

**VŠB – TU OSTRAVA, Fakulta bezpečnostního inženýrství**



## **Stroje a zařízení**

**Kapitoly: 3. Železo  
4. Oceli**

Ing. Ladislav Meluzin

## Obsah

3	Železo a jeho slitiny .....	2
3.1	Úvod .....	2
3.2	Železo a technické železo.....	2
3.3	Železo a jeho slitiny ( technické železo ).....	5
4	Oceli .....	16
4.1	Oceli uhlíkové .....	16
4.2	Rozdělení a označování ocelí a litin.....	23

### 3. Železo a jeho slitiny

#### 3.1 Úvod

Pro výrobu strojů a zařízení se používá velké množství nejrůznějších materiálů. Jejich znalost vyžaduje dlouhé řady let praxe, která vychází z celého historického vývoje tohoto oboru. Na úloze materiálů v lidské společnosti lze pozorovat její vývoj od nejstarších období. Tehdy člověk používal jako materiál na výrobu náradí a zbraní pouze přírodní hmoty, které nalézal ve svém bezprostředním okolí: kámen, dřevo, rostlinná vlákna a hmoty, které získal ze zabitých zvířat, tj. kostí, kůže, zuby, rohy a šlachy a zpracovával je sám pro sebe. Teprve později docházelo k dělbě práce, ke vzniku řemesel a obchodu i k rozvoji výroby kovů a jejich zpracování, nejdříve bronzu pak železa.

Vývojové etapy lidstva mají názvy podle, v té době, hlavního používaného materiálu. Známe dobu kamennou, dobu bronzovou a dobu železnou, vrcholící v 19. století.

Rozvoj technických věd a výroby byl a je limitován materiálem a technologiemi jeho zpracování, které mají konstruktéři jednotlivých oborů k dispozici. Zatímco ještě v polovině 20. století byla tvorba nových materiálů záležitostí metalurgů, dnes se na ní podílejí fyzici, chemici, strojaři, elektronici a další specialisté. Materiály vyvíjené původně pro vojenskou techniku a kosmický výzkum, případně pro sport, pronikají dnes do běžné technické praxe. Hovoří se dnes o „zlatém věku materiálů“ a nové materiály jsou považovány za klíč k inovacím příštího tisíciletí.

V současné době mají inženýři k dispozici desetitisíce různých materiálů, jejichž množství stále roste. Proto je obecná snaha, standardizací a normalizací toto množství snížit. Výběr nejvhodnějšího materiálu je vždy třeba provádět ve vazbě hlavně na užitné vlastnosti výrobku a dostupné výrobní technologie, ale také na cenu výrobku a jeho vliv na životní prostředí.

#### 3.2 Železo a technické železo.

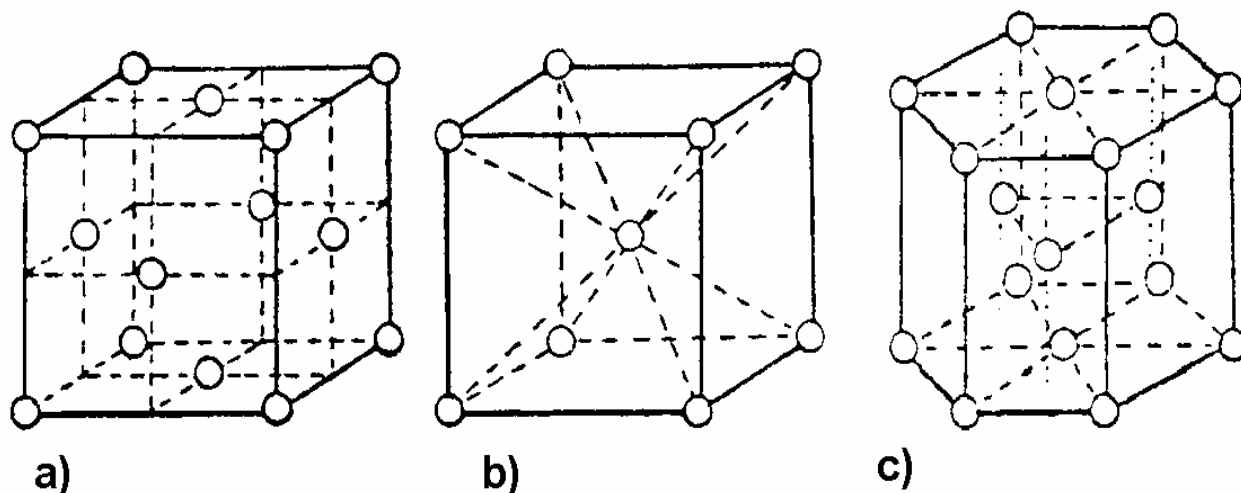
Železo známe jako chemický prvek (Fe), kov a hovoříme o čistém železe. Všechny kovy jsou v tuhém skupenství látky krystalické (kromě rtuti). Kovy krystalizují nejčastěji v soustavě krychlové a šesterečné. Fe krystalizuje v soustavě krychlové.

