,30	V = 0,10
Mo = 0,08	Ti = 0,05	Bi = 0,10	Nb = 0,06
Zr = 0,05	Pb = 0,40	B = 0,008	Cr = 0,30

Ostatné prvky (okrem C, P, S, N) vždy 0,05

Rozdelenie ocelí podľa hlavných skupín akosti na základe vlastností a účelu použitia podľa STN EN 100020:

1. Nelegované ocele. Norma STN EN 100020 ich delí do troch hlavných skupín akosti:

a) **ocle obvyklej vlastnosti**, ktoré nevyžadujú zvláštne opatrenia k výrobe:

- nie sú určené pre tepelné spracovanie (podľa EN 10020 nie je žiadny druh žihania považovaný za tepelné spracovanie),
- požiadavky na akosť sú v súlade s hodnotami medzných hodnôt pre tieto ocele ($R_{m \min} \leq 690 \text{ MPa}$, $R_{e \min} \leq 360 \text{ MPa}$, $A_5 \min \leq 26 \%$),
- s výnimkou obsahu Mn a Si nie sú predpísané žiadne obsahy legujúcich prvkov,
- ďalšie zvláštne charakteristiky (hlboké ťahanie, profilovanie a pod.) nie sú predpísané

b) **nelegované akostné ocele** – sú všetky nelegované ocele, ktoré nie sú zahrnuté v skupinách ocelí obvyklých akostí a ušľachtilých ocelí. Nemajú predpísané žiadne

požiadavky na stupeň čistoty z hľadiska nekovových inklúzií. Sú na ne kladené prísnejšie požiadavky (veľkosť zrna, tvárniteľnosť, krehké porušenie a pod.)

c) **nelegované ušľachtilé ocele** – oproti akostným vykazujú vyšší stupeň čistoty, najmä z hľadiska nekovových inklúzií. Sú určené pre zošľachťovanie alebo povrchové kalenie. Majú presne stanovené chemické zloženie a často zvláštne podmienky výroby. Tu patria:

- ocele s požiadavkou na nárazovú prácu v zošľachtenom stave,
- ocele s požiadavkami na hĺbku zakalenej vrstvy alebo povrchovú tvrdosť v zakalenom, povrchovo zakalenom, prípadne popustenom stave,
- ocele s požiadavkou na obzvlášť nízky obsah nekovových inklúzií,
- ocele s predpísaným najvyšším obsahom P a S (0,025 % v hotovom výrobku),
- ocele s min. hodnotami nárazovej práce ($KV > 27 \text{ J}$ na pozdĺžnych vzorkách pri -50°C),
- ocele pre jadrové reaktory ($\text{Cu} \leq 0,10 \%$, $\text{Co} \leq 0,05 \%$, $\text{V} \leq 0,05 \%$),
- feriticko-perlitické ocele s $\text{C} \geq 0,25 \%$ s prípustným obsahom jedného alebo viac mikrolegujúcich prvkov (V, Nb a pod.),
- ocele pre predpínaciu výstuž do betónu.

2. Akostné skupiny legovaných ocelí

a) **legované akostné ocele** – sú určené pre podobné použitie ako nelegované akostné ocele na ktoré sú stanovené požiadavky napr. na húževnatosť, veľkosť zrna alebo tvárniteľnosť. Nie sú všeobecne určené pre zošľachťovanie a povrchové kalenie. Tu patria:

- zvariteľné jemnozrnné ocele pre oceľové konštrukcie, vrátane ocelí na tlakové nádoby a potrubia s medzou sklzu $R_e \leq 360 \text{ MPa}$ a medzným obsahom legujúcich prvkov,
- legované ocele na koľajnice a banské výstuže,
- ocele pre valcované ploché výrobky, obsahujúce prvky zjemňujúce zrno (B, Nb, Ti, V, Zr),
- ocele legované len Cu (Atmofix),
- ocele legované Si, Si - Al, určené pre elektrotechniku.

b) **legované ušľachtilé ocele** – vlastnosti sú dosahované predpísaným chemickým zložením a zvláštnymi podmienkami spracovania. Zahrňujú legované konštrukčné ocele, legované

oceľe pre tlakové nádoby a zariadenia, oceľe pre valivé ložiská, nástrojové oceľe, rýchlorezné oceľe, oceľe so zvláštnymi fyzikálnymi vlastnosťami – feritické Ni oceľe.

Podľa obsahu legujúcich prvkov sa delia na nasledujúce podskupiny:

- korozivzdorné oceľe s obsahom $\text{Cr}_{\min} \geq 10,5 \%$ a max. obsahom uhlíka 1,2 %,
- rýchlorezné oceľe s obsahom $\text{C} \geq 0,60 \%$ a $\text{Cr} = 3,0 - 6,0 \%$, okrem ďalších prvkov obsahujú min. dva z trojice Mo, W, V s celkovým obsahom nad 7 %,
- ostatné legované ušľachtilé oceľe.

3.2.1.2 Systémy označovania ocelí

Pre označovanie ocelí sa používa systém skráteného označovania (EN 10027-1) a systém číselného označovania (EN 10027-1). Čísla a písmena značiek ocelí sú volené tak, aby vyjadrovali základné charakteristické znaky, ako napr. hlavné oblasti použitia, mechanické, fyzikálne vlastnosti alebo chemické zloženie. Ďalej sa označenie dopĺňa prídavnými symbolmi, charakterizujúcimi napr. vhodnosť použitia pre vysoké/nízke teploty, stav povrchu, stav spracovania a pod. Pre každú oceľ smie byť stanovená iba jedna značka. Symboly sa radia v značke za sebou bez medzier.

A. Systém skráteného označovania ocelí (EN 10027-1)

Na účely skráteného označovania ocelí sa používajú dve skupiny značiek:

- skupina 1 - značky ocelí vytvorené podľa ich použitia a mechanických alebo fyzikálnych vlastností,
- skupina 2 - značky ocelí vytvorené na základe ich chemického zloženia.

Stavba značiek vytvorených na základe použitia a mechanických a fyzikálnych vlastností:

Značka je vytvorená tromi skupinami značiek a číslíc najčastejšie podľa nasledujúcej schémy:

1. skup.	2. skup.	3.a skup.	3.b skup
(G)X	nnn(n)	X(X)	X(n)

1. skupina znakov obsahuje veľké písmena. Pre oceľe na odliatky sa pred značkou oceľe dopĺňa písmeno G. Druhý symbol označuje použitie výrobku.
2. skupina označuje najčastejšie medzu klzu alebo pevnosť, prípadne tvrdosť a i.
- 3.a skupina znakov udáva ďalšie vlastnosti, napr. húževnatosť alebo chemické zloženie, spôsob výroby a tepelného spracovania, tvárnosť a pod.
- 3.b skupina znakov súvisí najmä s použitím oceľe.

Označovanie ocelí – skupina 1:

- a) Číslo, ktoré nasleduje za písmenom, označuje min. medzu klzu $R_{e \min}$ [MPa]

S – ocele pre oceľové konštrukcie – všeobecné použitie,

Príklad: S355J2W, $R_{e \min} = 355$ MPa, J2 = KV > 27 J pri $T = -20$ °C, W = odolnosť proti atmosférickej korózii,

P – ocele na tlakové nádoby, napr.: P265H, $R_{e \min} = 265$ MPa, H – vysoké teploty,

L – ocele na potrubie, napr.: L360Q, $R_{e \min} = 360$ MPa, Q = zošľachtené,

E – ocele na strojné súčiastky, napr.: E295C, $R_{e \min} = 295$ MPa, C = tvárniteľné za studena,

- b) **B** – ocele pre výstuž do betónu, nasleduje číslo udávajúce charakteristickú medzu klzu (R_{eH} , R_{eL} , R_p), napr.: B500H, $R_{e \min} = 500$ MPa, H = tyče,

- c) **Y** – ocele pre výstuž do betónu, napr.: Y1770C, $R_{m \min} = 1770$ MPa, C = drôt ťahaný za studena,

- d) **R** – ocele pre koľajnice alebo vývalky podobného tvaru, napr.: R0900Mn, $R_{m \min} = 900$ MPa, Mn - zvýšený obsah mangánu,

- e) **H** – ploché výrobky valcované za studena, napr.: H420M, $R_{e \min} = 420$ MPa, M – termomechanicky spracované,

- f) **D** – ploché výrobky valcované za studena (okrem 2d), napr.: DC04EK, C04 – valcované za studena, EK – pre smaltovanie,

- g) **T** – tenké a pocínované plechy pre obalovú techniku, napr.: TH52, H52 – stredná hodnota predpísaného rozmedzia tvrdosti,

M – ocele pre elektrotechnické účely.

Skupina 2 - značky ocelí vytvorené na základe ich chemického zloženia:

Podľa uvedeného spôsobu sú ocele rozdelené do štyroch podskupín:

1. nelegované ocele s obsahom Mn < 1%,
2. nelegované ocele s obsahom Mn ≥ 1 %,
3. legované ocele s obsahom aspoň 1 prvku nad 5 %,
4. rýchlorezné ocele.

Značka ocelí (okrem rýchlorezných) je vytvorená najčastejšie podľa nasledujúcej schémy:

1. skup.	2. skup.	3. skup.
(G)X	nnn	a....n-n

Ad.1. Základná značka pre nelegované ocele so stredným obsahom Mn < 1%. Značka sa skladá z týchto symbolov:

- a) písmena C,
- b) čísla - obsah „C“ x 100 (100x stredný obsah uhlíka)
- c) písmeno, bližšie charakterizujúce danú oceľ:

E - predpísaný max. obsah síry, R - predpísaný rozsah pre obsah síry, D – pre ťahané drôty, C – pre tvárnenie za studena, S – pre pružiny, U – nástrojové, W – pre zvaracie drôty, G – iné charakteristiky.

Príklad označenia: C25 – nelegovaná oceľ so stredným obsahom C = 0,25 %.

Ad.2. Nelegované ocele s obsahom Mn ≥ 1 %, legované ocele s obsahom legúr do 5 %:

- a) číslo C x 100
- b) chemické značky legujúcich prvkov v klesajúcom poradí podľa obsahu,
- c) nasledujú x-x čísla, oddelené pomlčkou, ktoré odpovedajú strednému obsahu prvkov vynásobenému nasledujúcim koeficientom, zaokrúhlené na celé číslo.

Cr, Co, Mn, Ni, Si, W x koeficient 4,

Al, Be, Cu, Mo, Nb, Pb, Ta, Ti, V, Zr x koeficient 10,

Cr, N, P, S x koeficient 100,

B x koeficient 1000.

Príklad: 10CrMo12-10 – oceľ so stredným obsahom C = 0,10 %, Cr = 3 %, Mo = 1 %.

Ad.3. Legované ocele s obsahom aspoň 1 prvku nad 5 %:

- a) charakteristické písmeno X,
- b) číslo - obsah „C“ x 100,
- c) chemické značky pre legujúce prvky v klesajúcom poradí podľa obsahu,
- d) nasledujú x-x čísla, oddelené pomlčkou, ktoré odpovedajú strednému obsahu príslušného prvku, zaokrúhlené na najbližšie vyššie číslo.

Príklad označenia: X5CrNi18-10 – oceľ s 0,05 %C, 18 %Cr, 10 %Ni.

Ad.4. Základné označenie rýchlorezných ocelí:

- a) charakteristické písmeno HS,
- b) obsahy legujúcich prvkov x-x čísla, udávajúce obsah legujúcich prvkov v poradí W, Mo, V, Co (stredný obsah zaokrúhlený na celé číslo).

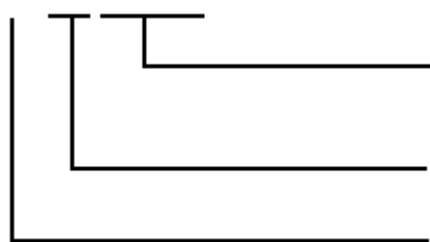
Príklad označenia: HS2-9-1-8 – rýchlorezná oceľ so stredným obsahom W = 2 %, Mo = 9,

V = 1 a Co = 8 %.

B. Systém číslovania ocelí

Norma STN 10027-2 zavádza systém číslovania na označenie tried ocelí (čísla ocelí). Zaoberá sa štruktúrou čísiel ocelí a organizáciou ich registrácie a pridelovaním. Tieto čísla sú doplnkové k názvom ocelí zavedeným v EN 10027-1. Je povinné pre ocele v EN. Sú vhodnejšie na spracovanie dát. Čísla oceliam sa pridelujú na základe charakteristických vlastností ako je chemické zloženie, vlastnosti, vhodnosť pre ďalšie spracovanie a zvláštne použitie. Každé číslo ocele musí zodpovedať iba jednému typu ocele a naopak. Čísla ocele sa tvoria podľa schémy:

1 . XXXX(XX)



Poradové číslo. Číslice v zátvorke sú na možné budúce použitie

Číslo skupiny ocelí (Tabuľka 1 EN 10027-2)

Číslo skupiny materiálov: 1 = oceľ

Príklady čísiel ocelí: (tab. 1 – STN EN 10027-2)

Nelegované ocele:

- základné ocele: 1.00, 1.90

- akostné ocele: 1.01, 1.91 stavebné konštrukčné ocele s $R_m < 500$ MPa

1.03, 1.93 ocele s obsahom C < 0,12% alebo $R_m < 400$ MPa

1.06, 1.96 Ocele s obsahom C $\geq 0,55\%$ alebo $R_m \geq 700$ MPa

- ušľachtilé ocele: 1.10 ocele so zvláštnymi fyzikálnymi vlastnosťami

1.12 konštrukčné ocele, ocele pre tlakové nádoby s C $\geq 0,55\%$

1.15 nástrojové ocele

Legované ocele:

- akostné ocele: 1.08, 1.98 ocele so špeciálnymi fyzikálnymi vlastnosťami
- ušľachtilé ocele: 1.20 Cr nástrojová oceľ
1.23 Cr-Mo, Cr-Mo-V, Mo-V - nástrojové ocele
1.35 ocele na valivé ložiska
1.48 žiaruvzdorné ocele s $\text{Ni} \geq 2,5\%$
1.71 Cr-Si, Cr-Mn, Cr-Mn-B, Cr-Si-Mn konštrukčné ocele pre tlakové nádoby

Podrobné požiadavky na jednotlivé ocele skupiny ocelí sú uvedené v technických dodacích podmienkach. Všeobecne technické dodacie podmienky pre oceľ a oceľové výrobky uvádza norma EN 10021. Technické dodacie podmienky obvykle uvádzajú rozmery, hmotnosti a medzné odchýlky výrobkov, klasifikáciu ocelí a akostných stupňov vrátane označovania, technické požiadavky, kontrolu, skúšanie a označovanie výrobkov.

Technické požiadavky obvykle obsahujú spôsob výroby, chemické zloženie, mechanické vlastnosti, technologické vlastnosti, akosť povrchu a vnútornú akosť pre jednotlivé ocele alebo pre skupiny ocelí. Technické dodacie podmienky ďalej predpisujú spôsob kontroly a udávajú príslušné normy pre vykonávanie jednotlivých skúšok vrátane odberu vzoriek a záznamov o vykonaných skúškach.

3.2.2 Ocele na odliatky

Pre ocele na odliatky v súčasnej dobe neexistuje ekvivalent normy pre rozdelenie ocelí na tvárnenie, EN 10020. Podľa spôsobu použitia môžeme ocele na odliatky rozdeliť na:

- a) nelegované a legované ocele na odliatky pre všeobecné použitie,
- b) ocele pre odliatky tlakových nádob,
- c) korozivzdorné ocele pre všeobecné použitie,
- d) žiaruvzdorné ocele na odliatky pre všeobecné použitie,
- e) materiály pre odstredivo liate výrobky.

3.2.3 Liatiny

Liatiny možno rozdeliť použitím systému európskej normalizácie pre ich označovanie. Systém označovania liatin je uvedený v STN EN 1560. K označovaniu liatin sa používa jednak systém skráteného označovania, jednak systém číselného označovania.

3.2.3.1 Systém skráteného označovania liatin

Značka liatiny je tvorená písmenami a číslami usporiadanými do šiestich pozícií:

1. pozícia obsahuje znaky EN,
2. pozícia obsahuje znaky GJ (odliatok z liatiny),
3. pozícia uvádza označenie pre tvar grafitu veľkým písmenom podľa tab.3.2. Označenie sa pripája k symbolu na 2. pozícií bez medzery,

Tabuľka 3.2 Označenie tvaru grafitu

L	lupienkový	V	vermikulárny
S	guľôčkový	N	ledeburitické liatiny bez grafitu
M	vločkový (temperovaný)	Y	zvláštny tvar uvedený v príslušnej mat. norme

4. pozícia sa pripája len v prípade kedy je nutné označiť mikro alebo makroštruktúru. Inak sa vynecháva. K označeniu mikro a makroštruktúry sa používajú značky uvedené v tab.3.3.

Tabuľka 3.3 Označenie mikro a makroštruktúry

A	austenit	Q	štruktúra po zakalení
F	ferit	T	štruktúra po zošľachtení
P	perlit	B	neoduhličená štruktúra*
M	martenzit	W	oduhličená štruktúra*
L	ledeburit		

* Platí pre temperovanú liatinu

5. pozícia uvádza buď mechanické vlastnosti liatiny alebo jej chemické zloženie

Označenie podľa mechanických hodnôt

Mechanické hodnoty sa zisťujú buď na oddelene liatych alebo priliatych skúšobných vzorkách, alebo na vzorkách vyrezaných z odliatku. Spôsob výroby skúšobnej vzorky udáva písmeno uvedené v tab.3.4, ktoré nasleduje za číselným označením mechanických hodnôt.

Tabuľka 3.4 Označenie spôsobu výroby skúšobnej vzorky

S	oddelene liata skúšobná vzorka
U	priliata skúšobná vzorka
C	skúšobná vzorka vyrezaná z odliatku

Označenie pevnosti

Číslo udáva najmenšiu zaručenú pevnosť v MPa.

Príklad: EN GJL-150C – liatina s lupienkovým grafitom, s min. pevnosťou 150 MPa. Pevnosť bola stanovená na skúšobnej vzorke vyrobenej vyrezaním z odliatku.

Označenie ťažnosti

Pokiaľ sa udáva ťažnosť, pridáva sa za údaj minimálnej pevnosti ako minimálna hodnota v percentách, hneď za pomlčkou.

Príklad: EN GJS-350-22U – liatina s guľôčkovým grafitom, s min. pevnosťou 350 MPa a min. ťažnosťou 22 %. Mechanické hodnoty boli stanovené na priliatej vzorke

Označenie teploty pri skúške rázom v ohybe

Ak sa vyžaduje skúška rázom v ohybe, potom sa teplota skúšania označuje písmenami uvedenými v tab.3.5. Písmena sa uvádzajú po pomlčke za mechanickými vlastnosťami.

Tabuľka 3.5 Označenie teploty skúšky rázom v ohybe

RT	izbová teplota	LT	nízka teplota
----	----------------	----	---------------

Označenie tvrdosti

Pri označovaní tvrdosti liatiny sa používajú nasledujúce skratky:

- a) HB – tvrdosť podľa Brinella,
- b) HV – tvrdosť podľa Vickersa,
- c) HR – tvrdosť podľa Rockwella.

Príklad: EN GJL-HB155 – liatina s lamelárnym grafitom, tvrdosť 155 HB.

Označenie podľa chemického zloženia

Pokiaľ sa liatina označuje podľa chemického zloženia, potom musí 5. pozícia začínať písmenom X. Za znakom X nasledujú chemické značky podstatných legujúcich prvkov v poradí s klesajúcim obsahom. Nasledujúce čísla udávajú obsah legujúcich prvkov v percentách. Čísla sú oddelené pomlčkami. Obsah uhlíka sa udáva stonásobkom za písmenom X, ale nemusí byť vôbec udaný.

Príklad: EN-GJL-XNiMn13-7 – liatina s lupienkovým grafitom s 13 %Ni a 7 %Mn,

EN-GJN-X300CrNiSi9-5-2 – liatina s obsahom C = 3 %, Cr = 9 %, Ni = 5 %, Si = 2 %, grafit nie je vylúčený.

- 6. pozícia uvádza dodatočné požiadavky na odliatok – tab.3.6

Tabuľka 3.6 Dodatočné požiadavky na odliatok

D	tepelné nespracovaný odliatok
H	tepelné spracovaný odliatok
W	vhodný pre zváranie
Z	ďalšie požiadavky uvedené v objednávke

3.3 Ocele

Nižšie uvedené konštrukčné ocele sú usporiadané v súlade s normou STN EN 10020. Jednotlivé skupiny ocelí môžu preto obsahovať nelegované aj legované ocele používané na rovnaké účely. Každá značka môže byť ďalej uvedená v rôznych akostných stupňoch, ktoré udávajú napr. predpísanú hodnotu rázovej práce KV, spôsob dezoxidácie a pod. Akostné stupne jednotlivých značiek majú svoje označenie. Napríklad oceľ pre oceľové konštrukcie S235 je normovaná v šiestich akostných stupňoch S235JR, S235JRG1, S235JRG2, S235J0, S235J2G3, S235J2G4 (prvé tri označenia patria do skupiny nelegovaných ocelí obvyklej akosti). Mechanické vlastnosti sú uvádzané pre rôzne hrúbky výrobkov (ďalej najčastejšie pre hrúbku 16 mm).

3.3.1 Nelegované ocele obvyklej akosti

Sú určené k výrobe plochých výrobkov. Jedná sa najmä o plechy a pásy z mäkkých ocelí pre tvárnenie za studena, prípadne o ocele na strojné súčasti s nízkymi nárokmi na mechanické vlastnosti bez zaručenej húževnatosti a zvárateľnosti.

3.3.2 Ocele akostné a ušľachtilé

V tejto kapitole sú akostné ocele a nelegované ocele ušľachtilé rozdelené podľa účelu použitia v zmysle STN EN 10020.

3.3.2.1 Ocele valcované za studena z hlbokotlačných ocelí k tvárneniu za studena STN EN 10130

Tvoria samostatnú skupinu ocelí na pásy a plechy. Vyrábajú sa tvárnením za studena alebo za tepla. Pre dobrú plastickú deformáciu sa u nich vyžaduje čo najnižšia medza klzu. Najakostnejšie ocele majú $R_e < 160$ MPa, pevnosť v ťahu 280 MPa a ťažnosť minimálne 45 %. Hlbokotlačné ocele majú obsah uhlíka pod 0,1 %, pretože uhlík zvyšuje medzu klzu (tab.3.7). Ich štruktúra je feritická s malým množstvom perlitu. Ocele sú vhodné na zváranie bežnými postupmi.

Ocele pre hlboký ťah s nízkym obsahom uhlíka sa nazývajú ULC (ultra low carbon) ocele. Sú dodávané vo valcovanom stave bez tepelného spracovania. Majú znížený obsah fosforu a síry ($< 0,15$ %) a kremíku ($< 0,10$ %).

Boli vyvinuté nové typy ocelí pre tvárnenie za studena s veľmi malým obsahom intersticiálnych prvkov (C, N) a vysokou medzou klzu označované ako IF (interstitials free steels) ocele. Typické zloženie IF ocele: 0,0015 % C, 0,0025 %N, 0,006 %P, 0,005 %S, 0,12 %Mn, 0,030 %Al, 0,05 %Ti. Zvýšenie pevnosti a medze klzu pri zachovaní tváriteľnosti umožnilo znížiť hmotnosť ocelej karosérie na úroveň rovnakej karosérie vyrobenej z hliníku.

Tabuľka 3.7 Mechanické vlastnosti a chemické zloženie vybraných značiek hlbokoťahných ocelí

Značka	R _e [MPa]	R _m [MPa]	A ₈₀ min. [%]	r ₉₀ min.	n ₉₀ min.	Chemické zloženie tavby max. [%]				
						C	P	S	Mn	Ti
FeP01	až 280	270-410	28	-	-	0,12	0,045	0,045	0,60	-
FeP03	až 240	270-370	34	1,3	-	0,10	0,035	0,035	0,45	-
FeP04	až 210	270-350	38	1,6	0,180	0,08	0,030	0,030	0,40	-
FeP05	až 180	270-330	40	1,9	0,200	0,06	0,025	0,025	0,35	-
FeP06	až 180	270-310	38	1,08	0,220	0,02	0,020	0,020	0,25	0,3

r₉₀ – súčiniteľ normálovej anizotropie v smere 90° na smer valcovania

n₉₀ – exponent deformačného spevnenia v smere 90° na smer valcovania

Pri oceliach vykazujúcich BH (bake hardening) efekt sa vytvrdzovací efekt prejavuje už pri teplotách 170°C. Ocele sa vyrábajú riadeným valcovaním, ktoré je vedené tak, aby uhlík a dusík zostali po valcovaní rozpustené v tuhom roztoku (vo ferite). Plech má za týchto podmienok veľmi dobrú tváriteľnosť za studena. Po lisovaní a následnom vypaľovaní laku karosérie dochádza pri teplote nad 170°C k precipitácii karbidov a nitridov Ti, prípadne Ti a Nb. Počas vytvrdzovania sa zvýši medza klzu o 40 až 70 MPa. BH ocele sú tiež odolné proti starnutiu.

3.3.2.2 Mikrolegované ocele

Vývoj mikrolegovaných ocelí súvisí s rozvojom tepelne mechanického spracovania ocelí. Touto technológiou sa podarilo výrazne zvýšiť pevnostné vlastnosti ocelí pri zachovaní dobrých plastických vlastností a zvariteľnosti.

V mriežke čistého železa sa môžu dislokácie ľahko pohybovať, a preto má ferit nízku medzu klzu. Pri mikrolegovaných oceliach pridané prvky vedú k vylúčeniu novej fázy – precipitátov. Tieto brzdia pohyb dislokácií a spôsobujú precipitačné vytvrdenie, vedúce k zvýšeniu pevnosti a poklesu charakteristík plasticity. Zmenšenie ťažnosti a húževnatosti sa dá kompenzovať zmenšením veľkosti zrna, čo má za následok ďalšie zvýšenie pevnosti. Jemnozrnná štruktúra sa dá dosiahnuť tepelne mechanickým spracovaním. Tvárnenie začína v oblasti nad teplotou A₃ a je dokončené pod teplotou rekryštalizácie austenitu. Rekryštalizácia je brzdená precipitátmi mikrolegujúcich prvkov, uhlíku a dusíku. Čím je precipitát jemnejší, tým je pôsobenie na teplotu rekryštalizácie vyššie.

K mikrolegovaniu sa používajú prvky s vysokou afinitou k uhlíku a dusíku. Jedná sa predovšetkým o Ti, V, Nb, Zr (do obsahu 0,2 %). Tieto prvky tvoria nitridy, karbidy, alebo

karbonitridy stabilné do vysokých teplôt (780 – 1250°C). Už malé množstvo titánu viaže dusík na TiN a spoľahlivo zabráni starnutiu ocele. Disperzne vylúčené zlúčeniny uhlíka a dusíka s vyššie uvedenými prvkami bránia tiež hrubnutiu austenitického zrna pri teplotách tvárnenia. Zmenšením feritického zrna z 10 na 5 µm sa u bežných ocelí mikrolegovaných niobom zvýši medza klzu o 70 MPa a prechodová teplota sa zvýši o 40°C. U feritických ocelí s priemerom zrna 0,77 µm sa dosahuje pevnosti 760 MPa.

Ďalej uvádzané skupiny akostných ušľachtilých ocelí môžu byť vyrábané ako mikrolegované aj keď mikrolegujúce prvky v príslušných tabuľkách chemického zloženia nie sú uvádzané.

3.3.2.2 Ocele pre oceľové konštrukcie

Nelegované akostné ocele (STN EN 10025 + A1) sú určené pre výrobu plochých a dlhých výrobkov. Norma uvádza tri typy ocelí tejto skupiny a predpisuje u nich minimálne hodnoty R_e , R_m , A a KV. Sú určené pre tvárnenie za studena, prípadne aj za tepla. Na zváranie sú tieto ocele vhodné iba ak sú dodané v akostnom stupni JR, J0, J2 a K2. Zvariteľnosť vzrastá od akostného stupňa JR k stupni K2 a s klesajúcou hodnotou uhlíkového ekvivalentu:

$$C_E = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15 \quad (3.1)$$

Uhlíkový ekvivalent C_E sa udáva v hmotnostných percentách. Miesto značiek prvkov v rovnici 3.1 sa dosadzujú ich koncentrácie v hmotnostných percentách.

Prvky uvedené v rovnici 3.1 zvyšujú prekaliteľnosť. Pri rýchlostiach ochladzovania bežných pri zváraní spôsobujú uvedené prvky od určitej koncentrácie vznik štruktúry nepopusteného martenzitu. Vznik martenzitickej štruktúry je pre zvarový spoj veľkým nebezpečím. Vybrané typy akostných nelegovaných ocelí sú uvedené v tab.3.8.

Zvariteľné jemnozrnné konštrukčné ocele (STN EN 10113-1 až 3) sú dodávané ako plechy, pásy alebo dlhé výrobky valcované za tepla. Sú určené pre vysoko namáhané zvárané konštrukcie, napr. mosty, vráta plavebných komôr, zásobníky, nádrže na vodu, výrobu profilov a pod. Výrobky sa dodávajú buď v stave normalizovanom (normalizačne valcovanom) alebo v stave termomechanicky valcovanom. Podľa pevnostných charakteristík sú normalizované štyri typy ocelí tejto skupiny (s $R_e = 275 - 460$ MPa) – tab.3.9. Vyšších pevnostných hodnôt sa dosahuje tepelným alebo termomechanickým spracovaním ($R_m = 360 - 720$ MPa). Ocele bývajú aj mikrolegované prvkami, ktoré tvoria stabilné nitridy (Nb, V, Al, Ti).

Tabuľka 3.8 Chemické zloženie [hm. %] a mechanické vlastnosti ocelí EN 10025

	Označenie	C	Mn	Si	S	P	Cu	ReH [MPa]	Rm [MPa]	A [%]
Neleg. akost EN 10025	S235JO	max.	max.	-	max.	max.	-	min.	360	-
		0,17	1,40		0,040	0,040		235	510	
	S275JO	max.	max.	-	max.	max.	-	min.	430	min.
		0,20	1,50		0,040	0,040		275	580	14
	S355JO	max.	max.	max.	max.	max.	-	min.	510	-
		0,20	1,60	0,55	0,040	0,040		355	630	

Tabuľka 3.9 Chemické zloženie [hm. %] a mechanické vlastnosti ocelí normalizačne žíhaných

Označ.	C	Si	Mn	P	S	V	Ni	Cu	ReH [MPa]	Rm [MPa]	A [%]
	max.	max.		max.	max.	max.	max.	max.			
S275N	0,18	0,40	0,50-1,40	0,035	0,030	0,05	0,30	0,35	min. 275	375-510	min. 24
S355N	0,20	0,50-1,65	0,90	0,035	0,030	0,12	0,50	0,35	min. 355	470-630	min. 22
S420N	0,20	0,60-1,70	1,00	0,035	0,030	0,20	0,80	0,70	min. 420	520-680	min. 19
S460N	0,20	0,60	1,00-1,70	0,035	0,030	0,20	0,80	0,70	min. 460	550-720	min. 17

Konštrukčné ocele odolné proti atmosférickej korózii (SN EN 10155) majú vo vhodných atmosférických podmienkach odolávať korózii bez povrchovej ochrany, a to na základe pridania určitého množstva mikrolegujúcich prvkov ako P, Cu, Cr, Ni, Mo, a iné (tab.3.10). Vplyvom týchto prvkov a poveternostných podmienok sa vytvára na povrchu základného materiálu ochranná vrstva oxidov. Ocele sú ukladnené, prípadne s prísadou prvkov, ktoré viažu dusík (Al, Nb, V, Ti). Ocele sa dodávajú ako ploché alebo dlhé výrobky, prípadné rúrky. Pre potreby zvarovania u týchto ocelí výrobca predpisuje C_E.

Tabuľka 3.10 Chemické zloženie [hm. %] ocelí EN 10155

Značka	Číslo mat.	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu
S235J2W	1.8958	0,13	0,40	0,20 - 0,60	max. 0,040	0,035	0,40 - 0,80	0,25 - 0,55
S355J2WP	1.8946	0,12	0,75	max. 1,00	0,06 - 0,15	0,035	0,33 - 1,25	0,25 - 0,55
S355J0W	1.8959	0,16	0,50	0,50 - 1,50	max. 0,040	0,040	0,40 - 0,80	0,25 - 0,55
S355J2G2W	1.8965	0,16	0,50	0,50 - 1,50	max. 0,035	0,035	0,40 - 0,80	0,25 - 0,55

3.3.2.4 Ocele pre tlakové nádoby STN EN 10028

Ocele sú určené pre výrobu plochých a dlhých výrobkov používaných pre konštrukciu tlakových nádob. Okrem skúšky na chemické zloženie a mechanické vlastnosti je predpísaná skúška vnútornej akosti. Delia sa na:

- zvariteľné nelegované a legované ocele pre vyššie teploty podľa STN EN 10028-2,
- normalizačne žíhané jemnozrnné konštrukčné ocele vhodné na zvarovanie podľa STN EN 10028-3,

c) ocele legované niklom so zaručenými vlastnosťami pri nízkych teplotách podľa STN EN 10028 - 4.

Zvariteľné nelegované a legované ocele pre vyššie teploty. Sú vyrábané ako nelegované akostné alebo legované ušľachtilé. V skupine nelegovaných ocelí sú štyri akosti s medzou klzu od 235 do 355 MPa, tab.3.11.

Tabuľka 3.11 Chemické zloženie [hm. %] vybraných ocelí na tlakové nádoby

Značka	C max.	Si	Mn	Cr	Mo max.	Nb max.	Ni max.	Ti max.	V max.
P235GH	0,10	0,16-0,35	0,40	max. 1,20	max. 0,30	0,08-0,010	0,30	0,03	0,02
P355GH	0,10	0,22-0,60	1,00	max. 1,70	max. 0,30	0,010-0,08	0,30	0,03	0,02
16Mo3	0,12	0,20-0,35	0,40	0,70-1,00	0,25-1,15	0,01-0,35	0,30	-	-
11CrMo9-10	0,08	0,15-0,50	0,40	0,08-2,00	0,90-2,50	max.1,10	-	-	-

Vyššia medza klzu sa dosahuje zvýšeným obsahom C, Si, Mn. Legované ocele obsahujú Cr a Mo. Celkom sú normalizované štyri akosti nelegovaných a štyri akosti legovaných ocelí. Nelegované značky sa používajú do 500°C, legované až do 600°C.

Zvariteľné jemnozrnné ocele, normalizačne žíhané. Sú dodávané, pokiaľ to nie je inak dohodnuté v stave normalizačne žíhanom. Norma rozdeľuje ocele do štyroch rad označených poslednými dvoma písmenami na konci značky:

- základná rada (P ... N),
- žiarupevná rada (P ... NH),
- rada so zaručenou rázovou húževnatosťou pri nízkych teplotách (P ... NL1),
- zvláštna rada so zaručenou rázovou húževnatosťou pri nízkych teplotách (P ... NL2).

Chemické zloženie pre základnú radu ocelí je uvedené v tab.3.12.

Tabuľka 3.12 Chemické zloženie [hm. %] pre ocele základného radu

Značka	Číslo mat.	C max.	Si max.	Mn	Cu	Mo	N	Ni	Ti	V	Nb + Ti + V max.
P275N	1.0486	0,18	0,40	0,50-1,40	0,30	0,08	0,02	0,50	0,03	0,05	0,05
P355N	1.0562	0,20	0,50	0,90-1,70	0,30	0,08	0,02	0,50	0,03	0,10	0,12
P460N	1.8905	0,20	0,60	1,00-1,70	0,70	0,10	0,02	0,80	0,03	0,20	0,22

Medza pevnosti sa u nich pohybuje v rozmedzí 390 – 720 MPa. V norme sú ďalej uvedené pre jednotlivé rady ocelí minimálne hodnoty spotrebovanej energie KV pri rôznej skúšobnej teplote (od – 50 až po + 20°C), pre skúšku na pozdĺžnych a priečných tyčiach, ako aj hodnoty medze klzu $R_{p0,2}$ pri zvýšených teplotách.

Ocele legované niklom so zaručenými vlastnosťami pri nízkych teplotách. Majú zaručenú hodnotu rázovej práce podľa obsahu niklu od – 60 do – 196°C. V tejto skupine je

normalizované celkom 7 značiek.

Podľa obsahu Ni ich môžeme rozdeliť do štyroch skupín:

- 0,30 – 0,85 %Ni 11MnNi5-3, 13MnNi6-3
- 1,30 – 1,70 %Ni 15NiMn6
- 3,25 – 5,25 %Ni 12Ni14, 12Ni19
- 8,50 – 10,0 %Ni X8Ni9, X7Ni9

Ocele pre zvárané plynové fľaše, STN EN 10120 sa dodávajú ako plechy a pásy valcované za tepla o hrúbke do 5 mm. Oceľ je dodávaná v stave valcovanom za tepla normalizovaná alebo bez normalizácie. Chemické zloženie a mechanické hodnoty ocelí pre zvárané plynové fľaše sú uvedené v tab.3.13. Pre všetky ocele je limitovaný obsah S max. 0,015 %, P max. 0,025 %, N max. 0,009 %, Nb max. 0,050 % a Ti max. 0,03 %.

Tabuľka 3.13 Chemické zloženie a mechanické hodnoty ocelí pre zvárané plynové fľaše

Značka	Číslo mat.	C max. [%]	Si max. [%]	Mn min. [%]	ReH min. [MPa]	Rm min. [MPa]	A min. [%]	Teplota Normalizácie [°C]
P245NB	1.0111	0,16	0,25	0,30	245	360 – 450	34	900 – 940
P265NB	1.0423	0,19	0,25	0,40	265	410 – 500	32	890 – 930
P310NB	1.0437	0,20	0,50	0,70	310	460 – 550	28	890 – 930
P355NB	1.0557	0,20	0,50	0,70	355	510 – 620	24	880 – 920

3.3.3 Ocele pre výstuž do betónu STN EN 10080

Sú dodávané ako ocele akostné podľa STN EN 10080. Normované sú dve ocele B500A a B500B, ktoré majú rovnaké chemické zloženie charakterizované 0,22 %C; 0,050 % P; 0,050 %S; 0,012 %N. Predpísaný uhlíkový ekvivalent vypočítaný podľa rovnice 5.1 činí max. 0,50 %. Pokiaľ sú splnené vyššie uvedené podmienky, majú ocele zaručenú zvariteľnosť. Ocele majú predpísanú medzu únavy 180 MPa. Obe ocele sa líšia hodnotou pomeru R_m/R_e . Pre akosť B500A je predpísaný pomer $R_m/R_e = 1,05$, pre oceľ B500B je to 1,08, pri $R_m = 500$ MPa.

3.3.4 Ocele pre koľajnice

Na výrobu koľajníc sa používajú perlitické ocele nelegované, legované mangánom alebo chrómom (vanádom). U ocelí sa požaduje dobrá odolnosť proti kontaktnej únave. Pre všetky akosti je predpísaná maximálna hodnota obsahu vodíka. U ocelí s pevnosťou do 770 MPa je maximálny povolený obsah vodíka v tavenine 3 ppm, u ocelí s vyššou pevnosťou 2,5 ppm. Uvedené obsahy vodíka je možné získať iba vákuovaním ocele.

Na životnosť koľajníc má veľký vplyv čistota oceli. Prítomnosť oxidických inklúzií zvyšuje ich náchylnosť ku kontaktnej únave. Vývoj koľajníc vedie k materiálom s nižším obsahom uhlíka s bainitickou štruktúrou, ktoré majú vyššiu pevnosť pri mierne zvýšenej hodnote ťažnosti. Ocele sú legované Mn, Nb a V a dosahujú pevnosť až 1400 MPa. Posledný vývoj vedie k materiálom s veľmi nízkym obsahom uhlíka.

3.3.5 Automatové ocele STN EN 10087

Zvýšený obsah S a P až 0,2% zlepšuje ich obrobitelnosť (lámavosť triesky). Používajú sa pre výrobu skrutiek a pod. sústružením na automatoch. Vzhľadom k vysokému obsahu S a P sa ich zváranie neodporúča. Automatové ocele sa rozdeľujú do 3 skupín. V prvej skupine sú ocele ktoré sa dodávajú v tepelne nespracovanom stave (napr. 11SMn30). V druhej skupine sú ocele určené pre cementovanie (10S20, 15SMN13) a v tretej skupine ocele k zošľachtovaniu. K viazaniu síry je v oceliach vyšší obsah Mn, ktorý je dôležitý najmä u značiek s nižším obsahom uhlíka. Uvedené akosti automatových ocelí môžu byť vyrábané s prísadou 0.20 až 0,35 olova.

3.3.6 Ocele k cementovaniu STN EN 10084

Vyznačujú sa relatívne nízkym obsahom uhlíka a sú určené k povrchovému nauhličovaniu alebo ku karbonitridácii s následným kalením. Po takom spracovaní sa tieto ocele vyznačujú tvrdou povrchovou vrstvou a húževnatým jadrom. Všetky ocele určené k cementovaniu musia byť dezoxidované. Sú dodávané v tepelne nespracovanom stave, to je v stave po valcovaní za tepla.

U ocelí je predpísaná veľkosť austenitického zrna od 5 do 8 (EN 10103) a čistota ocele. Celkom je normovaných 35 značiek ocelí. Podľa chemického zloženia ich môžeme rozdeliť do šiestich nasledujúcich skupín: ocele nelegované ušľachtilé, Cr ocele, Cr-Mn, Cr-Mo, Cr-Ni a Cr-Ni-Mo ocele.

Nelegované ušľachtilé ocele sa vyznačujú obsahom uhlíka 0,07 až 0,13 % alebo 0,12 až 0,18 %. Nevýhodou nelegovaných ocelí je malá prekaliteľnosť.

Legujúce prvky ovplyvňujú obsah uhlíku v cementovanej vrstve, jej hrúbku a tvrdosť. Austenitotvorné prvky zvyšujú podiel zvyškového austenitu po kalení. Nikel a mangán zvyšujú húževnatosť jadra. V tab.3.14 sú vybraní predstavitelia jednotlivých skupín ocelí k cementovaniu.

Nelegované ocele sa používajú pre málo namáhané súčiastky s menšou hrúbkou steny, pretože ich prekaliteľnosť je malá. Chrómové a chrómmolybdénové ocele majú vyššiu prekaliteľnosť. Cementované vrstvy chrómových ocelí majú dobrú odolnosť proti opotrebeniu, sú však krehké. Ocele legované niklom majú najväčšiu pevnosť jadra, sú preto vhodné na najviac namáhané súčasti, napr. ozubené kolesa s tenkými zubmi. Pre

dosiahnutie dobrej obrobitelnosti sa ocele žihajú na mätko (na feriticko-perlitickú štruktúru). Cementácia prebieha podľa EN 10084 pri teplotách 880 – 980°C.