Základem stavby kovů jsou atomy, tvořené jádrem obklopeným sférou elektronů. Aby atomy kovu mohly vytvořit krystal, musí se spojit do útvaru, ve kterém jsou vnitřními silami drženy v prostoru na daných místech. U kovů se toto spojení nazývá kovová vazba a vzniklý útvar krystalový mřížkový element nebo krystalická mřížka.

Touto problematikou se zabývá metalografie, která zkoumá vnitřní stavbu čili strukturu kovů i jejich slitin a určuje, jak tato struktura souvisí s chemickým složením, teplotou a tepelným a mechanickým zpracováním.

Společným vnějším znakem kovů je vysoká tepelná a elektrická vodivost, poměrně vysoká pevnost, schopnost plastického přetváření vnějšími silami (tvárnost) a kovový lesk (vše vliv kovové vazby).

Kovová mřížka je tvořena mřížkovými elementy opakujícími se v nesmírném množství všemi směry. Na obr. 3.1 jsou nejčastější mřížkové elementy kovů: a) krychlová mřížka plošně středěná, b) krychlová mřížka prostorově středěná, c) šesterečná mřížka.



Obr.3.1

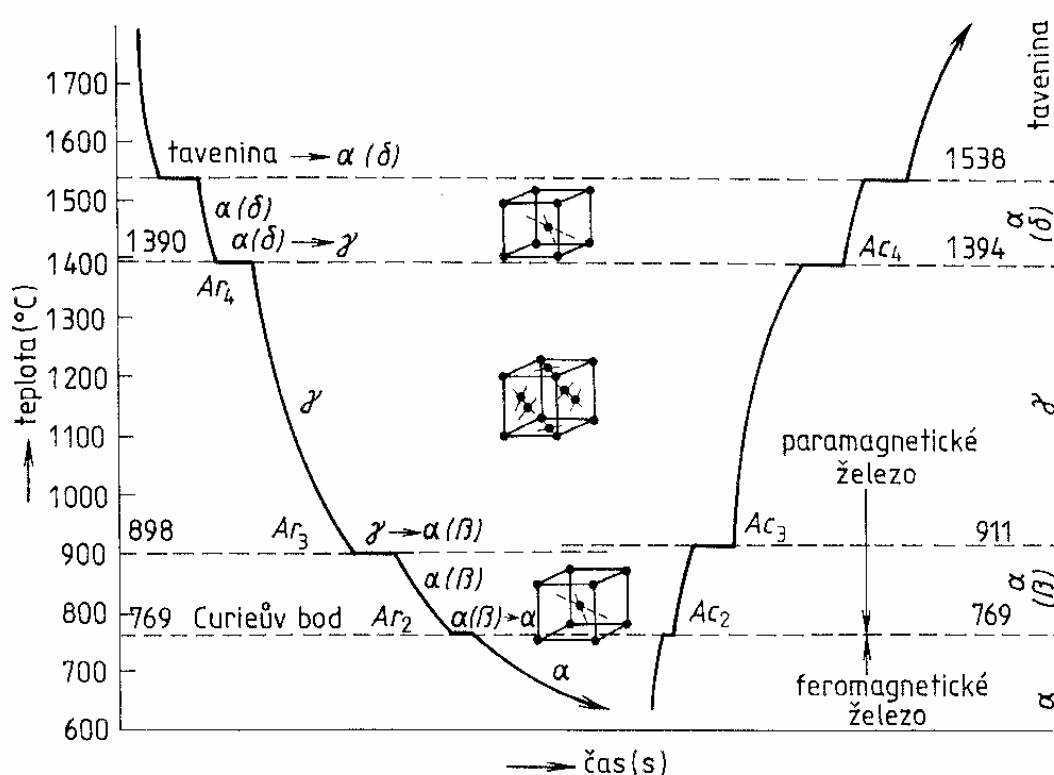
Vzhled krystalické struktury kovů a rozmanitosti krystalického uspořádání slitin lze pozorovat optickým mikroskopem (asi do 1500 násobného zvětšení) nebo elektronovým mikroskopem (do 50 000 násobného zvětšení). Zkušební vzorek je nutno zvláštním způsobem připravit.