Tabuľka 3.14 Vybrané ocele k cementovaniu z jednotlivých skupín

Značka	Číslo mat.	C [%]	Mn	Cr	Mo	Ni
17Cr3	1.7016	0,14 – 0,20	0,60 – 0,90	0,70 – 1,00		
28Cr4	1.7030	0,24 – 0,31	0,60 – 0,90	0,90 – 1,20		
16MnCr5	1.7131	0,14 – 0,19	1,00 – 1,30	0,80 – 1,10		
20MnCr5	1.7147	0,17 – 0,22	1,10 – 1,40	1,00 – 1,30		
18CrMo4	1.7243	0,15 – 0,21	0,60 – 0,90	0,90 – 1,20	0,15 – 0,25	
20MoCr3	1.7320	0,17 – 0,23	0,60 – 0,90	0,40 – 0,70	0,30 – 0,50	
16NiCr4	1.5714	0,13 – 0,19	0,70 – 1,00	0,60 – 1,70		0,80-1,10
10NiCr5-4	1.5805	0,07 – 0,12	0,60 – 0,90	0,90 – 1,20		1,20-1,50
15NiCr13	1.5752	0,14 – 0,20	0,40 – 0,70	0,60 – 0,90		3,00- 3,50
20NiCrMo2-2	1.6523	0,17 – 0,23	0,65 – 0,95	0,35 – 0,70	0,15 – 0,25	0,40- 0,70
17NiCrMo6-4	1.6566	0,14 – 0,20	0,60 – 0,90	0,80 – 1,10	0,15 – 0,25	1,20- 1,50
18CrNiMo7-6	1.6587	0,15 – 0,21	0,50 – 0,90	1,50 – 1,80	0,25 – 0,35	1,40- 1,70
14NiCrMo13-4	1.6657	0,11 – 0,17	0,30 – 0,60	0,80 – 1,10	0,10 – 0,25	3,00- 3,50

3.3.7 Ocele k nitridovaniu STN EN 10084

K nitridovaniu sú vhodné ocele ktoré majú kontrolovaný obsah dvoch alebo viac nitridotvorných prvkov Al, Cr, V. Niekedy sú legované aj molybdénom. Sú dodávané v tepelne nespracovanom stave po valcovaní za tepla, prípadne v stave vyžihanom na mätko, zošľachtenom, alebo podľa zvláštneho režimu spracovania. Chemické zloženie vybraných značiek a mechanické hodnoty ocelí priemeru 16 až 40 mm určených pre nitridáciu sú uvedené v tab.3.15.

Tabuľka 3.15 Chemické zloženie a mechanické hodnoty ocelí určených pre nitridáciu

Značka	Chemické zloženie [hm. %]				R _m min. [MPa]	R _e min. [MPa]	A min. [%]	KV min. [J]
	C	Cr	Mo	V				
34CrAlNi7	0,30 - 0,37	1,50 - 1,80	0,15 - 0,25	-	900	680	10	30
41CrAlMo7	0,38 - 0,45	1,50 - 1,80	0,20 - 0,35	-	950	750	11	25
39CrMoV13-9	0,36 - 0,43	3,00 - 3,50	0,70 - 1,00	0,20	950	750	11	25
34CrAlMo5	0,30 - 0,37	1,00 - 1,30	0,15 - 0,25	-	800	600	14	35
23CrMo13-6	0,20 - 0,27	3,00 - 3,50	0,50 - 0,70	-	1000	800	10	25
31CrMo12	0,20 - 0,35	2,80 - 3,30	0,30 - 0,50	-	1030	835	10	25
31CrAlMo7-1	0,28 - 0,35	1,50 - 1,80	0,20 - 0,40	-	1030	835	10	25
31CrMoV9	0,27 - 0,34	2,30 - 2,70	0,15 - 0,25	0,15	1100	900	9	25
32CrMoV12-9	0,29 - 0,36	2,80 - 3,30	0,70 - 1,00	0,20	1150	950	11	30

Všetky majú predpísaný rovnaký režim pre zošľachťovanie. Kalia sa z teploty 870 až 930°C do vody alebo do oleja, popúšťajú sa pri teplote 580 až 700°C a nitridujú pri teplote 480 až 570°C.

Obsah uhlíka v nitridačných oceliach je vyšší než v oceliach cementačných a umožňuje dosiahnutie vyššej tvrdosti jadra. Nitridované vrstvy sú tvrdšie než cementované a pri mäkkom jadre by mohla byť nitridovaná vrstva pretlačená. Hliník a vanád tvoria veľmi jemné nitridy (AlN a VN), ktoré zvyšujú tvrdosť nitridovanej vrstvy. Prísada molybdénu má znížiť náchylnosť ocele k popúšťacej krehkosti.

3.3.8 Pružinové ocele STN EN 10132

Pružinové ocele sú dodávané ako ocele ukludnené v stave vyžíhanom na mätko, valcovanom za studena, alebo zošľachtenom. Norma STN EN 10132 sa vzťahuje na dodávky pásov. U ocelí sa hodnotí veľkosť zrna a čistota podľa EN 10 132-1.

Podľa chemického zloženia je ich možné rozdeliť na tri skupiny:

- ušľachtilé nelegované ocele,
- ocele legované kremíkom,
- ocele legované chrómom, prípadne chrómom a vanádom, alebo niklom.

Ocele sú dodávané v akostiach pre cementáciu - EN 10132-2, pre zošľachťovanie - EN 10132-3 a pre zvláštne použitie - EN 10132-4. Ocele pre cementáciu sa dodávajú ako ušľachtilé nelegované (dve značky), ostatné sú určené pre cementáciu. Nízkolegované ocele odpovedajú Cr - Mn a Cr oceliam určených k cementácii (16MnCr5 a 17Cr3). Ocele pre zošľachťovanie predstavujú ušľachtilé nelegované ocele s odstupňovaným obsahom uhlíka od 0,17 do 0,65 %C.

Po zošľachtení tieto ocele dosahujú pevnosť R_m v rozmedzí 1050 až 2100 MPa pri tvrdosti 305 až 530 HV. Ocele sa kalia z teplôt 840 až 870°C. Ocele s vyšším obsahom uhlíka a legované ocele sa kalia do oleja, ostatné do vody.

U pružinových ocelí sa požaduje vysoká čistota a povrchová akosť. Povrch pružín sa často spevňuje guličkováním alebo tryskaním balotinou, čo vedie k vzniku tlakových pnutí v povrchovej vrstve a k zvýšeniu medze únavy.

3.3.9 Ocele k zošľachťovaniu STN EN 10083

Ocele sú určené predovšetkým k výrobe strojných súčastí, ktoré sa tepelne spracovávajú zošľachťovaním, prípadné sú používané v stave normalizovanom. Všetky ocele musia byť ukludnené a sú obrobiteľné v stave vyžíhanom na mätko. Chemické zloženie vybraných ocelí k zošľachťovaniu je uvedené v tab.3.16.

Tabuľka 3.16 Chemické zloženie vybraných ocelí k zošľachťovaniu

Značka	Číslo mat.	Chemické zloženie				
		C	Mn	Cr [hm. %]	Mo	Ni
C22E	1.1151	0,17 – 0,24	0,40 – 0,70	max. 0,40	max. 0,10	max. 0,40
C60E	1.1221	0,57 – 0,65	0,60 – 0,90	max. 0,40	max. 0,10	max. 0,40
38Cr2	1.7003	0,35 – 0,42	0,50 – 0,80	0,40 – 0,60	-	-
41Cr4	1.7035	0,38 – 0,45	0,60 – 0,90	0,90 – 1,20	-	-
50CrMo4	1.7228	0,46 – 0,54	0,50 – 0,80	0,90 – 1,20	0,15 – 0,30	-
36NiCrMo16	1.6773	0,32 – 0,39	0,30 – 0,60	1,60 – 2,00	0,25 – 0,45	3,60 – 4,10

Norma tiež uvádza mechanické vlastnosti a odporučený postup tepelného spracovania. Minimálna pevnosť po zošľachťovaní sa pohybuje od 500 MPa u ocele C22E až po 1250 MPa u ocele 36NiCrMo16.

3.3.10 Antikorózne a žiaruvzdorné ocele

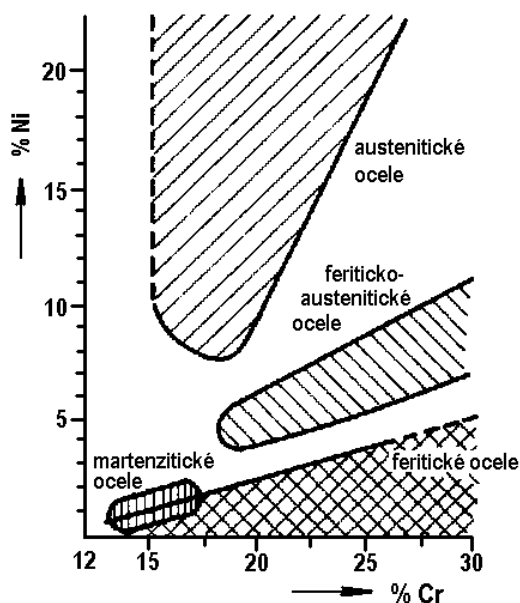
3.3.10.1 Antikorózne ocele STN EN 10088

Základným prvkom u vysokolegovaných antikorózných ocelí je chróm. Tieto ocele sú schopné pasivácie, ktorá dáva týmto oceliam odolnosť proti elektrochemickej korózii v oxidačných prostrediach. Podmienkou pasivácie je obsah chrómu v tuhom roztoku vyšší než 11,5 %. Obsah chrómu v tuhom roztoku závisí aj na obsahu uhlíka, ktorý tvorí s chrómom karbidy. Pre antikorózne ocele je preto charakteristický nízky obsah uhlíka (< 0,08 %C). Uhlík má vyššiu difúznú rýchlosť než chróm, a preto vznik karbidov môže byť spojený so vznikom heterogenity. Miesta ochudobnené o chróm majú nižšiu korozivzdornosť ako ostatná matrica. Precipitácia karbidu chrómu MC na hraniciach zŕn môže byť príčinou interkryštálovej korózie.

Interkryštalická korózia sa vyskytuje najmä po zvaraní v tepelne ovplyvnenej oblasti.

Ochrana proti interkryštálovej korózii spočíva buď v znížení obsahu uhlíka, alebo legovaním prvkami s vyššou afinitou k uhlíku ako chróm. Ide najčastejšie o Nb, Ta a Ti. Ocele, v ktorých je uhlík viazaný na karbidy prvku s vysokou afinitou k uhlíku, sa nazývajú **stabilizované ocele**.

Pri obsahu Cr okolo 12 % sa uzatvára v binárnom diagrame Fe – Cr oblasť γ . Zliatiny s vyšším obsahom Cr preto pri ochladzovaní neprekryštalizujú a ich štruktúra je feritická s vylúčenými karbidmi. Ocele s obsahom Cr



Obr.3.31 Oblasti základných typov korozivzdorných ocelí

nižším ako 12 % sú samokaliteľné a austenit sa transformuje za obvyklých výrobných podmienok na martenzit. Austenitotvorné prvky Ni, C, N a Mn rozširujú oblasť γ a znižujú teplotu martenzitickej premeny. Ocele vysoko legované Cr a Ni môžu mať austenitickú štruktúru. Nikel prispieva ku zvýšeniu korozivzdornosti.

Norma EN 10088 rozdeľuje korozivzdorné ocele podľa štruktúry na:

- feritické, pre ktoré je charakteristický nízky obsah uhlíka a dusíka,
- martenzitické a vytvrditeľné,
- austenitické CrNi ocele
- austeniticko – feritické, nazývané tiež duplexné ocele,

Štruktúra korozivzdorných ocelí závisí od obsahu prvkov, ktoré zužujú oblasť γ (Cr, Si, W), a prvkov, ktoré rozširujú oblasť γ (Ni, C, N). Na tab.3.17 sú vyznačené základné typy korozivzdorných ocelí v závislosti od obsahu chrómu a niklu.

a) Feritické ocele - obsahujú do 30 %Cr a do 0,08 %C. Feritické ocele s vyšším obsahom uhlíka sú pri izbovej teplote krehké a používajú sa ako ocele žiaruvzdorné. V norme je uvedených 20 feritických antikoročných ocelí. Chemické zloženie vybraných antikoročných ocelí je uvedené v tab.3.17. U všetkých značiek je obsah fosforu obmedzený na 0,040 % a síry na 0,015 %.

b) Feritické ocele s nízkym obsahom chrómu (prvé tri značky) majú štruktúru ferit plus austenit. Austenit pri chladnutí transformuje na martenzit a výsledná štruktúra môže byť feriticko-martenzitická. Vylúčený martenzit zvyšuje pevnosť a tvrdosť ocelí. Ak obsah C < 0,1 % je nutné pre dosiahnutie feritickej štruktúry legovať oceľ nad 17 %Cr. Feritické ocele pri ohreve nemenia štruktúru na austenitickú a preto nie sú kaliteľné.

Tabuľka 3.17 Chemické zloženie vybraných antikoročných feritických ocelí v [hm. %]

Značka	Číslo mat.	C max.	Si max.	Mn max.	N	Cr	Mo	Ni	Ti
X2CrNi12	1.4003	0,030	1,00	1,50	0,030	10,50-12,50		0,3-1,0	
X2CrTi2	1.4512	0,030	1,00	1,00		10,50-12,50		až 0,65	x(C+N)
X6Cr13	1.4000	0,080	1,00	1,00		12,00-14,00			
X2CrTi17	1.4520	0,025	0,50	0,50	0,015	16,00-18,00			
X2CrMoTi17-1	1.4513	0,025	1,00	1,00	0,015	16,00-18,00	1,0-1,5		0,3-0,6
X2CrMoTi18-2	1.4521	0,025	1,00	1,00	0,030	17,00-20,00	1,8-2,5		*
X2CrMoTi29-4	1.4592	0,025	1,00	1,00	0,045	28,00-30,00	3,5-4,5		*

* $Ti = 4 \times (C + N) + 0,15$ až 0,80

b) Martenzitické a vytvrditeľné chrómové a chrómniklové ocele.

Najčastejšie vyrábané ocele obsahujú do 13 %Cr a do 0,25 %C. Používajú sa pre stavbu vodných strojov, v potravinárskom priemysle a v zdravotnej technike. Sú zvariteľné.

Norma uvádza celkom 20 značiek martenzitických a vytvrditeľných ocelí. Vybrané značky sú uvedené v tab. 3.18.

Tabuľka 3.18 Chemické zloženie vybraných martenzitických a vytvrditeľných ocelí v [hm. %]

Značka	Číslo mat.	C	Si max.	Mn max.	Cr	Cu	Mo	Ni
X12Cr13	1.4006	0,08-0,15	1,00	1,50	11,50-13,50			≤ 0,75
X20Cr13	1.4021	0,16-0,25	1,00	1,50	12,00-14,00			
X70CrMo15	1.4109	0,65-0,75	0,70	1,00	14,00-16,00		0,40-0,80	
X39CrMo17-1	1.4122	0,33-0,45	1,00	1,50	15,50-17,50		0,80-1,30	≤ 1,00
X90CrMoV18	1.4112	0,85-0,95	1,00	1,00	17,00-19,00		0,90-1,30	**
X3CrNiMo13-4	1.4314	≤ 0,05	0,70	1,00	12,00-14,00		0,30-0,70	3,50-4,50
X3CrNiMo16-5-1	1.4418	≤ 0,06	0,70	1,50	15,00-17,00		0,80-1,50	4,00-6,00
X5CrNiCuNb16-4	1.4542	≤ 0,07	0,70	1,50	15,00-17,00	3-5	≤ 0,60	3,00-5,00
X7CrNiAl17-7	1.4568	≤ 0,09	0,70	1,00	16,00-18,00	*		6,50-7,80
X8CrNiMoAl15-7-2	1.4532	≤ 0,10	0,70	1,20	14,00-16,00	*	2,00-3,00	6,50-7,80

*Al = 0,70 až 1,50

**V = 0,07 až 0,12

Aby mohli martenzitické ocele obsahovať viac než 11,5 %Cr kvôli korozivzdornosti, musia obsahovať prvky rozširujúce oblasť γ . Maximálny prípustný obsah feritu v týchto oceliach je 20 %. Znížený obsah uhlíku je preto nutné kompenzovať prísadou niklu. Nad 5 % Cr sú ocele samokaliteľné. Ocele sú korózne odolné aj v zakalenom stave. Popúšťaním na 450 až 550°C sa vylučujú z martenzitu karbidy a korózna odolnosť sa znižuje.

c) Martenzitické ocele bez niklu. Od základnej varianty X12Cr13 bez niklu sú odvodené varianty s rastúcim obsahom uhlíka až po obsahy 0,95 - 1,20 %. Značky s vyšším obsahom uhlíka majú aj zvýšený obsah chrómu až do 17 - 19 %. Ocele majú medzu klzu závislú od obsahu uhlíka. Značky s obsahom uhlíka do 0,25 % popustené na teploty nad 600°C majú medzu klzu okolo 400 MPa, Ocele sú zvariteľné len pre malé prierezy a nižšie obsahy uhlíka. Pri zváraní väčších hrúbok stien je nutný predohrev. Ocele s vyšším obsahom uhlíka majú po zakalení a popustení na 200 - 300°C pevnosť až 1600 MPa a tvrdosť až 58 HRC. Značky s vyšším obsahom uhlíka sa používajú aj ako nástrojové ocele a ocele na valivá ložiska.

d) Martenzitické ocele s niklom. Tieto ocele majú nízke obsahy uhlíka a štruktúru tvorenú nízkouhlíkovým martenzitom a disperzne vylúčeným sekundárnym austenitom, ktorý vzniká pri popúšťaní nízkouhlíkového martenzitu. Austenit zlepšuje plastické vlastnosti, medzu únavy aj zvariteľnosť bez zníženia pevnostných vlastností. Nikel sa pridáva do oceli, aby sa pri nízkom obsahu uhlíka rozšírila oblasť γ a v štruktúre sa nevyskytoval ferit δ . Uvedená štruktúra zaručuje pri medziach klzu nad 600 MPa vysokú húževnatosť ocelí až do nízkych teplôt. Ocele s obsahom 6 % niklu majú ešte pri teplote mínus 190°C rázovú húževnatosť KCV cca 40 J.cm⁻². Ocele sú vzhľadom na nízky obsah uhlíka dobre zvariteľné a majú vysokú prekaliteľnosť aj pri ochladzovaní na vzduchu. Od základnej značky chrómniklovej ocele X3CrNiMo13-4 sú odvodené varianty s vyšším obsahom Ni (6,5 až 7,8 %), prípadne aj chrómu. Ocele sú vhodné na stavbu vodných strojov. Ocele legované do 3 %Mo sa používajú

pre zariadenia pracujúce v morskej vode. Tepelné spracovanie martenzitických ocelí pozostáva z kalenia na vzduchu a popúšťania.

e) Vytvrditeľné ocele. Sú navyše legované meďou alebo hliníkom (X5CrNiCuNb16-4, X7CrNiAl17-7, X5CrNiMoAl15-7-2). Po zakalení majú martenzitickú štruktúru. Pri vytvrdzovaní pri 400 až 500°C sa dosahuje precipitácia fáz Ni_3Nb a $\epsilon\text{-Cu}$. Tieto ocele dosahujú pevnosti 1300 až 1500 MPa a používajú sa na panciere v leteckom a kozmickom priemysle. Sú vhodné aj na nástroje používané pri lisovaní plastov a gumy. Ich dobrá korozivzdornosť a vynikajúce mechanické vlastnosti vedú k rozširovaniu týchto ocelí aj v iných oboroch strojárstva.

f) Austenitické Cr-Ni ocele a austenitické vytvrditeľné ocele. Obsahujú najčastejšie 18 - 20 %Cr a 8 - 11 %Ni. Chróm je nutnou prísadou pre zaistenie pasivácie ocelí a ich odolnosti proti oxidácii. Nikel stabilizuje austenit pri normálnej teplote a zvyšuje koróznú odolnosť v redukčných kyselinách. Pri vyššom obsahu C je nutné austenitické Cr-Ni ocele podrobiť rozpúšťaciemu žihaniu pri teplote cca 1050°C a z tejto teploty rýchle ochladiť (najčastejšie vo vode). Rýchlym ochladením sa potlačí precipitácia karbidu a získa sa austenitická štruktúra aj u ocelí s obsahom uhlíka 0,10 %. Ocele s vyšším obsahom C nie sú vhodné pre zváranie, pretože v tepelne ovplyvnenej oblasti dochádza k vylučovaniu karbidu chrómu na hraniciach zŕn, ktoré spôsobuje interkryštalovú koróziu. Pre zaistenie zvariteľnosti sa austenitické ocele stabilizujú Nb, (Ta), alebo Ti. Austenitické ocele sú húževnaté s ťažnosťou až do 40 %. Majú ale nízku medzu klzu okolo 200 MPa pri pevnosti 550 až 650 MPa. Vyznačujú sa veľmi dobrou koróznou odolnosťou v oxidačnom prostredí, napr. v kyseline dusičnej, v H_2SO_4 , HCl a organických kyselinách iba pri ich nízkych koncentráciách. Austenitické ocele sú horšie obrobiteľné. Chemické zloženie vybraných austenitických ocelí je uvedené v tab.3.19.

Tabuľka 3.19 Chemické zloženie vybraných austenitických a vytvrditeľných ocelí v [hm. %]

Značka	Číslo mat.	C	N	Cr	Cu max.	Mo max.	Ni
X10CrNi18-8	1.4310	≤ 0,15	≤ 0,11	16,00-19,00		0,080	6,0-9,5
X2CrNi18-7	1.4318	≤ 0,030	0,10-0,20	16,50-18,50			6,00-8,0
X2CrNi19-11	1.4306	≤ 0,030	≤ 0,11	18,00-20,00			10,0-12,0
X2CrNi18-10	1.4311	≤ 0,030	0,12-0,22	17,00-19,50			8,5-11,5
X6CrNi18-10	1.4350	≤ 0,080	≤ 0,15	17,00-19,00			9,0-12,0
X6CrNi18-12	1.4303	≤ 0,060	≤ 0,15	17,00-19,00			11,0-13,0
X1CrNi25-21	1.4335	≤ 0,020	≤ 0,11	24,00-26,00		0,20	20,0-22,0
X2CrNiMo17-12-2	1.4404	≤ 0,030	≤ 0,11	16,50-18,50		2,50	10,0-13,0
X2CrNiMo18-14-3	1.4435	≤ 0,030	≤ 0,11	17,00-19,00		3,50	12,0-15,0
X2CrMnNi17-7-5	1.4371	≤ 0,030	0,15-0,20	16,00-17,00			3,5-5,50
X3CrNiCu18-9-4	1.4567	≤ 0,040	≤ 0,11	17,00-19,00	4,0		8,5-10,5
X1CrNiMoCuN25-25-5	1.4537	≤ 0,020	0,17-0,25	24,00-26,00	2,0	5,70	24,0-26,0
X2CrNi23-4	1.4362	≤ 0,030	0,05-0,20	22,00-24,00	0,6	0,60	3,5-5,5
X2CrNiMoCuN25-6-3	1.4507	≤ 0,030	0,15-0,30	24,00-26,00	2,5	4,00	5,55-7,5

Oceľ uvedená v tabuľke v prvom riadku predstavuje základný typ austenitickej Cr-Ni ocele. Austenitické ocele sa používajú v stave po rozpúšťacom žíhaní pri teplotách 950 až 1100°C a následným rýchlym ochladením do vody. Po tepelnom spracovaní sú mäkké a húževnaté. Pri tvárnení za studena sa rýchle spevňujú. Medza klzu u austenitických korozivzdorných ocelí je iba 175 až 250 MPa pri ťažnosti 40 až 50 %.

g) Austeniticko-feritické (duplexné ocele). Ako duplexné ocele sa označujú austeniticko-feritické ocele s obsahom 40 až 60 % feritu. Obsahujú 21 až 28 %Cr a 3,5 až 8,0 %Ni. Majú vyššiu medzu klzu ako austenitické ocele. Tepelné spracovanie duplexných ocelí je podobné ako u austenitických. Po rozpúšťacom žíhaní a rýchlom ochladení sa dosahuje medza klzu 420 až 530 MPa pri ťažnosti cca 20 %. Ocele sú dobre zvariteľné a majú vyhovujúcu odolnosť proti interkryštálovej korózii. Tieto ocele sa vyznačujú dobrou húževnatosťou a sú lepšie obrobiteľné ako austenitické ocele. Korózna odolnosť ocelí sa znižuje v prostrediach obsahujúce anióny Cl, J a Br.

3.3.10.2 Žiaruvzdorné ocele STN EN 10095

Žiaruvzdorné ocele majú vysokú odolnosť proti oxidácii a korózii a dlhodobé stále vlastnosti v horúcich plynch. Odolnosť proti oxidácii za vysokých teplôt získavajú ocele legovaním Cr, Si, Al a Ni. Pri obsahu chrómu nad 13 % sa na povrchu ocelí tvorí oxid Cr_2O_3 obsahujúci malé množstvo Fe a Ni. Nikel zlepšuje príľnavosť vrstvy oxidu chrómu, ktorá chráni povrch kovu pred ďalšou oxidáciou. Podobne ako chróm vytvárajú kremík a hliník oxidické vrstvy príľnavé k povrchu kovu v oxidačnom prostredí za vysokých teplôt. Ich zloženie je podobné ako u antikoročných ocelí, a ako bolo uvedené, niektoré antikoročné ocele sa používajú ako žiarupevné. Podľa štruktúry sa delia na feritické, austenitické a feriticko-austenitické ocele. Obsah uhlíka je pod 0,12 % a môžu byť aj zvariteľné. Ocele dosahujú tvrdosť cca 200 – 310 HBS. Chemické zloženie a mechanické hodnoty vybraných značiek žiaruvzdorných ocelí sú uvedené v tab.3.20.

Feritické ocele sa líšia predovšetkým obsahom chrómu. Celkom je normovaných 6 značiek feritických žiaruvzdorných ocelí. Austeniticko-feritické ocele sa líšia najmä obsahom chrómu a niklu. Značky s vysokým obsahom niklu sa nehodia do prostredia s obsahom plynných zlúčenín síry. Ocele majú až na výnimky obmedzený obsah dusíku do 0,11 %. Celkom norma uvádza 13 značiek austenitických ocelí a jednu značku austeniticko-feritickej ocele. Ako žiaruvzdorné ocele sa používajú aj niektoré antikoročné ocele uvedené v STN EN 10088-1. Norma ďalej uvádza 4 značky austenitických žiaruvzdorných zliatin na báze niklu s obsahom 14 až 25 % chrómu.

Tabuľka 3.20 Chemické zloženie vybraných žiaruvzdorných ocelí

Značka	Číslo mat.	Chemické zloženie [hm. %]				R _{p02} min. [MPa]	R _m min. [MPa]	A [%]
		C max.	Si	Cr	Ni			
Feritické žiaruvzdorné ocele								
X10CrAlSi7	1.4713	0,12	0,50-1,00	6,0-8,0		220	420	20
X18CrN28	1.4749	0,20	max.1,00	26,0-29,0		280	500	15
Austenitické žiaruvzdorné ocele								
X10CrNiTi18-10	1.4878	0,10	max.1,00	17,0-19,0	9-12	190	500	40
X15CrNiSi25-21	1.4841	0,20	1,50-2,50	24,0-26,0	19-22	230	550	30
X10NiCrAlTi32-21	1.4876	0,12	max.1,00	19,0-23,0	30-34	200	450	30
X25CrMnNiN25-9-7	1.4872	0,30	Mn 8-10	24,0-26,0	6-8	500	850	25
Austeniticko-feritické žiaruvzdorné ocele								
X15CrNiSi25-4	1.4821	0,20	0,50-1,00	24,5-26,5	3,5-5,5	400	600	16

3.3.11 Nástrojové ocele

Nástrojové ocele sa vyrábajú v elektrických oblúkových alebo indukčných peciach s menšou hmotnosťou tavby z triedených surovín. Do úvahy prichádzajú aj iné, špeciálne technologické postupy, ako napr. výroba vo vákuových peciach, elektrotroskové pretavovanie ocelí, technológie práškovej metalurgie, a pod. Týmto výrobnými postupmi sa dosahuje vysoká čistota ocelí (obsahujú veľmi málo vtrúsenín) a rovnorodosť (homogenita) štruktúry. Použitým špeciálnym metalurgickým postupom a zvýšenému obsahu legúr potom zodpovedá aj cena týchto materiálov, ktorá podstatne prevyšuje cenu konštrukčných ocelí.

3.3.11.1. Rozdelenie nástrojových ocelí

Rozdelenie nástrojových ocelí podľa pracovnej teploty

Od pracovnej teploty ocele závisí aj množstvo legujúcich prvkov nasledovne:

- do 200 °C - nelegované (sumárny obsah legujúcich prvkov do 5 %);
- 250 až 300 °C - nízkoalegované (sumárny obsah legujúcich prvkov 5 až 10 %);
- 400 až 600 °C - vysokoalegované (sumárny obsah legujúcich prvkov nad 10 %);
- nad 600 °C - rýchlorezné.

Rozdelenie nástrojových ocelí podľa chemického zloženia podľa STN EN 10027-1

Nástrojové ocele obsahujú okrem uhlíka nasledujúce prvky:

- prospešné sprievodné prvky (z výroby): Mn, Si, Al
- legujúce prvky: Cr, W, Mo, V, Co, Ni
- nečistoty: P, S, Cu, O, N, H

Štruktúrne zložky nástrojových ocelí

- martenzit - žiaduca štruktúra - tvrdý, pevný, krehký
- zvyškový austenit - nežiaduca štruktúra (je mäkký), jeho množstvo závisí od obsahu uhlíka a legujúcich prvkov rozpustených v austenite po výdrži na kaliacej teplote.
- karbidy - žiaduca štruktúra, karbidy vyskytujúce sa v matrici nástrojových ocelí sú tvrdšie než základná matrica, takže zvyšujú odolnosť proti opotrebeniu. Ich vplyv je tým väčší, čím vyššia je ich tvrdosť a plocha povrchu.

3.3.11.2. Nástrojové ocele nelegované (uhlíkové)

Jednotlivé akosti sa líšia obsahom uhlíka, ktorý sa pohybuje od 0,4 do 1,5 %, tab.3.21. Majú nízky obsah Mn, pretože Mn zvyšuje podiel zvyškového austenitu a tým znižuje ich tvrdosť. Kalením sa dosiahne vysoká tvrdosť v povrchových vrstvách (2-3 mm), v jadre je nástroj nezakalený. Povrchová vrstva má teda martenzitickú štruktúru, jadro má jemnú perlitickú štruktúru. Húževnaté jadro je výhodné z hľadiska odolnosti nástroja voči rázom. Nelegované nástrojové ocele strácajú pri teplote 150°C tvrdosť, preto za nemôžu použiť na nástroje pre prácu za tepla.

Použitie: ručné náradie a nástroje na opracovanie dreva, závitníky, vrtáky, pílkys na kov, frézy a pod.

Tabuľka 3.21 Chemické zloženie a údaje o tepelnom spracovaní nelegovaných nástrojových ocelí

mat.	Čís. Ozn.	C [%]	Si [%]	Mn [%]	HB*	Kal. Teplota [°C]	Kal. médium	HRC**
C35U		0,30-0,40	Max. 0,3	0,30-0,60	170	810-840	Voda	50
C45W	1.1730	0,40-0,50	0,15-0,40	0,60-0,80	190			
C60W	1.1740	0,55-0,65	0,15-0,40	0,60-0,80	231	800-830	Olej	52
C70W	1.1620	0,65-0,74	0,10-0,30	0,10-0,35	183	790-820	Voda	57
C80W	1.1525	0,75-0,85	0,10-0,25	0,10-0,25	192	780-810	Voda	59
C85W	1.1830	0,80-0,90	0,25-0,40	0,50-0,70	222	800-830	Olej	57
C105U	1.1545	1,00-1,10	0,10-0,25	0,10-0,25	213	770-800	Voda	60
C125U	1.1563	1,20-1,35	max. 0,25	0,15-0,35	210	740-780	Voda	64

* po žíhaní na mätko, ** po kalení a popúšťaní

3.3.11.2. Nástrojové ocele legované pre prácu za studena

Legované ocele sa používajú na podobné účely ako nelegované. Majú vyššiu prekaliteľnosť, vyššiu tvrdosť (60 až 64 HRC) a nižší pokles tvrdosti s teplotou. Hlavné legujúce prvky sú Cr, W, Mo a V s celkovým obsahom 3 – 5%, tab. 3.22. Uvedené legúry zvyšujú stabilitu

karbidickej fázy, obmedzujú pokles tvrdosti pri popúšťaní a zvyšujú tvrdosť a odolnosť nástrojov proti opotrebeniu.

Legované nástrojové ocele sa kalia do oleja. Kaliace teploty sú vyššie ako u nelegovaných ocelí. Výsledná tvrdosť závisí na teplote popúšťania, ktorá je zvyčajne 180°C.

Použitie: nástroje na strihanie, valcovanie za studena, výroba píl na železo a drevo, kovadlá, razidlá, nože, meradlá, formy na lisovanie plastov, kladivá, dierovacie nástroje, pneumatiké sekáče a dláta, frézy, výstružníky, nože na papier a pod.

Tabuľka 3.22 Chemické zloženie a údaje o tepelnom spracovaní legovaných nástrojových ocelí pre prácu za studena

mat.	Čís. Ozn.	C [%]	Cr [%]	Mo [%]	Ni [%]	V [%]	W [%]	HB*	Kal. Tepl [°C]	Pop. Tepl. [°C]	Kal. médiu	HRC**
X210CrW12	1.2436	2,0- 2,25	11- 12				0,60- 0,80	255	960	180	O	60
X155CrVMo12 1	1.2379	1,90- 2,20	11- 12	0,60- 0,80		0,90- 1,10		255	1030	180		59
145V3 3	1.2838	1,40- 1,50				3,00- 3,50		229	850	180	V	60
90MnCrV8	1.2842	0,85- 0,95	0,2- 0,5			0,05- 0,15		229	800	180	O	58
105WCr6	1.2419	1,00- 1,10	0,9- 1,1				1,00- 1,30	229	820	180	O	59
60WCrV7	1.2550	0,55- 0,65	0,9- 1,2			0,10- 0,20	1,80- 2,10	229	890	180	O	57
X45NiCrMo4	1.2767	0,40- 0,50	1,2- 1,5	0,15- 0,35	3,8- 4,3			262	850	180	O	52
40CrMnMoS	1.2312	0,35- 0,45	1,8- 2,0	0,15- 0,25				Dodáva sa v zošľachtenom stave s tvrdosťou cca 300HB				

* po žíhaní, ** po kalení a popúšťaní, O – olej, V - voda

3.3.11.3. Nástrojové ocele legované pre prácu za tepla

U nástrojov na prácu za tepla sa požaduje vysoká odolnosť proti deformácii, oteruvzdornosť, odolnosť proti erózii pri pracovnej teplote a odolnosť proti tepelnej únave, tab.3.23.

Použitie: zápustky, trne na dierovanie ocele pri výrobe bezšvových rúr, vstrekovacie formy, formy na liatie pod tlakom, pretlačovacie nástroje a pod.

Tabuľka 3.23 Chemické zloženie a údaje o tepelnom spracovaní legovaných nástrojových ocelí pre prácu za tepla

mat.	Čís. Ozn.	C [%]	Si [%]	Mn [%]	Cr [%]	Mo [%]	V [%]	HB	Kal. Tepl. [°C]	Pop. Tepl. [°C]	Kal. médiu	HRC
55NiCrMoV6	1.2713	0,50- 0,60	0,1- 0,4	0,65- 0,95	0,6- 0,8	0,25- 0,35	0,07- 0,12	248	850	500	O	40
56NiCrMoV7	1.2714	0,50- 0,60	0,1- 0,4	0,65- 0,95	1,0- 1,2	0,45- 0,55	0,07- 0,12	248	850	500	O	44
X38CrMoV55	1.2343	0,36- 0,42	0,9- 1,2	0,30- 0,50	4,8- 5,5	1,10- 1,40	0,25- 0,50	229	1020	550	O(VZD)	50
X40CrMoV51	1.2344	0,37- 0,43	0,9- 1,2	0,30- 0,50	4,8- 5,5	1,20- 1,50	0,90- 1,10	229	1030	550	O(VZD)	51
X32CrMoV33	1.2365	0,28- 0,35	0,1- 0,4	0,15- 0,45	2,7- 3,2	2,60- 3,00	0,40- 0,70	229	1040	550	O(VZD)	41

3.3.11.4. Rýchlorezné ocele

Vyznačujú sa odolnosťou proti poklesu tvrdosti až do teplôt 550°C. Sú to ledeburitické ocele vysoko legované s obsahom uhlíka > 0,7%. Základný legujúci prvok u rýchlorezných ocelí je W, ktorý je možné čiastočne nahradiť polovičným množstvom Mo. Rýchlorezné ocele pre najvyššie výkony sa legujú Co do obsahu 12%, tab. 3.24

Kaliaca teplota je vysoká – 1200 až 1280°C. Ohrev na kaliacu teplotu je stupňovitý, s viacnásobným zastavením ohrevu na vyrovnanie teploty v celom priereze, pretože kvôli vysokému obsahu uhlíka a legúr majú nástrojové ocele zlu tepelnú vodivosť. Popúšťa sa na sekundárnu tvrdosť pri teplote okolo 560°C. Pri teplotách nad 150°C dochádza k miernemu poklesu tvrdosti čiastočným vylučovaním karbidov z martenzitu. Tým klesá tvrdosť martenzitu. Pri teplotách 450 až 550°C poklesne obsah uhlíka vo zvyškovom austenite v dôsledku precipitácie karbidov tak, že sa zvýši Ms, austenit sa transformuje na martenzit a tvrdosť vzrastie. Tento jav sa nazýva popúšťanie na sekundárnu tvrdosť. Pri transformácii sa premení len časť austenitu a popúšťanie sa opakuje. Pre dosiahnutie tvrdosti 60 až 66 HRC sa popúšťanie opakuje 3x.

Tabuľka 3.23 Chemické zloženie a údaje o tepelnom spracovaní rýchlerezných nástrojových ocelí

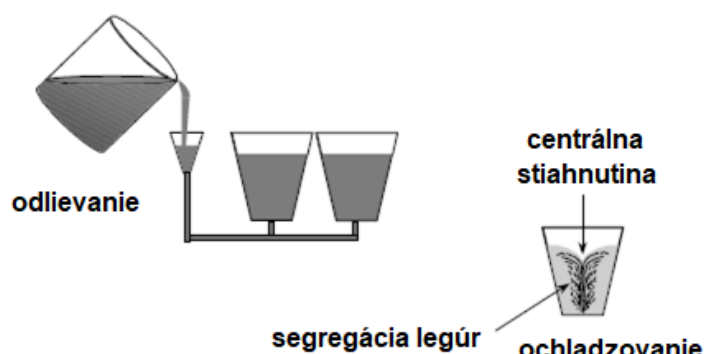
mat.	Čís. Ozn.	C [%]	Co [%]	Cr [%]	Mo [%]	V [%]	W [%]	HB	Kal. Tepl. [°C]	Pop. Tepl. [°C]	Kal. médium	HRC
HS 6-5-2	1.3342	0,86- 0,94		3,8- 4,5	4,7- 5,2	1,7- 2,0	6,0- 6,7	240- 300	1210	560	O (VZD)	64
HS 6-5-2C	1.3342	0,95- 1,05		3,8- 4,5	4,7- 5,2	1,7- 2,0	6,0- 6,7	240- 300	1200	560	O (VZD)	65
HS 6-5-3	1.3344	1,17- 1,27		3,8- 4,5	4,7- 5,2	2,7- 3,2	6,0- 6,7	240- 300	1220	560	O (VZD)	65
HS 6-5-2-5	1.3343	0,88- 0,96	4,5- 5,0	3,8- 4,5	4,7- 5,2	1,7- 2,0	6,0- 6,7	240- 300	1220	560	O	64
HS 7-4-2-5	1.3246	1,05- 1,15	4,8- 5,2	3,8- 4,5	3,6- 4,0	1,7- 1,9	6,6- 7,1	240- 300	1200	540	O	66
HS 10-4-3-10	1.3207	1,20- 1,35	9,5- 10,5	3,8- 4,5	3,2- 3,9	3,0- 3,5	9,0- 10,0	240- 300	1230	560	O (VZD)	66
HS 12-1-4-5	1.3202	1,3- 1,45	4,5- 5,0	3,8- 4,5	0,7- 1,0	3,5- 4,0	11,5- 12,5	240- 300	1230	560	O	65
HS 18-1-2-5	1.3255	0,75- 0,83	4,5- 5,0	3,8- 4,5	0,5- 0,8	1,4- 1,7	17,5- 18,5	240- 300	1280	560	O	64
HS 3-2-2		0,95- 1,05		3,8- 4,6	2,20- 3,20	2,0- 2,7	2,4- 3,4	240- 300	1220	560	O	64

Rozdelenie nástrojových ocelí podľa spôsobu výroby:

- nástrojové ocele vyrobené odlievaním
- prášková metalurgia a následné tvárnenie

3.3.11.5 Výroba nástrojových ocelí odlievaním

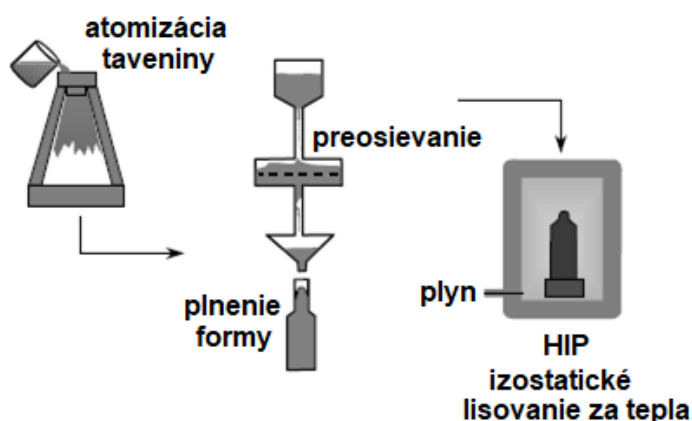
Proces výroby nástrojových ocelí odlievaním pozostáva z tavenia vstupných surovín, pridania potrebných prvkov a následného liatia do ingotov, obr.3.32. Nasleduje pomalé ochladzovanie ingotu. Najväčším problémom pri výrobe nástrojových ocelí odlievaním je segregácia jednotlivých prvkov počas chladnutia ingotu, spôsobená ich rozdielnymi teplotami tuhnutia. Legujúce prvky majú tendenciu koncentrovať sa v strede ingotu. Táto segregácia je tým výraznejšia, čím je vyšší obsah legúr. Okrem toho, že ingot je chemicky nerovnorodý, segregácia môže viesť k praskaniu materiálu. Z toho dôvodu sa týmto konvenčným spôsobom nedajú vyrábať vysokolegované nástrojové ocele.



Obr.3.32 Konvenčný metalurgický spôsob výroby nástrojových ocelí odlievaním

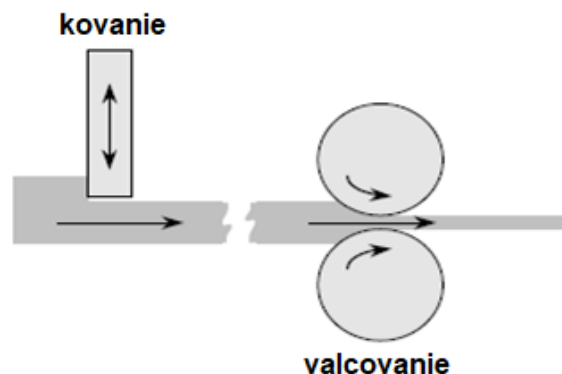
3.3.11.6 Výroba nástrojových ocelí práškovou metalurgiou

Je to technológia, ktorá eliminuje proces segregácie tým, že tavenina pripravená tavením vstupných surovín a pridaním legujúcich prvkov sa rozprašuje (atomizuje) v inertnom plyne na malé častice, čím vzniká jemný prášok. Rýchle ochladenie taveniny pri atomizácii bráni procesu segregácie, a tak každá častica prášku má predpísané chemické zloženie. Prášok sa následne preosieva, kompaktuje a predvylisok pokračuje na izostatické lisovanie za tepla, kde dochádza k ďalšej kompaktácii pri vysokej teplote a tlaku, **obr. 2**. Výsledná merná hmotnosť ocele vyrobenej z prášku je potom na úrovni takmer 100% mernej hmotnosti kompaktného materiálu.