Čisté kovy dělíme na nepolymorfni a polymorfni (polymorfie je schopnost látky krystalizovat v různých krystalických elementech).

Čisté železo (Fe) je polymorfni (obr. 3.2). Až do teploty 911 °C má krystalickou strukturu krychlovou, prostorově středěnou (9 atomů), tzv. stabilní modifikaci  $\alpha$ . Za teploty 911 °C se změni krystalická struktura  $\alpha$  v  $\gamma$ , také krychlovou, ale plošně středěnou (14 atomů). Za teploty 1 394 °C vyniká opět krystalická struktura krychlová, prostorově středěná ( $\delta = \alpha$ ). Při teplotě 769 °C ztrácí modifikace železa  $\alpha$  své feromagnetické vlastnosti a tudíž tuto paramagnetickou modifikaci železa  $\alpha$  v rozsahu teplot 769 °C až 911 °C nazýváme železo  $\beta$ .

Železo (Fe) jako polymorfni kov má tedy dvě odlišné modifikace: modifikaci  $\alpha$ , která je stabilní ve dvou teplotních rozsazích, a to, do teploty 911 °C a od 1 394 do 1538 °C, přičemž v tomto rozsahu teplot ji označujeme jako železo  $\delta$ . Obě tyto modifikace jsou od sebe odděleny oblastí modifikace  $\gamma$ . Při ochlazování probíhají stejné přeměny, ale v opačném pořadí, popř. i za rozdílných teplot. Tomuto rozdílu teplot říkáme tepelná hystereze.

Této schopnosti železa, měnit krystalickou mřížku i v tuhém stavu, říkáme překrystalizace.



Obr. 3.2. Křivky chladnutí a ohřevu čistého železa

Tuto schopnost překrystalizace má také tzv. technické železo, což je slitina železa a uhlíku, příp. menšího množství jiných prvků.

Překrystalizace je podstatou tepelného zpracování kovů a jejich slitin, kdy měníme jejich vlastnosti, jen změnou teploty (bez tváření).

Obecně platí, že slitiny kovů mají lepší vlastnosti než čisté kovy.

Aby se dala slitina připravit, je třeba, aby použité kovy byly v tekutém stavu mezi sebou rozpustné.

Ve slitině mohou vzniknout krystaly trojího druhu:

- při tuhnutí vzniknou krystaly čistých kovů,
- při tuhnutí vznikne tzv. tuhý roztok,
- při tuhnutí vzniknou kovové sloučeniny.

Krystaly čistého kovu jsou tvořeny čistým kovem a mají mřížku a vlastnosti tohoto čistého kovu.

Krystaly tuhého roztoku mohou mít rozdílné složení a jsou tvořeny mřížkami základního kovu, v nichž některé atomy jsou nahrazeny atomy druhého, přidaného kovu. U některých tuhých roztoků se může atom přidaného prvku umístit i mezi atomy v mřížce. Bývají to nejčastěji malé atomy vodíku, uhlíku a dusíku.

Třetí druh krystalů, kovové sloučeniny, mají mřížky složené z různých atomů zákonitě uspořádaných. Mohou mít, stejně jako kovy vazbu kovovou, pak mají vlastnosti kovů, nebo mají vazby anorganických nekovových sloučenin a jsou křehké.

Technické železo krystalizuje jako tuhý roztok, což je u všech kovů nejčastější.

### 3.3 Železo a jeho slitiny ( technické železo )

Železo a od něho odvozené slitiny jsou stále nejužívanějším materiálem ve strojírenství. Toto technické železo (slitiny železa) dělíme na dvě skupiny:

- kujné slitiny – o c e l i
- nekujné slitiny – l i t i n y.