Obr.3.33 Výroba nástrojových ocelí práškovou metalurgiou

Po kompaktácii nasleduje ešte tvárnenie. Vylisok sa kuje a valcuje do platní a tyčí, aby materiál mal manipulovateľnú veľkosť a aby sa zlepšila kvalita ocele, obr.3.34. Redukciou pri valcovaní sa rozrušujú a redistribuujú segregované prvky a získa sa homogénnejšia štruktúra. Čím je väčšia redukcia pri valcovaní, tým lepšia a homogénnejšia je výsledná štruktúra nástrojovej ocele.



Obr.3.34 Tvárniace procesy na dosiahnutie homogénnej štruktúry práškových nástrojových ocelí

3.3.11.7 Požiadavky na nástrojové ocele

Tvrdosť

Dosahuje sa kalením a popúšťaním pri nízkych teplotách (uhlíkové a pre prácu za studena). Nástrojové ocele pracujúce pri vyšších teplotách sa popúšťajú pri vyšších teplotách bez zníženia tvrdosti. Výsledná tvrdosť nástrojových ocelí je daná tvrdosťou popustenej martenzitickej matrice, tvrdosťou prítomných karbidických fáz a ich vytvrdzovacím účinkom. Tvrdosť uhlíkových NO závisí od obsahu uhlíka - vzrastá až po eutektoidné zloženie a dosahuje asi 67 HRC. U legovaných nástrojových ocelí možno dosiahnuť ešte o niečo vyššiu tvrdosť, a to predovšetkým v dôsledku nahradenia cementitu špeciálnymi karbidmi. Požadovaná tvrdosť pri vyšších teplotách sa dosahuje prísadou karbidotvorných prvkov, hlavne Cr, V, W a Mo, prípadne Ti, tab.3.24. Dokonalé využitie účinku týchto prvkov však vyžaduje príslušnú úpravu tepelného spracovania, predovšetkým ich prevedenie v čo najväčšom množstve do tuhého roztoku pri ohreve na kaliacu teplotu. Tvrdosť je základnou požiadavkou najmä pri rezných nástrojoch.

Tabuľka 3.24 Druhy karbidov v nástrojových oceliach

Karbidy	Tvrdosť [HV 0,1]	prvky (M)	Poznámka
M3C	asi 950	Fe, Mn	Karbid cementitického typu, relatívne mäkký
M23C6	1000-1100	Cr	Pri ohreve na kaliacu teplotu sa úplne rozpustí, chróm prechádza do tuhého roztoku a zvyšuje prekaliteľnosť ocele
M6C	1200-1300	W	Pri ohreve na kaliacu teplotu sa čiastočne rozpustí v austenite, čiastočne ostáva zachovaný a obmedzuje rast zrna austenitu.
M7C3	1600-1800	Cr	
M2C	1700-1900	W, Mo	Precipitujú v štruktúre pri popúšťaní 500-600°C

MC (M4C3)	2200-3000	V	Jemné veľmi tvrdé karbidy, ktoré sa pri austenitizácii len čiastočne rozpustia a zabraňujú zhrubnutiu austenitického zrna. Ďalej precipitujú v štruktúre pri popúšťaní 500-600°C
--------------	-----------	---	--

Plastické vlastnosti a húževnatosť

Plastické vlastnosti a húževnatosť závisí predovšetkým na matici a množstve, morfológii a veľkosti karbidov a na prítomnosti vmestkov, prípadne výrobných chýb. Nežiaduci vplyv na plasticitu a húževnatosť má najmä vylúčenie karbidov vo forme sieťovania u liatych ocelí a výrazná karbidická riadkovitosť u tvárnených ocelí. U mäkkších ocelí s pevnosťou < 1800 MPa sa ťažnosť zisťuje statickou skúškou v ťahu a húževnatosť skúškou rázom v ohybe. U ocelí s pevnosťou > 1800 MPa sa plastické vlastnosti posudzujú len statickou skúškou v ohybe z hodnoty pevnosti a priehybu. Pevnosť v ohybe u nástrojových ocelí lepšie vystihuje spôsob namáhania nástroja. Podobne ako tvrdosť, aj pevnosť v ohybe závisí predovšetkým od obsahu uhlíka (rastie s jeho zvyšujúcim sa obsahom) a spôsobe tepelného spracovania. Významne závisí aj na stave povrchu, pretože vysokopevné materiály sú citlivé na vruby.

Od húževnatosti závisí životnosť nástrojov pri dynamickom namáhaní. Je ovplyvňovaná hlavne chemickým zložením a tepelným spracovaním. Vysoká húževnatosť nástrojových ocelí sa dosahuje pri nižšom obsahu uhlíka a jemnejšom austenitickom zrne. Priaznivo húževnatosť nástrojových ocelí ovplyvňuje aj prísada Ni. Húževnatosť určuje odolnosť nástrojov voči mechanickým rázom (t.j. proti tvorbe trhlín a ich šíreniu), je dôležitá hlavne u materiálov na nástroje pre strihanie a tvárnenie. Zvýšenie húževnatosti sa dosiahne zjemnením zrna, rovnomerným rozložením jemných karbidov a minimalizovaním vnútorných napätí

Odolnosť proti opotrebeniu

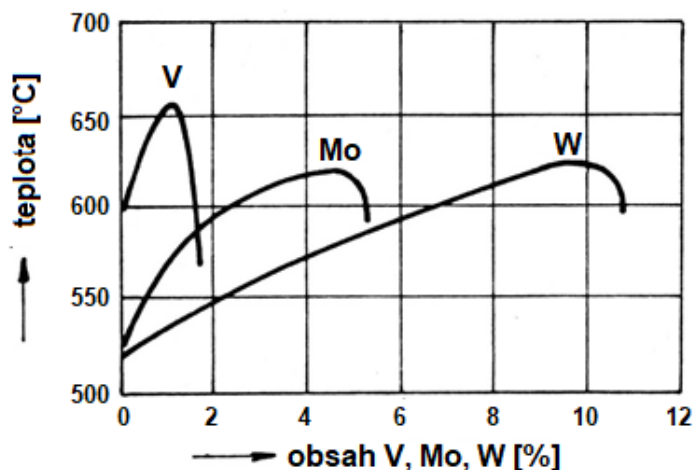
Je dôležitá hlavne pri tvárniacich nástrojoch, pretože ovplyvňuje ich životnosť. Odolnosť proti opotrebeniu úzko súvisí s tvrdosťou nástroja, ale je predovšetkým ovplyvnená množstvom, druhom, tvarom a rozložením karbidov. Závisí teda od obsahu uhlíka a obsahu karbidotvorných prvkov. Najúčinnnejšie sú V, ale aj Mo, W a Cr.

Veľkosť opotrebenia ovplyvňuje aj reznosť nástrojov (odolnosť proti otupeniu). Pri trení medzi nástrojom a materiálom obrobku sa funkčné časti nástroja nahrievajú, preto je nutné, aby oceľ bola odolná aj proti popúšťaniu.

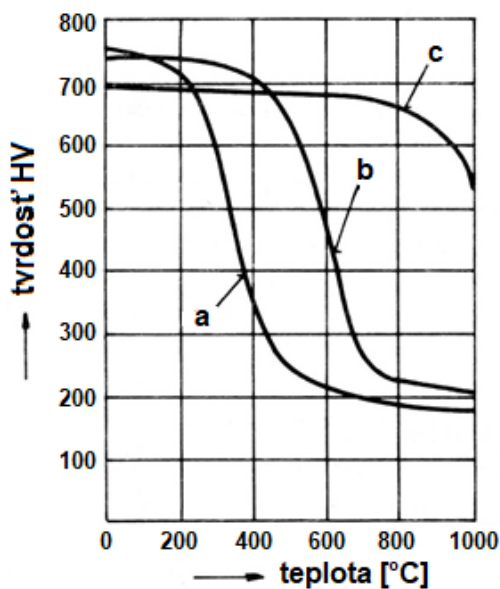
Odolnosť proti popúšťaniu

Táto vlastnosť je dôležitá najmä pre nástroje pracujúce pri teplotách nad 150 až 200 °C. Nástrojové ocele si musia zachovať mechanické vlastnosti (hlavne tvrdosť) aj pri práci za vyšších teplôt, aby sa neznížila odolnosť proti opotrebeniu a reznosť, teda životnosť nástroja. Jedná sa napr. o nástroje pre trieskové obrábanie kovov, pre tvárnenie ocelí za tepla, formy

pre odlievanie kovov a pod. Odolnosť sa posudzuje podľa poklesu tvrdosti pri dlhodobom ohreve materiálu na vyššie teploty. Uhlíkové ocele strácajú tvrdosť pri teplotách od 200°C. Zvýšenú odolnosť proti popúšťaniu možno dosiahnuť legovaním karbidotvornými prvkami (Cr, W, V, Mo, Ti) a prísadou Co, ktoré posúvajú jednotlivé deje, prebiehajúce pri popúšťaní zakalených ocelí k vyšším teplotám, obr.3.35 a 3.36.



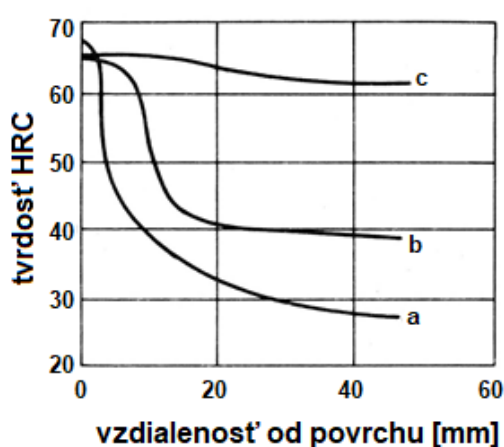
Obr.3.35 Vplyv V, Mo a W na odolnosť nástrojových ocelí proti popúšťaniu



Obr.3.36 Tvrdosť nástrojových materiálov v závislosti od teploty:
a – nelegovaná oceľ, b – rýchlorezná oceľ, c – spekaný karbid

Prekaliteľnosť

V prípade rezných nástrojov nie je prekaliteľnosť rozhodujúca, vzhľadom na ich prierezy, avšak u celého radu ostatných nástrojov (napr. tvárniacich, akými sú veľké zápustky) je niekedy výhodné, ak má pracovný povrch vysokú povrchovú tvrdosť, kým jadro zostáva húževnaté. Prekaliteľnosť závisí hlavne od chemického zloženia ocele, veľkosti nástroja a rýchlosti ochladzovania pri kalení. Nelegované nástrojové ocele majú malú prekaliteľnosť. Prekaliteľnosť zvyšujú takmer všetky legujúce prvky, najmä Mn, Cr, Mo, Ni, obr.3.37. U karbidotvorných prvkov je pre prekaliteľnosť dôležitý obsah legujúceho prvku rozpusteného pri kaliacej teplote v austenite. Prvok viazaný v karbide prekaliteľnosť nezvyšuje.



Obr.3.37 Krivky prekaliteľnosti nástrojových ocelí:

a – C105U (19 191), b – 90MnCrV8 (19 313), c – X210CrW12 (19 437)

Rozmerová stálosť

Je dôležitá u tvarovo presných obrábacích nástrojov a meradiel. Príčinou rozmerovej nestability nástrojov sú zvyškové napätia, ktoré vyvolávajú deformácie ako dôsledok štruktúrnych zmien (štruktúrne zvyškové napätia) alebo rozdielov teplôt medzi povrchom a jadrom nástroja pri tepelnom spracovaní (tepelné zvyškové napätia). Štruktúrne zvyškové napätia sú spojené so zväčšením objemu pri transformácii austenitu na martenzit alebo sú spojené so zmenšením objemu pri precipitácii karbidov. Sú úmerné obsahu uhlíka v oceli a možno ich ovplyvňovať legujúcimi prvkami, ktoré zväčšenie objemu znižujú (napr. Si, Mo) alebo aspoň nezväčšujú (Mn). Teplotné zvyškové napätia možno obmedziť rôznymi opatreniami, ako sú tvarové riešenie nástroja, spôsob jeho uloženia pri ohreve, postup pri ohreve a kalení atď.

Technologické vlastnosti

U tvarovo zložitých nástrojov je dôležitou požiadavkou dobrá obrábateľnosť. U foriem na lisovanie plastov je okrem toho uplatňovaná aj požiadavka na dobrú leštiteľnosť.

Reznosť

Je dôležitá u rezných nástrojov. Je ovplyvnená množstvom, zložením a rozložením karbidov v štruktúre.

Tepelná únava

Prejavuje sa u nástrojov, ktoré sú vystavené striedavým teplotám ako sieť trhliniek na povrchu. Trhlinky vznikajú v dôsledku tepelnej rozťažnosti materiálu striedaním tlakových napätí pri ohreve a ťahových napätí pri ochladzovaní povrchu nástroja. Odolnosť materiálu voči vzniku trhlín závisí najmä na medzi klzu a húževnatosti ocelí. Odolnosť voči tepelnej únave zlepšuje Cr a Mo, ktoré majú pri vysokej pevnosti aj vysokú húževnatosť.

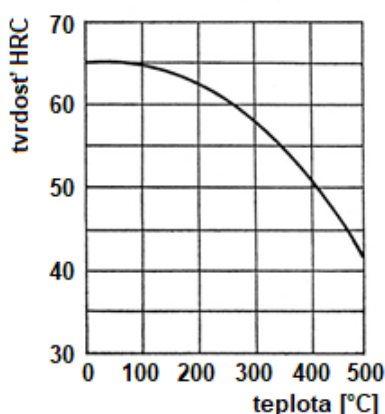
Špeciálne požiadavky

Ide o špecifické požiadavky pre jednotlivé druhy nástrojov. Jedná sa napr. o koróznú odolnosť (formy na lisovanie), veľkú tepelnú vodivosť a malú teplotnú rozťažnosť (zápustky a formy pre tlakové liatie). Čoraz častejšie sa kladú požiadavky aj na kvalitu aktívnych plôch nástrojov, preto sa na ne nanášajú špeciálne vrstvy alebo povlaky, čím sa dosahuje zvýšenie ich trvanlivosti a životnosti.

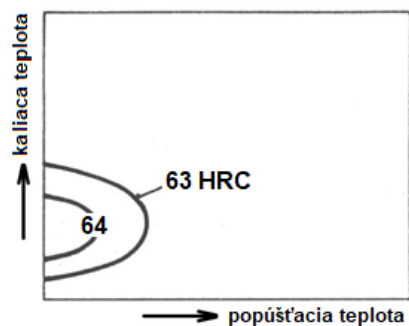
3.3.11.8 Tepelné spracovanie nástrojových ocelí na primárnu a sekundárnu tvrdosť

Primárna tvrdosť

Cieľom nízкотеплотného popúšťania (do 200°C) je premena tetragonálneho martenzitu na kubický martenzit, premena zvyškového austenitu na kubický martenzit. Výsledná tvrdosť ocele po popúšťaní je odvodená od tvrdosti kubického martenzitu, obr.3.38.



a)



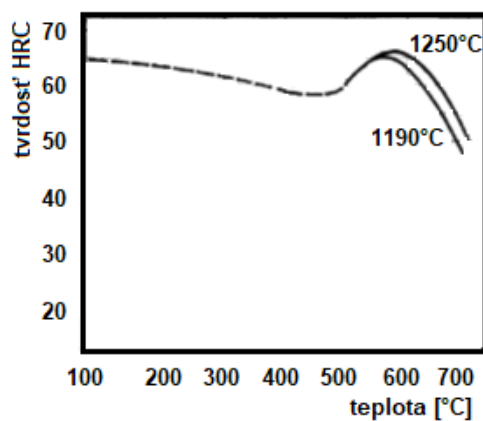
b)

Obr.3.38 Nízkoteplotné popúšťanie nástrojových ocelí na primárnu tvrdosť: popúšťacia krivka a vrstevnicový diagram uhlíkovej nástrojovej ocele
a) Popúšťacia krivka (ocel' C105U) b) Vrstevnicový diagram

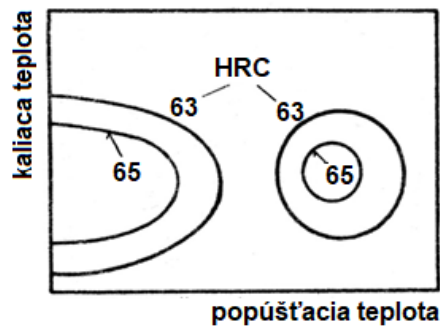
Sekundárna tvrdosť

Zvýšením popúšťacej teploty na 550 – 600°C dochádza:

- k precipitácii jemnej disperzie častíc špeciálnych karbidov (W_2C , V_4C_3 , Mo_2C) – nárast tvrdosti ocele po popúšťaní
- pri ochladení z popúšťacej teploty k transformácii ochudobneného zvyškového austenitu na martenzit, čím dochádza opäť k zvýšeniu tvrdosti ocele po popúšťaní, obr.3.39.



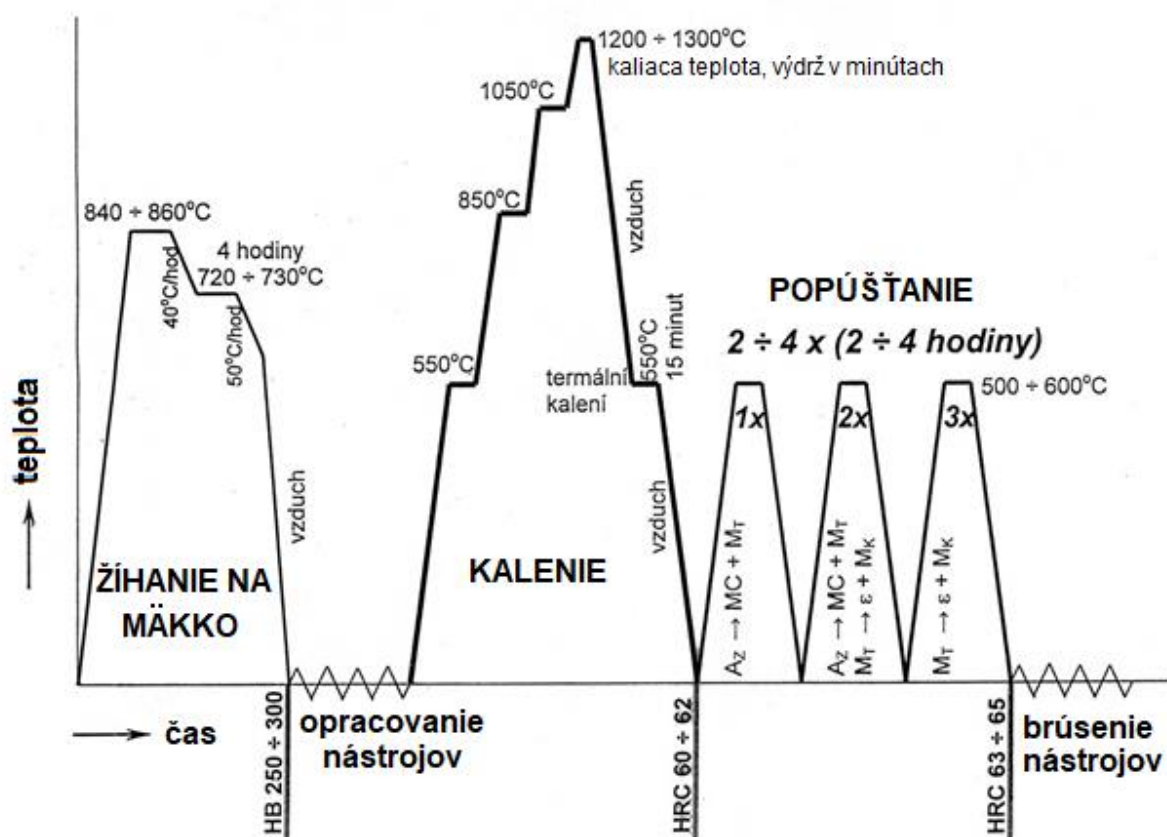
a)



Obr.3.40 Vysokoteplotné zušľachťovanie nástrojových ocelí na sekundárnu tvrdosť
Popúšťacia krivka a vrstevnicový diagram rýchloreznej ocele
a) Popúšťacia krivka (HS 6-5-2) b) Vrstevnicový diagram

3.3.11.9 Tepelné spracovanie rýchlorezných ocelí

Tepelné spracovanie rýchlorezných ocelí je zložité a nákladné. Jeho cieľom je dosiahnuť čo najlepšie rezné vlastnosti a najvhodnejšie mechanické vlastnosti nástroja. Typický priebeh tepelného spracovania rýchloreznej ocele je uvedený na obr.3.41.