Toto dělení technického železa má praktický význam, protože vychází ze způsobu výroby oceli a litiny a zahrnuje podstatný vliv obsahu uhlíku na jeho vlastnosti.

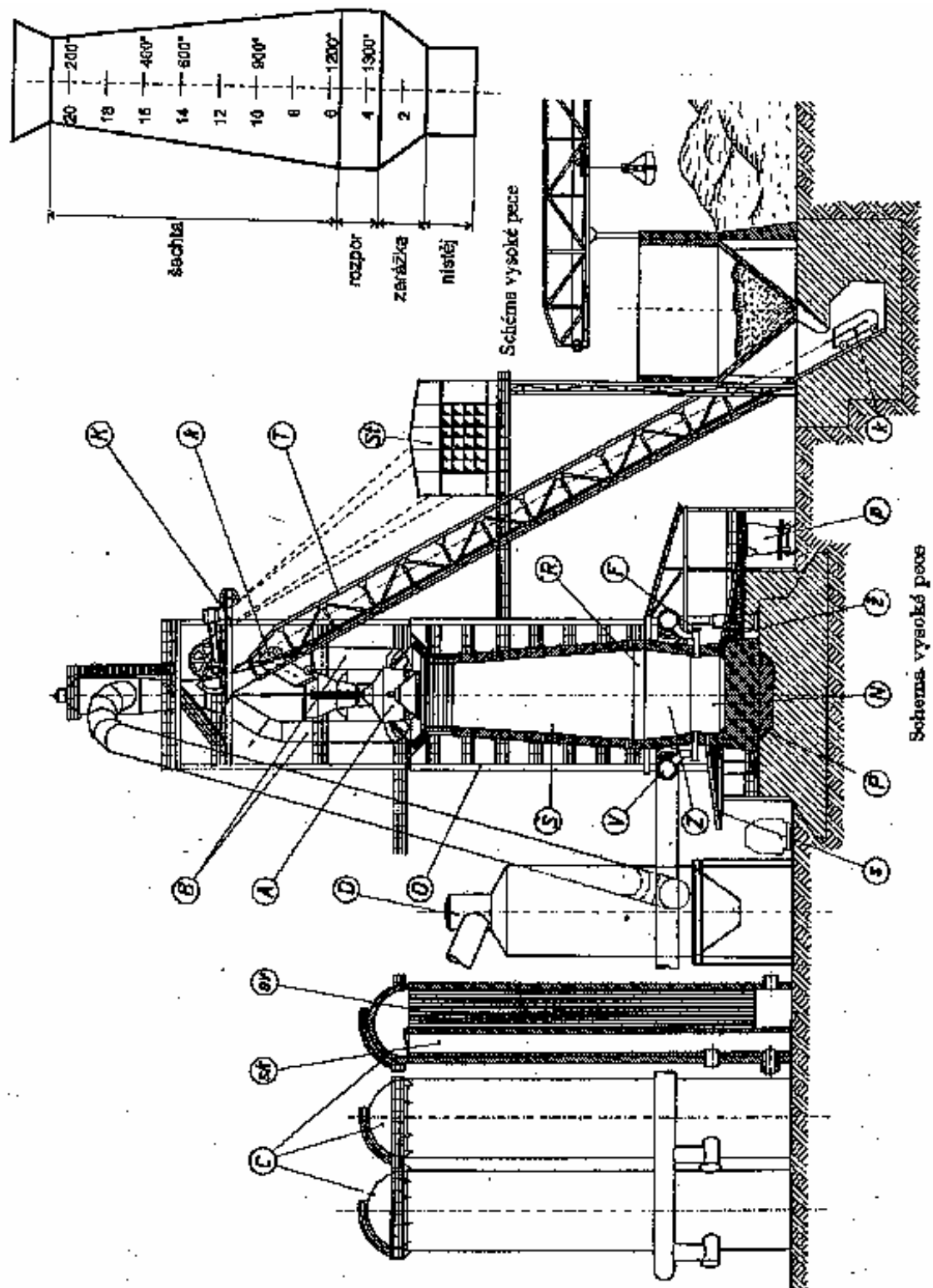
Nejdříve se vyrábí surové železo ve vysoké peci. K výrobě surového železa je třeba rud (kysličníku železa), koksu a vápence. Výroba surového železa z rud je po chemické stránce zdánlivě jednoduchá.

Je třeba vhodnou redukcí uvolnit železo z rudy a to se děje za vysokých teplot ve vysoké peci, což je složitý komplex strojních zařízení (obr. 3.3). Výška peci bývá až 26 až 28m i více. Vsázka vysoké pece, skládající se z rudy, koksu (palivo) a vápence (struskotvorná přísada), dopravuje se na sazebnu (K) a vsazuje se do vysoké pece. Horní část pece šachta (Š) je kuželovitá, neboť vsázka nabývá na objemu. Největší průměr má vysoká pec v rozporu (R), zarážka (Z) v dolní části pece se zužuje, neboť objem vsázky se zmenšuje. Nejspodnější částí pece je podstava (P), v níž je válcovitá nístěj (N).

Plošina sazebny není nesena šachtou, nýbrž samostatnou ocelovou konstrukcí (O). Vysokopecní plyn, odcházející z vysoké pece, je vhodným palivem a je proto nutno zamezit, aby unikl do vzduchu. To se děje závěrem (A), který je dvojitý, složený ze dvou závěrů jednoduchých nad sebou. Otevřením horního kužele závěru (zvonu) klesne zavážka na uzavřený spodní zvon a teprve po uzavření horního zvonu se otevře spodní zvon a spustí zavážku do pece. Zavážka je na sazebnu dopravována šikmým výtahem (T) se samočinným vyklápěním vozíků (k), zvaných skipy o obsahu 4 až 8 tun. Výška zavážky je kontrolována ze strojovny (st) prostřednictvím sondy, která prochází otvorem v závěru a dosedá na povrch zavážky. Celý proces zavážení probíhá samočinně, na sazebně nejsou žádní dělníci. Ze strojovny se kontroluje také teplota a tlak na různých místech, množství vzduchu dmýchaného do pece a j.

Vysokopecní plyn proudí z vysoké pece potrubím (B) do prašníků (D), kde se hrubě čistí. Musí se pak ještě čistit jemně v cyklonech a dočist'ovat ve filtrech nebo elektrostaticky (nejsou na obr.), aby se dal použít pro ohřívání vzduchu v Cowperových ohřivačích (C). Tyto mohou být stejně vysoké jako samotná vysoká pec, mají spalovací komoru (sk), kde se vysokopecní plyn spaluje a zplodiny hoření proudí do vlastního ohřivače vzduchu (ov). Ohřivač se vytápí asi 1 hodinu, pak jím proudí opačným směrem 1 až 1a1/2 hodiny vzduch, který se ohřívá teplem akumulovaným ve zdivu. Pro jednu vysokou pec musí být nejméně dva ohřivače, bývají však tři (jeden v záloze).

Redukce ve vysoké peci se provádí koksem (CO), který je současně palivem. Ke spalování uhlíku koksu je třeba velkého množství kyslíku, který se přivádí do pece dmýháním vzduchu, tzv. větru. Přebytečné prvky a sloučeniny, které neuniknou z vysoké pece v plynném stavu (vysokopecní plyn) je třeba převést v tekutou strusku.



Obr. 3.3. Schéma vysoké pece

Protože hlušina rud nemá takové složení, aby vytvořila strusku nejvhodnějších vlastností, přidávají se do zavážky vysoké pece vhodné struskotvorné přísady (vápenec). Úkolem strusky není však jen převést hlušinu a popel do tekutého stavu, ale struskou se odstraňují ze surového železa i nežádoucí prvky, které by zhoršovaly jeho vlastnosti. Podle

použitých rud a řízení pochodu jsou jimi křemík, fosfor a mangan. Vždy nežádoucí je síra, která se dostává do železa zejména z koksu.

Vypouštění surového železa z vysoké pece, tzv. odpich se provádí po 4 až 6 hodinách. Výpusť železa (ž), která je ucpána žáruvzdornou hmotou se prorazí a surové železo se vypouští do sklopné pánve (p) nebo na tzv. licí pole.

Sklopná pánev, žáruvzdorně vyzděná, opatřená čepy, je uložena na železničním voze a pojme 20 až 75 tun surového železa i více. Z pánví se surové železo přelévá do tzv. misičů, ve kterých se dopravuje do ocelárny.