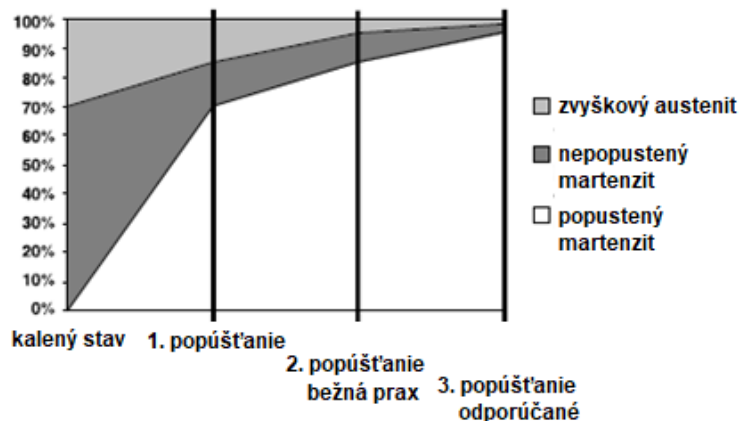


Obr.3.41 Technologický postup tepelného spracovania rýchloreznej ocele

1. Žihanie na mätko - používa sa pre zlepšenie obrábateľnosti. Najjednoduchší spôsob žihania na mätko spočíva v pomalom ohreve ocele na teplotu 850 °C (podľa typu ocele

- je táto teplota daná v materiálových listoch) s výdržou 4 až 8 hodín a následným pomalým ochladením v peci do teploty asi 600 - 500 °C a ďalším pozvoľným chladnutím.
2. Žihanie na zníženie vnútorných napätí - slúži na zníženie napätí vzniknutých pri obrábaní pred tepelným spracovaním. Spočíva v pomalom ohreve na teplotu 600 - 650 °C s 1- 2 hodinovým zotrvaním na teplote a pomalom chladnutí v peci. V takomto stave má oceľ perliticko - ledeburitickú štruktúru.
 3. Kalenie - možno ho realizovať ochladzovaním na vzduchu, pretože rýchlorezné ocele sú samokaliteľné (vďaka vysokému obsahu legúr), a nie je potrebné používať intenzívne chladiace prostredia. Účelom kalenia je rozpustenie väčšiny karbidov a dosiahnutie ich nového, jemnejšieho vylúčenia, za súčasného dosiahnutia optimálnych rezných a mechanických vlastností. Nástroje z rýchlorezných ocelí sa zahrievajú na kaliacu teplotu stupňovito, pretože veľká rýchlosť ohrevu spôsobuje ich praskanie. Ich kaliaca teplota je vyššia ako u bežných konštrukčných ocelí, pohybuje sa v rozmedzí 1200 - 1300 °C. Prvý stupeň ohrevu sa uskutočňuje na vzduchu, ďalšie už v solných kúpeľoch alebo vo vákuovej peci, a to nasledovne:
 - 1. stupeň ohrevu je na teplotu v intervale 350 - 550 °C, s výdržou 1 - 2 hodiny. Teplota 550 °C je kritickou teplotou, pri ktorej nedochádza k oduhličeniu nástrojov, preto je možné vykonať ho na vzduchu. Cieľom výdrže na teplote je vyrovnať teplotu jadra a povrchu nástroja, a tým zmenšiť tepelné pnutia;
 - 2. stupeň ohrevu je na teplotu v intervale 820 - 850 °C, s výdržou 1 - 2 hodiny. Jedná sa o ohrev nad teplotu A₁, čo umožňuje vyrovnanie štruktúrnych pnutí, ktoré vznikajú zmenou mriežky, teda prekryštalizáciou. Uskutočňuje sa v solnom kúpeli alebo vo vákuu;
 - 3. stupeň ohrevu je na teplotu 1050 °C v solnom kúpeli. Pri tejto teplote sa karbid M₂₃C₆ rozkladá na zložky, ktoré sa rozpúšťajú v austenite a uskutoční sa homogenizácia austenitu. Tento stupeň skracuje dobu zotrvania na kaliacej teplote, a teda znižuje aj nebezpečenstvo zhrubnutia zrna;
 - 4. stupeň ohrevu je na teplotu v intervale 1200 - 1300 °C, s výdržou menej ako 5 minút, aby nezhrublo zrno a nenatavili sa tenké rezné hrany nástrojov. Dĺžka zotrvania závisí od teploty kalenia. S vyššou kaliacou teplotou sa skracuje doba výdrže. Voľba kaliacej teploty v predpísanom rozmedzí sa riadi predovšetkým tvarom a spôsobom namáhania nástroja pri používaní. Kaliaca teplota pri spodnej hranici kaliaceho rozmedzia dáva nástroju vyššiu húževnatosť, oteruvzdornosť, odolnosť proti tepelnej únave a menšie rozmerové zmeny. Je teda vhodná pre menšie a tvarovo komplikovanejšie nástroje. Kaliaca teplota pri hornej hranici kaliaceho rozmedzia zvyšuje prekaliteľnosť, odolnosť proti popúšťaniu a tvrdosť pri zvýšených teplotách, a tým zvyšuje aj životnosť nástrojov. Takáto teplota je vhodná pre väčšie nástroje a nástroje jednoduchých tvarov s minimálnymi rozdielmi v priereze. Po zakalení je štruktúra rýchloreznej ocele tvorená nerozpustenými karbidmi M₆C a MC (v množstve asi 5 - 10 %), vysokolegovaným zvyškovým austenitom (v množstve asi 40 - 70 %) a vysokolegovaným martenzitom (zvyšok do 100 %).

Obr.3.42 zobrazuje vplyv viacnásobného popúšťania rýchlorezných ocelí na podiel jednotlivých štruktúrnych zložiek vo výslednej mikroštruktúre.



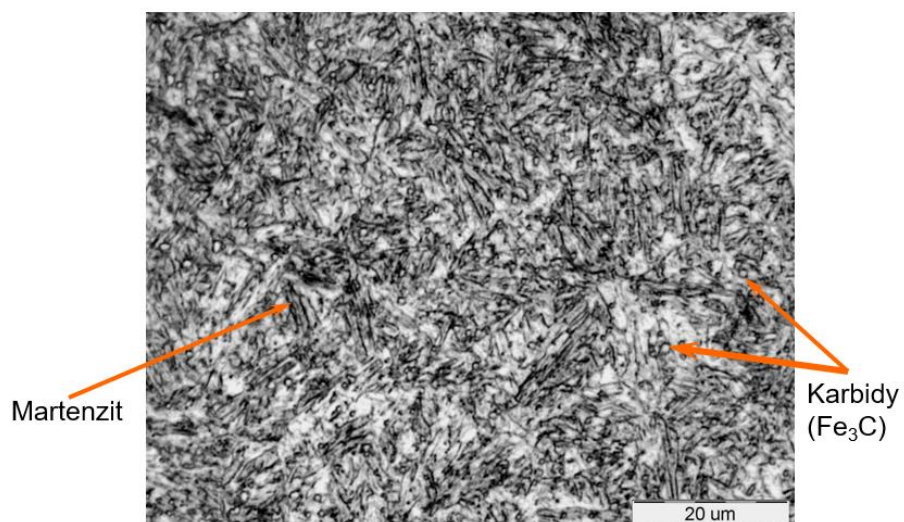
Obr.3.42 Vplyv viacnásobného popúšťania rýchloreznej ocele na podiel jednotlivých štruktúrnych zložiek vo výslednej mikroštruktúre

Štruktúra po kalení sa skladá z nepopusteného martenzitu a približne 30% zvyškového austenitu. Po kalení majú tieto štruktúrne zložky vysokú úroveň vnútorných napätí, ktoré sa musia uvoľniť, inak sa nástroj poruší. Rýchlorezné a vysokolegované nástrojové ocele majú dobrú odolnosť voči popúšťaniu, preto sa popúšťajú pri vysokých teplotách.

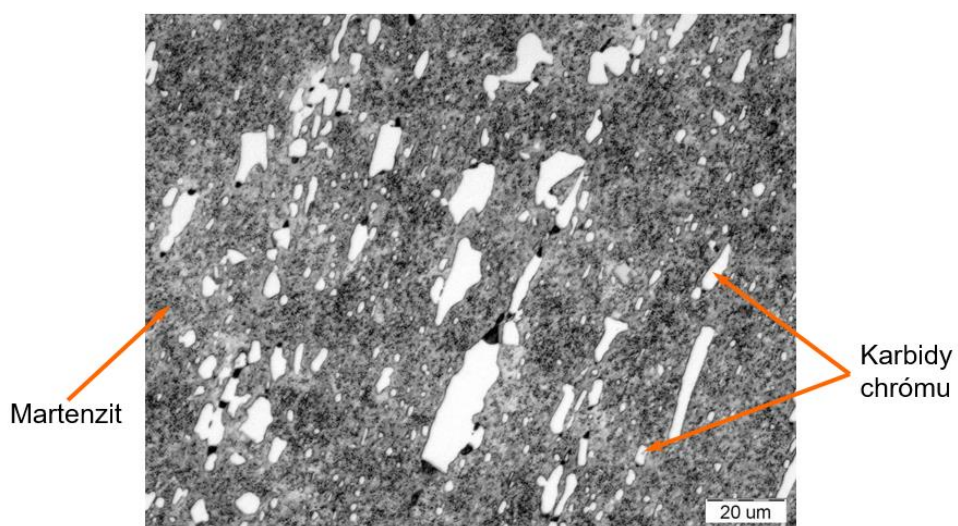
4. Popúšťanie pri teplote 538°C a viac vedie k popusteniu nepopusteného martenzitu, a pri ochladzovaní nástroja sa približne polovica zvyškového austenitu premení na nepopustený martenzit bez toho, aby tvrdosť nástroja poklesla pod 60 HRC. Vyššia teplota popúšťania je dostatočná na to, aby sa zvyškový austenit premenil na martenzit, čím sa znižuje potreba kryogénneho spracovania rýchlorezných a vysokolegovaných nástrojových ocelí. Štandardná prax tepelného spracovania rýchlorezných nástrojových ocelí vyžaduje najmenej dva popúšťacie cykly. Na to, aby sa obsah zvyškového austenitu a nepopusteného martenzitu dostal na úroveň prijateľnú pre operácie lisovania sa odporúčajú tri popúšťacie cykly. Po treťom, maximálne štvrtom popúšťaní je premenený takmer všetok zvyškový austenit, ktorý by sa mohol premieňať pri pracovnej teplote nástroja, hoci nejaké percento zvyškového austenitu v štruktúre stále zostáva. Nástroj je teda rozmerovo stabilný a pripravený na použitie. Doba výdrže na popúšťacej teplote je asi 1 hodina na každých 25 mm hrúbky, minimálne však 30 minút. Rozpad zvyškového austenitu prebieha počas ochladzovania z popúšťacej teploty a po každom popúšťaní sa musí nástroj ochladiť na teplotu okolia.

3.3.11.10 Mikroštruktúra nástrojových ocelí

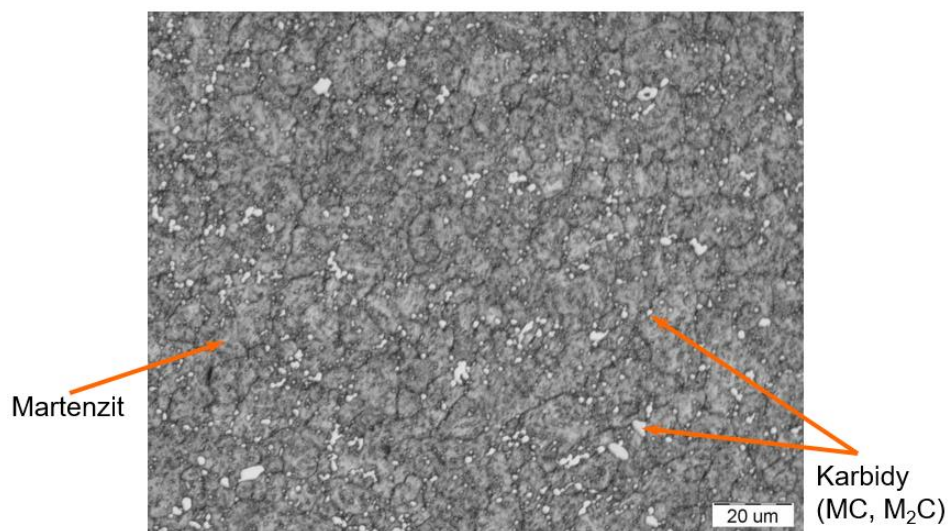
Na nasledujúcich obr.3.43 až 3.46 sú uvedené príklady mikroštruktúry niektorých nástrojových ocelí.



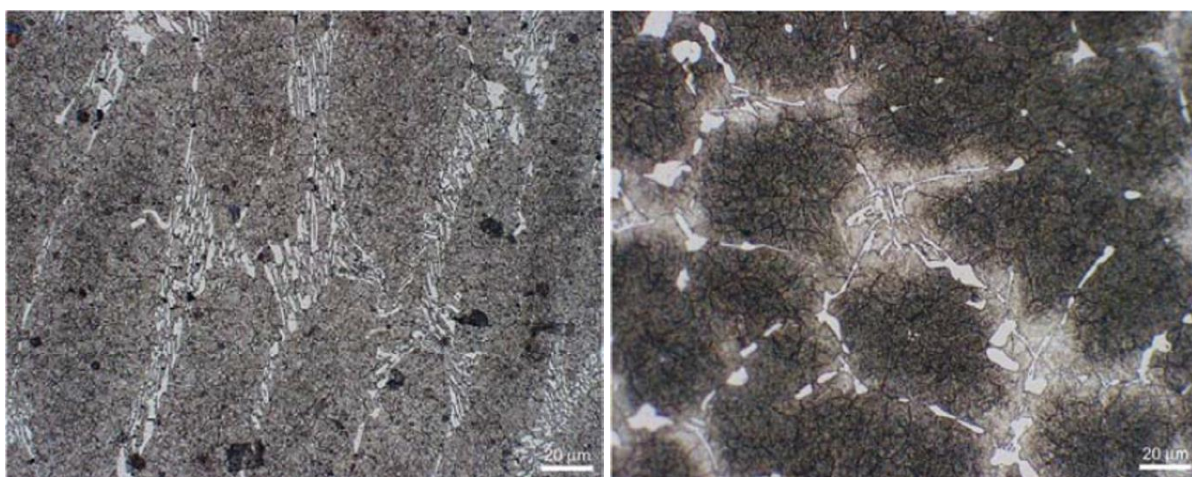
Obr.3.42 Mikroštruktúra nelegovanej ocele C105U (19 191), 850°C/voda/200°C



Obr.3.43 Mikroštruktúra legovanej ocele X210Cr12 (19 436), 980°C/olej/200°C, ukážka štruktúry nevhodne tvárnenej nástrojovej ocele – karbidická riadkovitosť



Obr.3.44 Mikroštruktúra rýchloreznej ocele HS 6-5-2 (19 830), 1200°C/olej/550°C



Obr.3.45 Mikroštruktúra liatej nástrojovej ocele 170WV6M3



Obr.3.46 Oceľ Vanadis 23 vyrobená metódou práškovej metalurgie

3.3.11.11 Povrchové úpravy nástrojov

Na zlepšenie úžitkových vlastností nástrojov, najmä rezných a lisovacích, existuje rad postupov povrchových úprav na zlepšenie ich vlastností.

Najdôležitejšie z nich sú:

- **Naprašovanie vrstvy nitridu titánu (TiN)** – podstatne zlepšuje životnosť nástrojov, najmä rezných
- **Nitridovanie** – zvyšuje tvrdosť, odolnosť proti opotrebeniu a zlepšujú sa klzné vlastnosti
- **Tvrde chrómovanie** - zvyšuje tvrdosť, odolnosť proti opotrebeniu, u rezných a lisovacích nástrojov je možné týmto postupom zvýšiť životnosť až trojnásobne
- **Fosfátovanie** – získaná vrstva je pórovitá, dobre zadržiava mazivo a tým zlepšuje odolnosť proti opotrebeniu

3.3.12 Ocele na valivé ložiská

Pri chode valivých ložísk vyvolávajú valivé telieska (guľôčky, valčeky a pod.) na krúžkoch ložiska tlakové a šmykové, časovo premenne napätia, ktoré môžu byť príčinou nukleácie únavovej trhliny. Trhlinu obvykle iniciuje inklúzia, karbid alebo materiálová chyba. Životnosť a spoľahlivosť ložísk závisí jednak na akosti matrice, jednak na veľkosti, distribúcii, morfológii, zložení a rozložení inklúzií a karbidov. Nevyhovujúce sú krehké, tvrdé a netvárne oxidy, prípadné karbidy. Z hľadiska náchylnosti ocelí k vzniku kontaktnej únavy (pittingu) sú nežiaduce najmä netvárne hliníky, oxid hlinitý a karbonitridy titanu. Vysoká čistota týchto ocelí sa dosahuje dezoxidáciou vo vákuu, prípadné vákuovým pretavením, čím sa dosiahne jemnozrná štruktúra a inklúzie malých rozmerov.

Podľa normy DIN 17 230 sa ložiskové ocele delia do nasledujúcich skupín:

- a) prekaliteľné ocele,
- b) cementačné ocele,
- c) zošľachtené ocele,
- d) antikoročné ocele,
- e) ocele zachovávajúce si tvrdosť za vyšších teplôt.

Ocele majú jemnú martenzitickú štruktúru vysokej tvrdosti. Nadeutektoidné ocele majú v martenzite vylúčené karbidy. Najbežnejšie sa používajú na ložiská ocele prvej skupiny uvedené v tab.3.25.

Tabuľka 3.25 Chemické zloženie [hm. %] ocelí na valivé ložiska

Značka	Číslo mat.	C	Mn	Cr	Mo max	Ni max	V max	W max
Prekaliteľné ocele na valivé ložiska								
100Cr6	1.3505	0,90-1,05	0,25-0,45	1,35-1,65		0,3		
100CrMn6	1.3520	0,90-1,05	1,00-1,20	1,40-1,65		0,3		
100CrMo7	1.3537	0,90-1,05	0,25-0,45	1,65-1,95	0,25	0,3		
100CrMnMo8	1.3539	0,90-1,05	0,80-1,00	1,80-2,05	-0,60	0,3		
Cementačné ocele								
19CrMn5	1.3523	0,17-0,22	1,10-1,40	1,00-1,30				
16CrNiMo6	1.3531	0,15-0,20	0,40-0,60	1,50-1,80	0,35	1,7		
17NiCrMo14	1.3533	0,15-0,20	0,40-0,70	1,30-1,60	0,25	3,75		
Zušľachtené ocele								
44CR2	1.3561	0,42-0,48	0,50-0,80	0,40-0,60				
43CrMo4	1.3563	0,40-0,46	0,60-0,90	0,90-1,20	0,30			
48OCrMo4	1.3565	0,46-0,52	0,50-0,80	0,90-1,20				
Antikorózne ocele								
X45Cr13	1.3541	0,42-0,50	max. 1,0	12,514,5		0,5		
X102CrMo17	1.3543	0,95-1,10	max. 1,0	16,0-18,0	0,75			
X89CrMoV18-1	1.3549	0,85-0,95	max. 1,0	17,0-19,0	1,30		0,10	
Ocele zachovávajúce si tvrdosť za vyšších teplôt								
X82WCrMoV6-5-5	1.3553	0,78-0,86	max. 0,40	3,80-4,50	5,20		2,0	6,7
X75WCrV18-4	1.3558	0,70-0,78	max. 0,40	3,80-4,50	0,60		1,2	18,5

Ocele sa pred spracovaním žihajú na mätko (na tvrdosť cca 210 HBS). Po spracovaní sa kalia do oleja a popúšťajú na tvrdosť 60 až 65 HRC. Značky legované molybdénom majú väčšiu prekaliteľnosť a používajú sa pre výrobu väčších ložísk.

Cementačné ocele majú vysokú povrchovú tvrdosť pri húževnatom jadre. Antikorózne ocele na valivé ložiská sa používajú do korózneho prostredia. Môžeme ich zaradiť medzi martenzitické korozivzdorné ocele. Poslednú skupinu ocelí v tabuľke možno zaradiť medzi rýchlorezné ocele, zachovávajúce si tvrdosť pri teplotách až do 550°C. Používajú sa napr. na uloženie rotoru plynových turbín.

3.3.13 Ocele na odliatky

Technické dodacie podmienky pre ocele na odliatky uvádza STN EN 1559-2. Pre väčšinu typov ocelí k tvárneniu existuje variant ocele na odliatky, ktorý sa označuje symbolom G.

Podľa použitia norma rozlišuje značky ocelí na odliatky pre:

- použitie za normálnej teploty a zvýšených teplôt,
- použitie za nízkych teplôt,

- značky austenitických a austeniticko-feritických ocelí.

Ocele pre použitie za normálnej teploty a zvýšených teplôt sa používajú v energetickom strojárstve do 400 až 550°C. Podľa stupňa legovania sa môžu deliť na nelegované, nízkolegované a vysokoľegované. Výber legovaných ocelí je v tab.3.26.

Vysokoľegované ocele sú kaliteľné na vzduchu. Martenzitická štruktúra získaná po kalení sa popúšťa na vysoké teploty. Ocele GX15CrMo5 a GX23CrMoV12-I sa používajú v petrochemickom priemysle.

Tabuľka 3.26 Chemické zloženie v [hm. %] a mechanické vlastnosti legovaných ocelí na odliatky

Značka	Číslo mat.	C max	Cr	Mo	Ni max	V	R _m MPa	A %	KV J
G20Mo5	1.5419	0,23		0,40-0,60			440-590	22	27
G17CrMo9-10	1.7379	0,20	2,00-2,50	0,90-1,20			590-740	18	40
G12CrMoV5-2	1.7720	0,15	0,30-0,50	0,40-0,60		0,3	510-660	17	27
G17CrMoV5-10	1.7706	0,20	1,20-1,50	0,90-1,10			590-780	15	27
GX15CrMo5	1.7365	0,19	4,00-6,00	0,45-0,65			630-760	16	
GX4CrNi13-4	1.4317	0,06	12,0-13,5	max. 0,70	5,0		760-960	15	50
GX4CrNiMo16-5-1	1.4405	0,06	15,0-17,0	0,70-1,50	6,0		760-960	15	60

Ocele na odliatky pre použitie za nízkych teplôt sa vyznačujú nízkym obsahom uhlíka. Tranzitnú teplotu znižuje mangán až do obsahu 1,60 %. Ešte významnejšie ju znižuje nikel. Nízkoľegované mangánové ocele (G17Mn5, G20Mn5) sa používajú do teplôt - 60°C, vysokoľegované (G17NiCrMo13-6, GXCrNi13-4) do teplôt - 80 až - 120°C.

Ocele austenitické a austeniticko-feritické pre tlakové nádoby predstavujú najpoužívanejšie značky antikoročných ocelí na odliatky. Požadujú veľmi nízke obsahy uhlíka (max. 0,07 %, najčastejšie 0,03 %). Výber týchto ocelí je v tab.3.27. Prvé tri značky predstavujú austenitické ocele, ďalšie ocele sú austeniticko-feritické (duplexné ocele). Uvedené materiály dosahujú pevnosť v rozmedzí 440 – 850 MPa, pri ťažnosti 20 – 30 %.