Surové železo, určené pro přetavení, se odlévá do tzv. licího pole, do tvaru tzv. housek, rozměru asi 1 000 x 100 x 50. Odlévá se buď do písku nebo do litinových forem. Licí pole pojme všechno železo jednoho odpichu. Zchladlé housky jsou magnetickým jeřábem dopraveny do skladiště a licí pole se připraví pro další odpich. Pole jsou dvě, do jednoho se leje, druhé se připravuje. Protože lití housek do písku zabere hodně místa, byly vytvořeny licí stroje z kovových forem, které přicházejí postupně pod proud železa.

Mezi dvěma odpichy se vypouští struska 3 až 4 krát, nejčastěji do pojízdných pánví. Odvážela se buď na haldy, tzv. odval, což vyžaduje velké plochy, neboť poměr surového železa ke strusce je 1:1, nebo k dalšímu použití. Zpracuje se např. na dlažební kameny, na struskový písek a cihly, struskovou vlnu (rozprášením tekutého proudu strusky proudem páry), která slouží jako tepelný izolátor aj.

Složení vyrobeného surového železa závisí hlavně na složení vsázky, na teplotě tavicího pásma a na rychlosti dmýchaného větru. Pro výrobu litin se vyrábějí surová železa slévárenská a pro výrobu oceli surová železa ocelárenská, která se liší svým složením. Ze surového železa slévárenského obsahujícího více křemíku (2 až 4 %) a někdy i fosforu se však nevyrábí přímo odlitky, ale toto železo se nechá zchladnout v housky, které se přetavují v kuplovných sléváren strojírenských závodů. To umožňuje tzv. druhování tj. výrobu různých druhů slévárenských surových želez.

Surové železo slévárenské s vysokým obsahem křemíku má šedé zbarvení lomu, protože se uhlík vylučuje jako grafit. Surové železo s nízkým obsahem křemíku má zbarvení lomu bílé, protože grafit je v něm jako karbid železa  $Fe_3C$ .

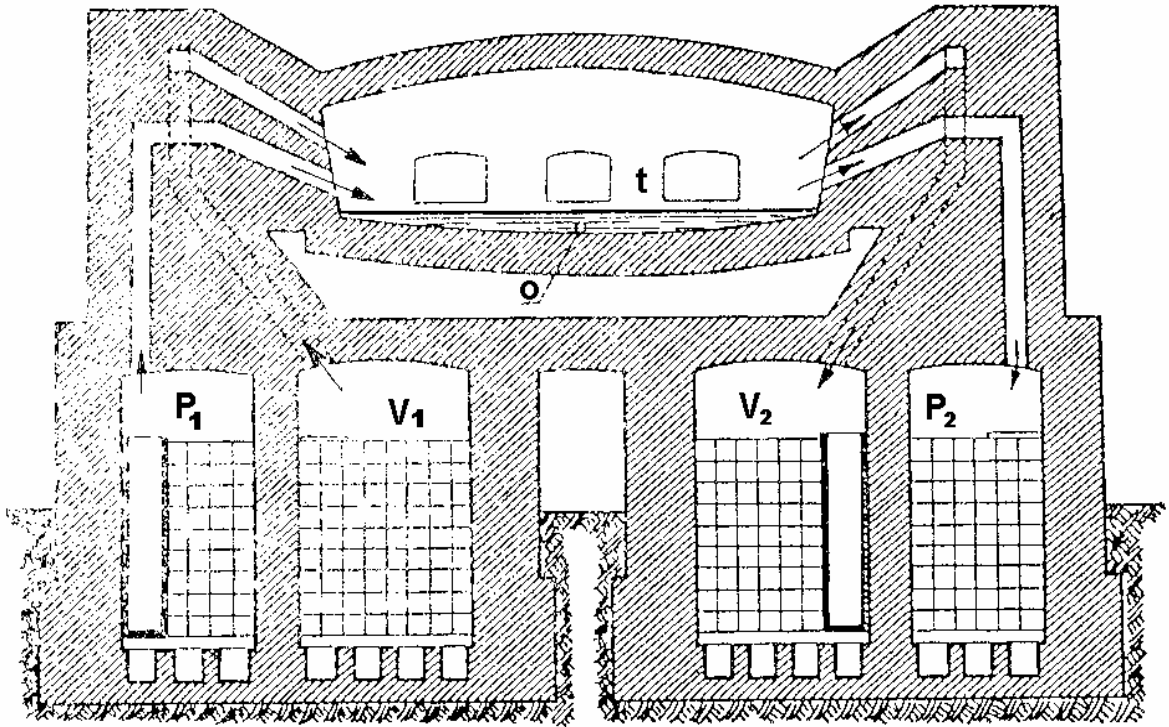
Ve vysoké peci se vyrábí také tzv. feroslitiny, které se využívají v ocelárnách k desoxidaci oceli. Jsou to ferosilicium (10-12% Si), feromangan (60-80% Mn a tzv. zrcadlovina (12-20% Mn).

Aby se vyrobila ze surového železa ocel, musí se surové železo zkujnit tj. musí se snížit obsah uhlíku jeho okysličením. Tyto reakce, při nichž vzniká ze surového železa ocel, se dějí za vysokých teplot, které vznikají buď přímým spalováním některých přísad tekutého surového železa (pochody konvertorové) nebo ohříváním vsázky spalováním plynu či oleje (pochody martinské) nebo případně ohříváním vsázky elektrickým teplem (zkujňování v elektrické peci). Nejčastěji se používá zkujňování v Martinských pecích, případně v konvertorech. Elektrických pecí se používá k výrobě ušlechtilých a slitinových ocelí.

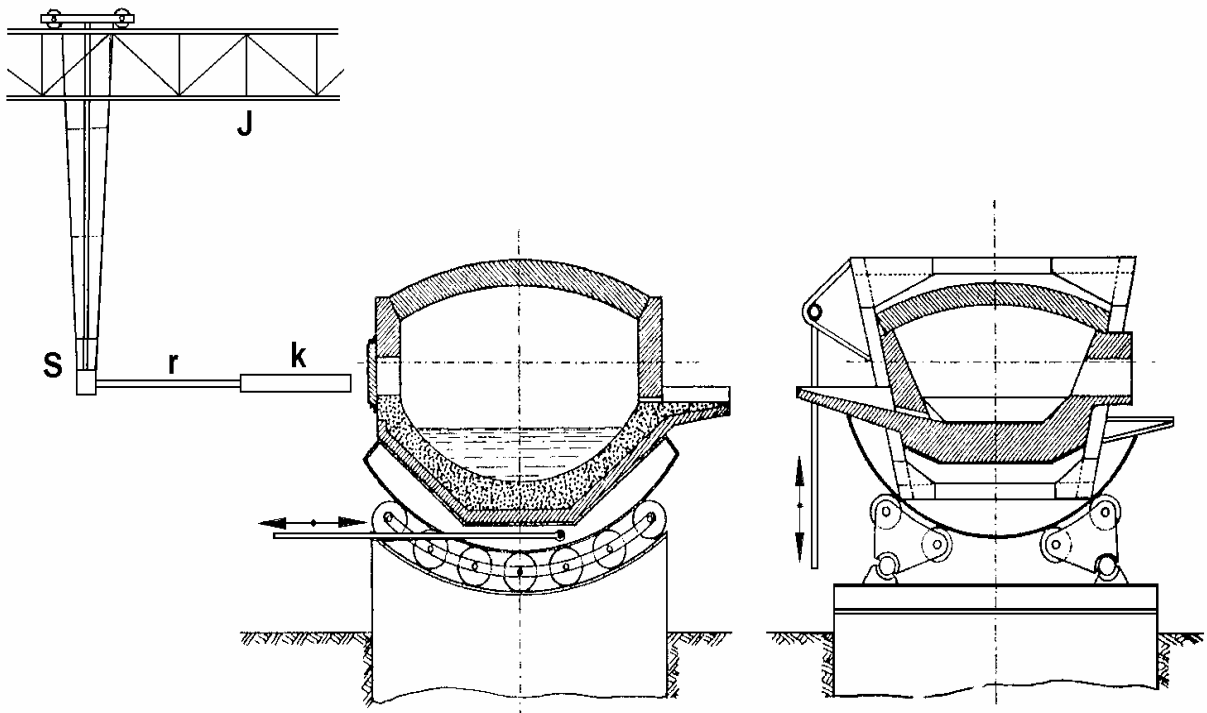
V Martinských pecích lze přetavovat velké množství odpadové oceli (šrotu), což byl největší přínos. Martinská pec (obr. 3.4) je pec nístějová, tj. s plochým dnem vytápěná plynem nebo olejem. Aby se dosáhlo vysoké teploty, musí se plyn a vzduch přehřívat v ko-morách pod pecí, vyzděných šamotovým zdivem. Jsou to tzv. Siemensovy regenerátory tepla (proto také Siemens- Martinská pec). Jedním párem komor ( $V_2$ ,  $P_2$ ) odcházejí žhavé spaliny z pece, druhým párem ( $V_1$ ,  $P_1$ ) každou komorou zvlášť, jde plyn a vzduch do pece. Tavicí prostor (t), velikosti 100 až 500 tun, je v horní části pece. Vyrobená ocel se vypouští otvorem (o). Často se používají slopné pece (obr. 3.5), kde část pece s tavicím prostorem je sklopná kolem podélné osy. Pece se natáčejí hydraulicky nebo elektromotory. Zavážení pecí se provádí sázcími stroji (S) pojíždějícími na mostu jeřábu (J) nebo na kolelnicích před pecemi. Rameno sázcího stroje (r), délky 5 až 6 m, nese korýtko (k), v němž jsou k peci dopravovány