Tabuľka 3.27 Chemické zloženie v [hm. %] a mechanické vlastnosti austenitických a austeniticko-feritických ocelí na odliatky

Značka	Číslo mat.	C max	Cr	Mo	Ni	ostatné
GX2CrNi19-10	1.4308	0,07	18-20		8,0-11,0	
GX2CrNiMo19-11-2	1.4409	0,03	18-20	2,0-2,5	9,0-12,0	N: max. 0,20
GX5CrNiMo19-11-2	1.4408	0,07	18-20	2,0-2,5	9,0-12,0	
GX2CrNiMo28-20-2	1.4458	0,03	19-22	2,0-3,0	26-30,0	N: max.0,20, Cu: 2,0
GX2CrNiMoN2-5-3	1.4470	0,03	21-23	2,5-3,5	4,5,-6,5	N: 0,12-0,20
GX2CrNiMoN26-7-4	1.4469	0,03	25-27	6,0-8,0	6,0-8,0	N: 0,12-0,2, Cu: 1,3

3.3.14 Oteruvzdorné ocele

Oteruvzdorné ocele sú vyrábané často ako ocele na odliatky. U zložitejších tvarov nie je často iná možnosť vyrobiť dielec inak (obťažná obrobiteľnosť) ako odievaním.

Austenitické mangánové ocele (Hadfieldová oceľ) sú určené pre vysoké merné tlaky. Obsahujú asi 1,2 až 1,5 %C a 12 až 15 %Mn. Variant s cca 18 %Mn je používaná pre najviac namáhané súčiastky. Majú austenitickú štruktúru, ktorá sa dosahuje ohrevom na teploty 980 až 1100°C a rýchlym ochladením vo vode. Dosahujú tvrdosť okolo 200 HBS, medzu klzu 400 MPa, pri pevnosti 800 - 900 MPa a ťažnosti 35 - 50 %. Oceľ v liatom stave alebo pomaly ochladzovaná je krehká.

Chrómové karbidické ocele majú základnú štruktúru tvorenú martenzitom, v ktorom sú uložené karbidy. Ocele obsahujú 1,1 až 1,6 %C a 12 až 28 %Cr. Pomer obsahu uhlíku k obsahu chrómu má obvykle hodnotu 10.

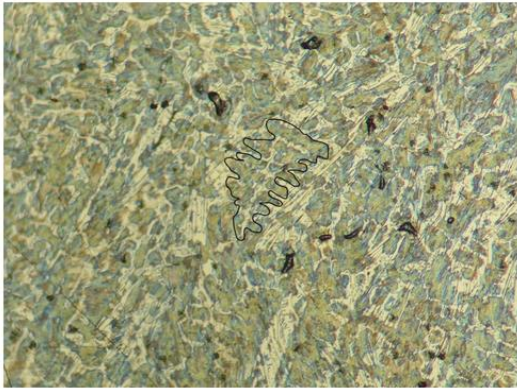
Oceľ o zložení 1,2 až 1,6 %C a 12 až 14 %Cr sa používa k výrobe mlecích gúľ a nástrojov. Na odlievanie telies a obežných kolies kalových a bagrovacích čerpadiel sa používa materiál s obsahom 2,5 až 3,0%C a 15 až 28 %Cr, Tento veľmi krehký materiál býva niekedy formálne zaradzovaný medzi ocele inokedy medzi legované latiny.

3.4 LIATINY

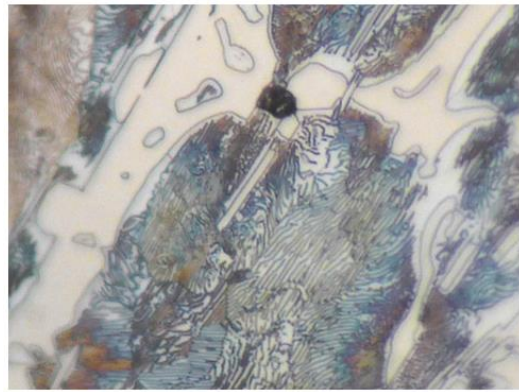
Liatiny sú zliatiny železa s uhlíkom, kremíkom, mangánom a ďalšími prvkami, v ktorých obsah uhlíka je minimálne 2,14 %C. Liatina sa vyrába roztavením surovín (surové železo, liatinové zlomky, liatinový vratný materiál, prípadne oceľový odpad a ďalšie prísady) v kuplovej peci alebo elektrickej indukčnej, prípadne oblúkovej peci.

Z rovnovážneho diagramu železo-uhlík (kap. 3.1) vyplýva, že podľa chemického zloženia a podmienok tuhnutia vzniká v liatinách buď cementitické eutektikum - ledeburit, alebo grafitové eutektikum. Podľa vylúčeného typu eutektika rozlišujeme: bielo tuhnúce liatiny (biela liatina, temperovaná liatina a tvrdená liatina), ktoré majú aj biely lom; druhou skupinou sú grafitické liatiny (s lupienkovým, guľôčkovým alebo červíkovitým grafitom), ktoré majú sivý lom. Pre určité účely použitia sa vyrábajú aj legované druhy liatin.

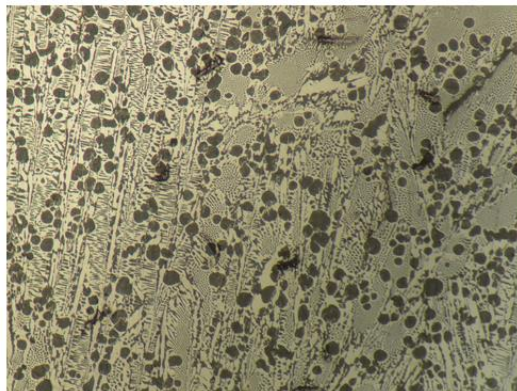
Grafitické liatiny (najmä liatina s lupienkovým grafitom) patrí do skupiny najstarších konštrukčných materiálov. Neobsahujú voľný cementit a majú všetok uhlík alebo jeho prevažnú časť vylúčenú ako grafit. Tieto zliatiny majú v porovnaní s oceľou mnohé prednosti: o cca 8 % nižšiu mernú hmotnosť, lepšiu obrobiteľnosť a trecie vlastnosti, schopnosť tlmiť chvenie, menšiu citlivosť na vruby a i. U liatin s výhodnejšími tvarmi grafitu (guľôčkový, vločkový) sa dajú dosiahnuť mechanické vlastností porovnateľné s oceľou a pritom zachovať ich špecifické vlastnosti. Štruktúru a mechanické vlastnosti môžeme u týchto liatin ovplyvňovať rovnako ako u ocelí voľbou vhodného tepelného spracovania.



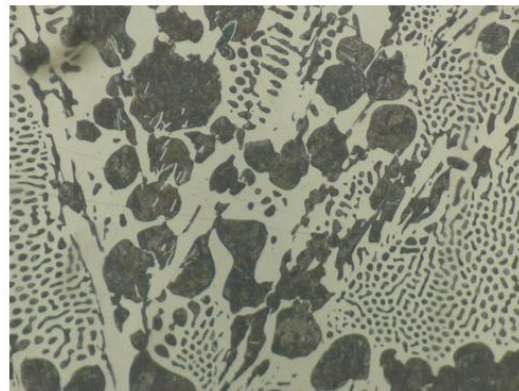
a)



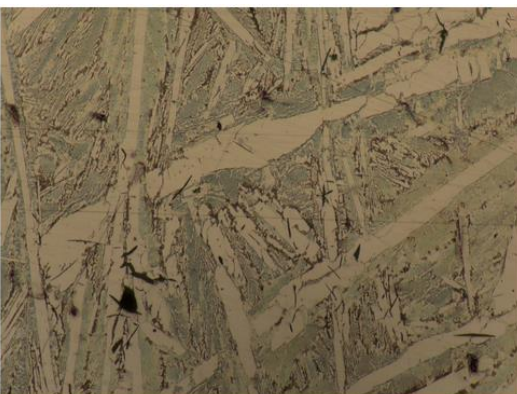
b)



c)

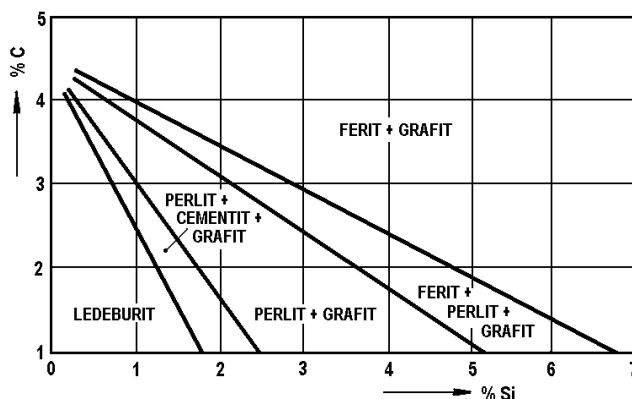


d)



e)

Obr.3.47 a-b) Mikroštruktúra podeutektickej bielej liatiny (2,7% C); c-d) Mikroštruktúra podeutektickej bielej liatiny (3,85% C); e) Mikroštruktúra nadeutektickej bielej liatiny (5,5%)

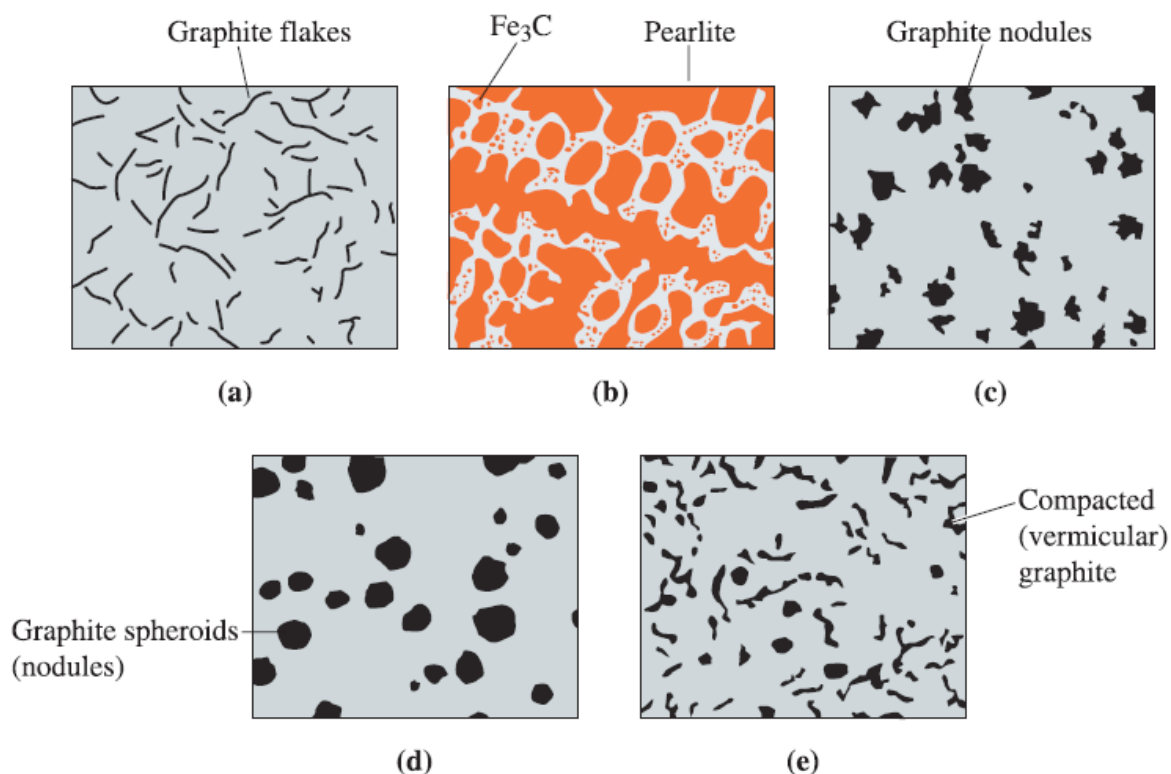


Obr.3.48 Vplyv obsahu Si a C na štruktúru liatiny

Rozhodujúci vplyv na vylučovanie grafitu má obsah uhlíku a kremíku, (obr.3.48). Z obrázku vyplýva, že napr. pri obsahu 3 %C a 4 %Si sa všetok C vylúči vo forme grafitu a výsledná štruktúra bude feriticko – grafitická. Pri obsahu 3 %C a 2 %Si sa časť uhlíka rozpusteného v austenite, vylúči pri eutektoidnej reakcii vo forme cementitu (ako súčasť perlitu) a výsledná štruktúra bude tvorená

perlitom a grafitom.

Druhým faktorom, ktorý výrazne ovplyvňuje štruktúru liatin, je rýchlosť ochladzovania, ktorá rozhoduje o difúzných podmienkach. So zvyšujúcou rýchlosťou ochladzovania sa potláčajú difúzne procesy. To znamená že pri obsahu 3 %C a 3 %Si môže vzniknúť v závislosti od rýchlosti ochladzovania rôzna matica grafitickej liatiny a to od feriticko – grafitickej až po ledeburitickú liatinu.



Obr.3.49 Schematické znázornenie piatich typov liatiny: a) sivá liatina (lupienkový grafit), b) biela liatina (perlit a eutektický cementit), c) temperovaná liatina d) tvárna liatina (guľôčkový grafit, e) vermikulárne grafit

DRUHY A VLASTNOSTI LIATIN

3.4.1 Biela liatina

Biela liatina odpovedá svojou štruktúrou metastabilnej rovnováhy sústavy Fe - Fe₃C.

Je tvorená zmesou eutektického a sekundárneho cementitu a perlitu (obr.3.50) a má preto biely lom. Vznik tejto štruktúrnej zmesi je podporovaný zvýšeným obsahom karbidotvorných prvkov v liatine (Mn, Cr) a vyššou rýchlosťou tuhnutia. Tvrdosť bielej liatiny ovplyvňuje najmä obsah cementitu v štruktúre a pohybuje sa medzi 350 až 500 HBS. Dá sa zvýšiť martenzitickým kalením. Vyrábajú sa z nej tvarovo jednoduché odliatky s vysokou odolnosťou proti opotrebeniu (lopatky pieskometov, mlecie platne, gule a pod.). Podeutektická biela liatina je východiskom pri výrobe temperovanej liatiny.

3.4.2 Grafitické liatiny

Štruktúra grafitických liatin je tvorená grafitom a základnou kovovou hmotou (matricou). Na vlastnosti liatin má rozhodujúci vplyv tvar, veľkosť, obsah a spôsob rozloženia grafitu a druh matrice (perlit, ferit, cementit, prípadné ďalšie produkty transformácie austenitu) a fosfidické eutektikum – *steadit*.

Základné tvary grafitu v grafitických liatinách podľa normy STN EN 1560 sú lupienkový, guľôčkový, pavúčkovitý a červíkovitý. Grafitové častice oslabujú štruktúru a porušujú kontinuitu základnej kovovej hmoty. Pri namáhaní odliatku dochádza k vzniku miestnych koncentrácií napätí v oblasti grafitu a jeho hodnoty môžu 10 až 20 x prevýšiť menovité napätia. Najsilnejší vrubový účinok má v štruktúre vylúčenie grafitu v tvare hrubých lupienkov. Priaznivejšími tvarmi z hľadiska koncentrácií napätí a porušovania celistvosti matrice liatin sú guľôčky v liatine s guľôčkovým grafitom alebo vločky grafitu v temperovaných liatinách.

Výslednú štruktúru matrice liatin po odliati tvorí perlit, ferit alebo ich zmes a ďalšie štruktúrne zložky (*steadit*, inklúzie). Perlit je najčastejšie lamelárny a s jeho rastúcim množstvom sa zvyšuje tvrdosť, pevnosť a odolnosť proti opotrebeniu, avšak klesá húževnatosť a plasticita. Naopak vyšší podiel feritu v štruktúre najmä u liatin s guľôčkovým grafitom vedie k zvýšeniu ťažnosti a húževnatosti.

3.4.2.1 Liatina s lupienkovým grafitom STN EN 1561

Podľa normy je táto latina definovaná ako zliatina železa a uhlíka na odliatky, v ktorej je voľný uhlík prítomný ako grafit prevažne v tvare lamelárnych častíc - lupienkov. Je to pomerne lacný konštrukčný materiál s dobrými zlievarenskými vlastnosťami. Pretože lupienky grafitu vytvárajú v základnej kovovej hmote liatiny veľké množstvo vrubov, znižujú mechanické vlastnosti. Deformačné charakteristiky sú minimálne, ťažnosť týchto liatin je menšia ako 1 %.

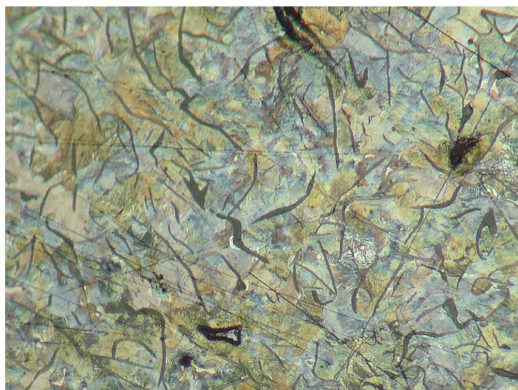
Podľa štruktúry základnej kovovej hmoty môžeme liatiny s lupienkovým grafitom (sivé liatiny) rozdeliť na:

➤ **Perlitécké liatiny** – v základnej perlitickej hmote sú uložené lupienky grafitu (obr.3.20). Vzniká ak je obsah grafitických prísad v súlade s rýchlosťou ochladzovania. Je to dobrý konštrukčný materiál, preto väčšina odliatkov sa zhotovuje z tejto liatiny.

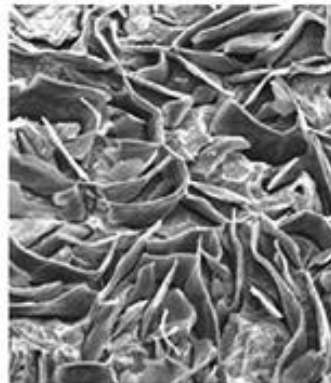
➤ **Perlítico-feritické** – väčšina základu je tvorená perlitom, ferit je hlavne vo forme ostrovčekov, grafit je uložený aj v perlite aj vo ferite (obr.3.51). Je to liatina mäkkšia, menej pevná ako perlitická. Prítomnosť feritu v liatine zmenšuje pnutia a znižuje tak nebezpečie praskania, čo je potrebná napr. u valcov, kokíl.

➤ **Feritické** – všetok uhlík je vylúčený vo forme hrubých lupienkov grafitu. Vzniká pri pomalom ochladzovaní alebo vysokom obsahu grafitizačných prísad (hlavne Si). Liatiny tohto

druhu sú mäkké, málo pevné a preto málo používané. Majú však najlepšie tlmiace vlastnosti. Liatiny s lupienkovým grafitom sú v prevažnej miere podeutektické zliatiny o základnom chemickom zložení: 2,8 až 3,6 %C, 1,7 až 2,4 %Si, 0,5 až 1,0 %Mn, 0,2 až 0,5 %P, max. 0,15 %S a prípadne s ďalšími legujúcimi prvkami (Cr, Cu, Mo, Ni, a iné).



a)



b)

Obr. 3.50 Mikroštruktúra perlitickej liatiny s lupienkovým grafitom, zv. 100 x

Obr. 3.51 Mikroštruktúra perliticko feritickej liatiny s lupienkovým grafitom, zv. 100 x

V tabuľke 3.28 sú uvedené vlastnosti liatin s lupienkovým grafitom. Príklady použitia liatin s lupienkovým grafitom sú uvedené v tab.3.29.

Tabuľka 3.28 Mechanické vlastnosti liatin s lupienkovým grafitom

značkou podľa STN EN	Označenie liatiny číselne podľa STN		R _m [MPa]	Tvrdosť HBS 30 min. max.		Štruktúra matrice
EN-GJL-100	EN-JL1010	42 2410	100 - 200			ferit + (perlit)
EN-GJL-HB155	EN-JL2010				155	
EN-GJL-150	EN-JL1020	42 2415	150 - 250			ferit + (perlit)
EN-GJL-HB175	EN-JL2020			100	175	
EN-GJL-200	EN-JL1030	42 2420	200 - 300			perlit + ferit
EN-GJL-HB195	EN-JL2030			120	195	
EN-GJL-250	EN-JL1040	42 2425	250 - 350			perlit + (ferit)
EN-GJL-HB215	EN-JL2040			145	215	
EN-GJL-300	EN-JL1050	42 2430	300 - 400			perlit
EN-GJL-HB235	EN-JL2050			165	235	
EN-GJL-350	EN-JL1060	42 2435	300 - 400			perlit
EN-GJL-HB255	EN-JL2060			185	255	

Tabuľka 3.29 Príklady použitia liatin s lupienkovým grafitom

Označenie liatiny	Hrúbka steny [mm]	Použitie odliatku
EN-GJL-100 42 2410	4 – 15	časti pecí, skrine rozvádzačov, sanitárne a smaltované výrobky

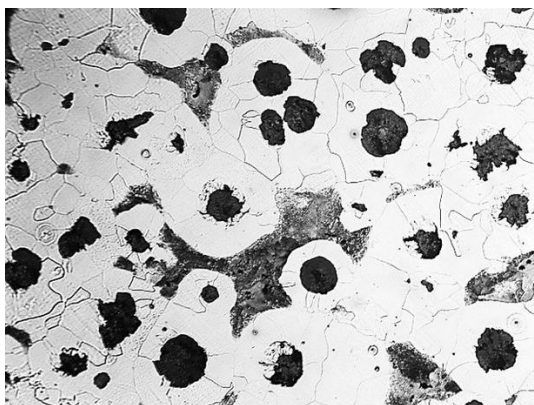
EN-GJL-150 42 2415	5 – 30	na vodovodné tvarovky, smaltované výrobky, súčasti textilných a poľnohospodárskych strojov, časti motorov, veká, remenice
EN-GJL-200 42 2420	8 – 45	na strojné odliatky, armatúry, časti motorov, turbín, piestových strojov, valce kompresorov a motorov
EN-GJL-250 42 2425	15 – 70	valce motorov, súčasti turbín, ozubené kolesa, značne namáhané strojné súčasti, stojany obrábacích strojov
EN-GJL-300 42 2430	25 – 100	značne namáhané strojné odliatky, stojany ťažkých obrábacích strojov, špeciálne odliatky, armatúry
EN-GJL-350 42 2435	40 – 150 a viac	ťažké, vysoko namáhané odliatky jednoduchých tvarov, stojany ťažkých obrábacích strojov, telesa čerpadiel

3.4.2.2 Liatina s guľôčkovým grafitom STN EN 1563

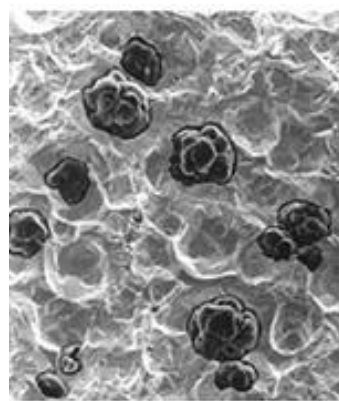
Liatina s guľôčkovým grafitom (tvárna liatina) má uhlík prítomný prevažne v tvare častíc guľôčkového (globulárneho) grafitu. V porovnaní s liatinou s lupienkovým grafitom má výrazne lepšie mechanické vlastnosti, podstatne vyššiu pevnosť, ale tiež aj vysokú ťažnosť a húževnatosť. Chemické zloženie liatin s guľôčkovým grafitom odpovedá väčšinou eutektickej koncentrácií a pohybuje sa v týchto hodnotách: 3,2 až 4,0 %C, 1,8 až 3,0 %Si, 0,2 až 0,8 %Mn, max. 0,1 %P, max. 0,05 %S, 0,04 až 0,08 %Mg. Guľôčkový tvar sa dosahuje pridaním takej látky do tekutého kovu pred odliatím, ktorá ovplyvňuje rast zárodkov grafitu. Táto technologická operácia sa nazýva modifikovanie. Ako modifikátor sa používa horčík, v súčasnosti najčastejšie vo forme zliatin Fe-Si-Mg (3-10 %Mg).

Liatina s feritickou matricou (obr.3.52) sa vyznačuje relatívne vysokými deformačnými charakteristikami (ťažnosť až 25 %), húževnatosťou a dobrou obrobitelnosťou. Feritická štruktúra sa docieľuje zvýšeným obsahom kremíka, pri nízkom obsahu mangánu (pod 0,4 %). Vyššie pevnosti dosahujú liatiny s perlitickou matricou (obr.3.53). Tvorbu perlitu podporujú prísady Mn (nad 0,4 %) a najmä Cu.

Liatina s guľôčkovým grafitom je vysoko akostný materiál, ktorý spája prednosti ocele na odliatky s prednosťami liatiny s lupienkovým grafitom. Hodnoty medze klzu a ťažnosti spojené s vysokou pevnosťou v ťahu sú porovnateľné s oceľou, tab.3.30. Zachováva si v značnej miere mnohé vlastnosti liatiny s lupienkovým grafitom - väčšiu schopnosť útlmu, menšiu vrubovú citlivosť, lepšiu zlievateľnosť, trecie vlastnosti a mimoriadne dobrú obrobitelnosť.



Obr.3.52 Mikroštruktúra feritickej liatiny s guľôčkovým grafitom, 100 x



Obr.3.53 Mikroštruktúra tvárnej liatiny

Tabuľka 3.30 Mechanické vlastnosti liatin s grafitom guľôčkovým

Označenie liatiny			R_m	$R_{p0,2}$	Ťažnosť	Štruktúra
značkou	číselne		(min.)	(min.)	(min.)	matrice
	podľa STN EN	podľa STN	[MPa]	[MPa]	[%]	
EN-GJS-350-22	EN-JS1010		350	220	22	ferit
EN-GJS-400-18-LT	EN-JS1025	42 2314	400	240	18	ferit
EN-GJS-400-18	EN-JS1020	42 2303	400	250	18	ferit
EN-GJS-450-10	EN-JS1040		450	310	10	F + P
EN-GJS-500-7	EN-JS1050	42 2305	500	320	7	F + P
EN-GJS-600-3	EN-JS1060	42 2306	600	370	3	F + P
EN-GJS-700-2	EN-JS1070	42 2307	700	420	2	perlit
EN-GJS-800-2	EN-JS1080	42 2308	800	480	2	perlit
EN-GJS-900-2	EN-JS1090		900	600	2	perlit

LT – liatina na odliatky pracujúca pri nižších teplotách

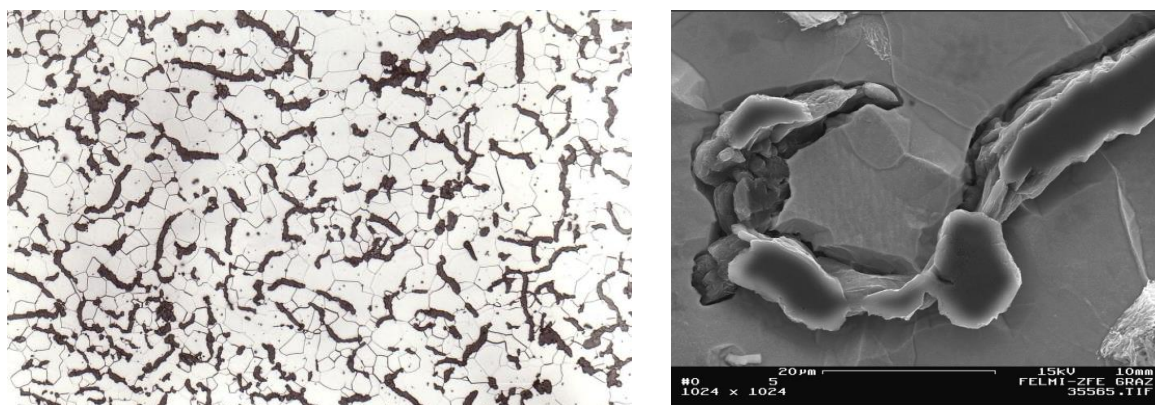
Príklady použitia týchto liatin: prevodové a ložiskové skrine, súčiastky cestných vozidiel a poľnohospodárskych strojov, telesa armatúr, súčiastky namáhané mechanicky a oterom ako sú kľukové a vačkové hriadele, ozubené kolesa, valce, piesty, piestne krúžky, brzdové bubny, obežné a rozvážacie kolesa čerpadiel a pod.

3.4.2.3 Liatina s červíkovitým (vermikulárnym) grafitom

Liatina s vermikulárnym grafitom má červíkovitu podobu grafitu, obr.3.53. Tavenina sa spracuje buď modifikačnou prísadou, vyvolávajúcou vznik guľôčkového grafitu, iba v takom množstve, ktoré nie je dostatočné pre jeho úplné vytvorenie, alebo sa do liatiny pridá počas modifikácie horčíkom prvok, ktorý bráni vzniku guľôčkového grafitu, napr. titan. Najjednoduchšou metódou je pridanie kovu vzácnych zemín (v podobe zmesného kovu). Liatina s vermikulárnym grafitom má lepšie pevnostné vlastnosti a mierne vyššiu tepelnú vodivosť v porovnaní s liatinami s lupienkovým grafitom. Preto sú liatiny s červíkovitým

tvarom grafitu vhodné pre tepelne namáhané odliatky, ako sú oceliarenské kokily, bloky valcov, hlavy valcov a časti brzd vozidiel.

Nelegovaná liatina s vermikulárnym grafitom má v liatom stave prevažne feritickú základnú štruktúru s nasledujúcimi mechanickými vlastnosťami; pevnosť $R_m = 320 - 380$ MPa, medza klzu $R_{p0.2} = 260$ do 300 MPa, ťažnosť od 3 do 8 % a tvrdosť $135 - 170$ HBS. Liatina s prevažne perlitickou maticou má pevnosť minimálne 400 MPa, pri ťažnosti $1 - 2$ % a tvrdosť 190 až 280 HBS.



Obr.3.53 Feriticko-perlitická liatina s červikovitým grafitom, 200 x

3.4.2.4 Liatina s vločkovým grafitom – temperovaná liatina STN EN 1562

Liatina s vločkovým grafitom sa získava z bielej liatiny. Celý uhlík je viazaný vo forme karbidu železa Fe_3C . Svoje charakteristické vlastnosti (dobrú húževnatosť a obrobiteľnosť) získava následným tepelným spracovaním - temperovaním. To vedie k vylúčeniu temperovaného uhlíka v tvare vločiek, ktorý má kompaktnejší tvar a v základnej kovovej hmote menší vrubový účinok. Z tohto dôvodu sa temperovaná liatina používa prevažne na konštrukčné súčasti, ktoré sú vystavené dynamickému namáhaniu (vibračnému alebo rázovému zaťaženiu) a musia odolávať veľkým silám.

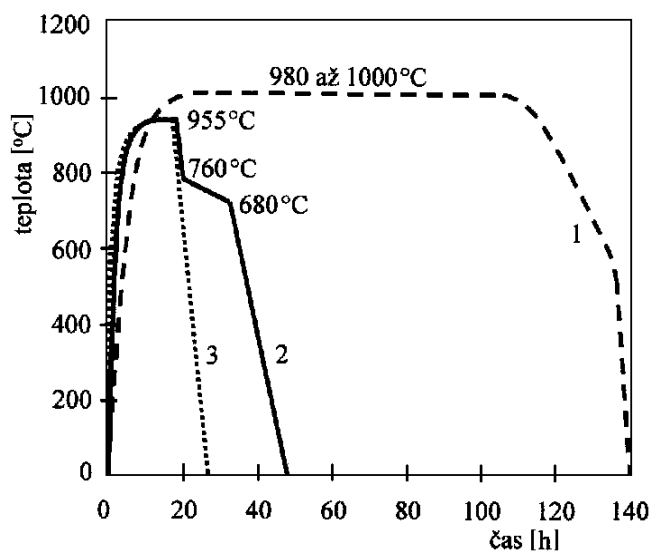
Temperovanie spočíva v žíhaní (dlhotrvajúci ohrev pri teplotách $950 - 1050^{\circ}C$ po dobu cca 100 hodín) odliatkov z bielej liatiny za účelom rozloženia eutektických karbidov v ledeburite na voľný temperovaný grafit. Rozlišujeme v podstate dva postupy a to temperovanie v oduhličujúcom a neoduhličujúcom prostredí, ktorými vznikajú určité rozdiely vo výslednej štruktúre. Oba druhy liatin sa líšia hlavne svojím chemickým zložením, v prvom rade rozdielnym obsahom uhlíka a kremíka:

1. *Temperovaná liatina s bielym lomom* má nasledujúce orientačné zloženie: $3,0 - 3,4$ %C, $0,8 - 0,4$ %Si, $0,40 - 0,60$ %Mn, max. $0,1$ %P a $0,12 - 0,25$ %S (obr.3.55a).

Temperovací proces prebieha v peci s oduhličujúcou automaticky riadenou oxidačnou atmosférou pri teplote $1050^{\circ}C$. Pritom prebieha proces grafitizácie a

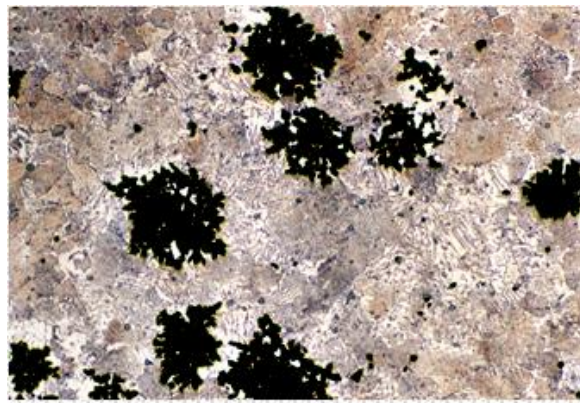
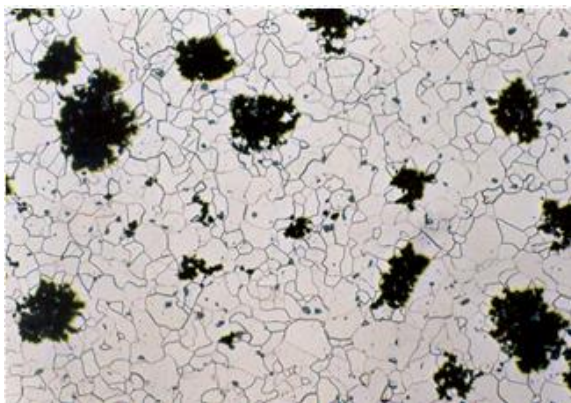
oduhlčovanie povrchu odliatku. Ochladením liatiny po temperovaní na miestach, kde je austenit ochudobnený o uhlík, nastáva jeho prekryštalizácia na ferit. Vo vnútorných menej oduhlčených vrstvách vzniká zmes feritu a perlitu. Vnútro odliatku po ochladení bude tvoriť perlit a grafit, ktorý má pavúčkovitý tvar. Temperovanie na biely lom je zastarané pre zdĺhavosť a nákladnosť. Využíva sa najčastejšie pri tenkostenných odliatkoch s hrúbkou steny do 6 mm.

Temperovaná liatina s čiernym lomom obsahuje asi 2,3 - 2,6 %C, 1,2 - 1,5 %Si, 0,40 - 0,50 %Mn, max. 0,1 %P a 0,10 až 0,15 %S. Tepelné spracovanie temperovanej liatiny s



Obr.3.54 Diagramy temperovania
Temperovaná liatina: 1- s bielym lomom, 2 – s čiernym lomom, 3 – temperovaná perlitická liatina

čiernym lomom je dvojstupňové (obr.3.54 a 3.55b); v prvom tzv. grafitizačnom stupni sa pri teplotách cca 950°C rozpadá ledeburitický cementit podľa rovnice $\text{Fe}_3\text{C} \rightarrow 3\text{Fe} + \text{C}$. Pritom sa všetok uhlík vylučuje v tvare temperovaného grafitu. Tento proces prebieha v neutrálnej atmosfére pece. V nasledujúcom druhom stupni sa žiňaním získa požadovaná štruktúra základnej kovovej hmoty, a tak získame odpovedajúci druh liatiny. Druhým stupňom žiňania môžeme získať feritickú alebo perlitickú štruktúru, ale tiež štruktúru zošľachteného stavu.



Obr.3.55 Temperovaná liatina s a) bielym a b) čiernym lomom

Zošľachtovaním je možné získať temperované liatiny s vysokými pevnostnými parametrami. Z nízkolegovaných zošľachtených temperovaných liatin so sorbitickou štruktúrou sa vyrábajú aj dynamicky namáhané strojné súčiastky (napr. ojnice spaľovacích

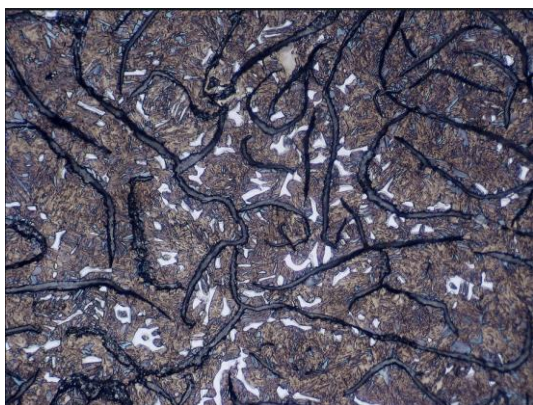
motorov). Príklady použitia niektorých druhov temperovaných liatin s bielym aj čiernym lomom sú uvedené v tab.3.31.

Tabuľka 3.31 Príklady použitia niektorých druhov temperovaných liatin

Označenie liatiny	Hrúbka steny odliatku [mm]	Použitie odliatkov
EN-GJMW-350-4 (STN 42 2536)	3 – 30	na odliatky pre nápravy, tkáčske stavy, kompresory, odliatky prstov žacích strojov, strmene, kľúče k zámkom a pod.
EN-GJMW-450-5 (STN 42 2540)	3 – 30	na odliatky pre motocykle a automobily, odliatky fitinkov, pre statický namáhané odliatky
– (STN 42 2532)	3 – 30	na odliatky pre textilné, poľnohospodárske a obrábacie stroje, zdvíhaky, Ewartové reťaze, vagóny, traktory, armatúry
EN-GJMW-450-6 (STN 42 2545)	3 – 30	na odliatky úpiniek, konzoly Dieselových motorov, odliatky prevodových skriň poľnohospodárskych strojov
EN-GJMW-550-4 (STN 42 2555)	3 – 30	odliatky piestov Dieselových motorov, vahadiel, kľukových hriadeľov

3.4.3 Tvrdená liatina

Tvrdená liatina je druhom liateho materiálu, u ktorého je plne zvládnutý proces kryštalizácie za zvláštnych podmienok ochladzovania (obr.3.56). Cieľom je dosiahnuť na povrchu odliatku takú rýchlosť ochladzovania, aby bola plne potlačená tvorba grafitového eutektika a vytvorila sa za veľkého podchladenia vrstva bielej liatiny s metastabilným ledeburitom.



Obr.3.56 Mikrostruktúra tvrdenej liatiny

Rýchle ochladzovanie vonkajších plôch odliatku sa dosahuje odievaním do kovových foriem - kokíl alebo sa do liacej formy vložia kovové chladítka. Povrchová tvrdená vrstva, tvorená cementitom a perlitom, má vysokú tvrdosť a odolnosť proti opotrebeniu. Jadro je mäkkšie a zvlášť u liatin s guľôčkovým grafitom i húževnatejšie. Tieto druhy liatin sa používajú hlavne na výrobu liatych hladkých aj profilovaných valcov pre valcovacie stolice, prievlakových dosiek, na vačkové hriadele s tvrdenou povrchovou časťou vačiek a čapov, na zdvíhátka ventilov spaľovacích motorov a pod.

3.4.4 Legované druhy liatin

Legujúce prvky sa pridávajú za účelom zlepšenia mechanických vlastností liatin, t.j. získania optimálnej kombinácie pevnosti a húževnatosti, bez použitia tepelného spracovania. Druhým cieľom legovania je dosiahnutie výhodnejších technologických, chemických a fyzikálnych vlastností. Pridávaním legujúcich prvkov sa zlepšujú nasledujúce vlastnosti liatin:

- a) *mechanicko-technologické vlastnosti* ako pevnosť, tvrdosť, húževnatosť, odolnosť proti opotrebeniu, prekaliteľnosť, obrobiteľnosť, za použitia prísad Cr, Mo, Ni, Cu,
- b) *vlastnosti za zvýšených teplôt*, t.j. medza pevnosti pri tečení, žiaruvzdornosť, objemová stálosť, štruktúrna odolnosť (Si, Al, Mo, Cr, Ni),
- c) *korozivzdornosť* v neutrálnom, kyslom, alebo zásaditom prostredí (Cr, Si, Ni, Cu).

Podľa dominantnej prísady delíme legované liatiny do štyroch základných skupín:

➤ **Liatiny legované hliníkom.** Rozsah legovania sa pohybuje od 1 do 30 %Al. Podľa zloženia má materiál veľmi rozdielne vlastnosti. Prakticky sa používajú len liatiny s relatívne nízkym alebo veľmi vysokým obsahom Al (1 až 9 %Al alebo 20 až 25 %Al), pretože druhy obsahujúce Al v rozmedzí 10 až 16 % sú veľmi krehké. Liatiny s 2 %Al sa používajú na odliatky výfukov a výfukových vedení dieselmotorov, so 4 %Al a 1 %Cr napr. na rošty koksárenských ohnísk a liatina so 4 %Al a 2 %Cr na zariadenia pre rafináciu síry. Vysokolegované liatiny s 22 %Al a 2 %B sa používajú na žiaruvzdorné odliatky s vysokou pevnosťou za tepla (350 MPa pri teplote 760°C).

➤ **Liatiny legované kremíkom.** Bežne sa používajú liatiny s lupienkovým aj guľôčkovým grafitom s obsahom kremíku do 20 %. Liatiny so 4 až 7 %Si sú žiaruvzdorné až do teploty 850°C. Pre zvýšenie žiaruvzdornosti sa ďalej legujú prísadou chrómu. Používajú sa napr. na rošty, výstelky a veka pecí, cementačné nádoby a pod.

➤ **Liatiny legované chrómom.** Obsah chrómu sa v liatinách pohybuje od 8 do 35 %. Liatina legovaná chrómom je materiál s vysokou odolnosťou proti korózii, opotrebeniu a žiaruvzdornosťou až do vysokých teplôt. Vysoká korozivzdornosť tohto materiálu je založená na pasivačnom účinku prísady chrómu - minimálne 12 až 14 %. Žiaruvzdornosť sa progresívne zvyšuje s rastúcim obsahom chrómu. Zatiaľ čo u nelegovanej bielej liatiny sa hranica vzniku okovín pohybuje medzi 600 a 700°C, u liatin s 30 %Cr nedochádza k ich vzniku ani pri teplotách nad 1200°C.

➤ **Liatiny legované niklom.** Prísada niklu v liatinách zlepšuje pevnosť, zvyšuje odolnosť proti korózii, žiaruvzdornosť aj odolnosť proti opotrebeniu. Podľa obsahu niklu rozlišujeme dve skupiny týchto liatin; biele liatiny s obsahom niklu do 6 % známe ako „Ni-hard“, druhá skupina zahŕňa grafitické liatiny s obsahom Ni 13 až 35 % s austenitickou základnou kovovou hmotou (označenie „Ni-resist“). Niklové liatiny s austenitickou základnou kovovou hmotou vykazujú korozivzdornosť predovšetkým voči zásadám, zriedeným kyselinám, morskej vode a soľným roztokom, vyznačujú sa vyššou odolnosťou proti erózii, žiaruvzdornosťou a odolnosťou proti tepelným rázom.