suroviny, tj. surové železo, ocelový odpad, vápno a ruda. Sázečí stroj vsune korýtko skrz okénko do pece a překlápí je. Tekuté surové železo se do pece vlévá z pánve pomocí žlábků.



Obr. 3. 4 Siemens – Martinská pec

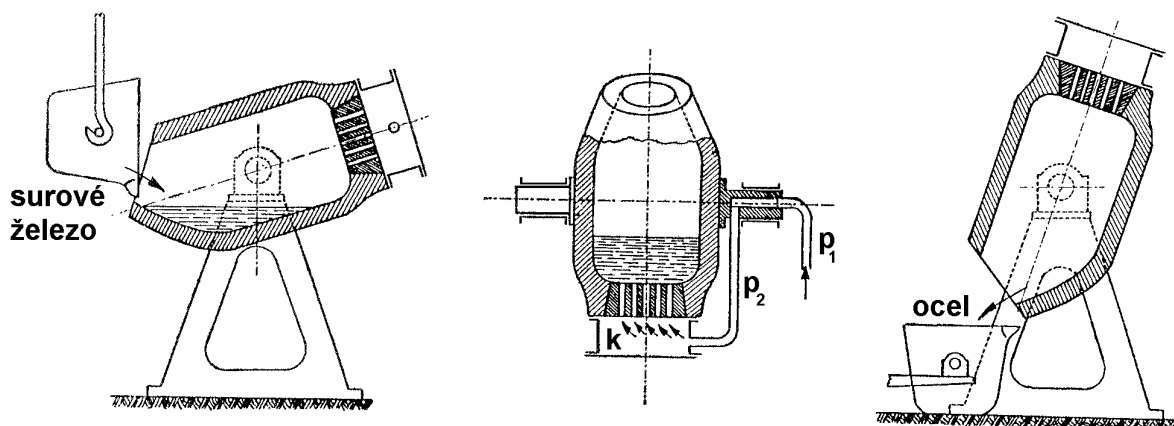


Obr. 3. 5 Sklopné pece

Martinský zkujňovací pochod vyřešil důležitý problém a sice zpracování starého ocelového odpadu na ocel. Odpad, který se předtím hromadil jako nezužitkovatelný, stal se takto velmi cennou ocelářskou surovinou. Martinský pochod se proto velmi rychle rozšířil. Po vyčerpání hlavních zásob ocelového šrotu, přešlo se na pochod se zvýšeným obsahem surového železa ve vsázce a s použitím rudy pro okysličování vsázky. Ruda spolu se šrotem redukuje uhlík ze surového železa a vápno napomůže vytvořit strusku. Tak se vsázka zbaví uhlíku, síry i fosforu. Přesný obsah uhlíku se vyreguluje podle potřeby na konec přidávkem koksu a to tak, že se „stáhne struska“ a vytvoří se struska nová. Tím se sníží obsah síry a fosforu a lze tak vyrobit i ocel velmi jakostní obsahem uhlíku 0,8 až 0,1 %.

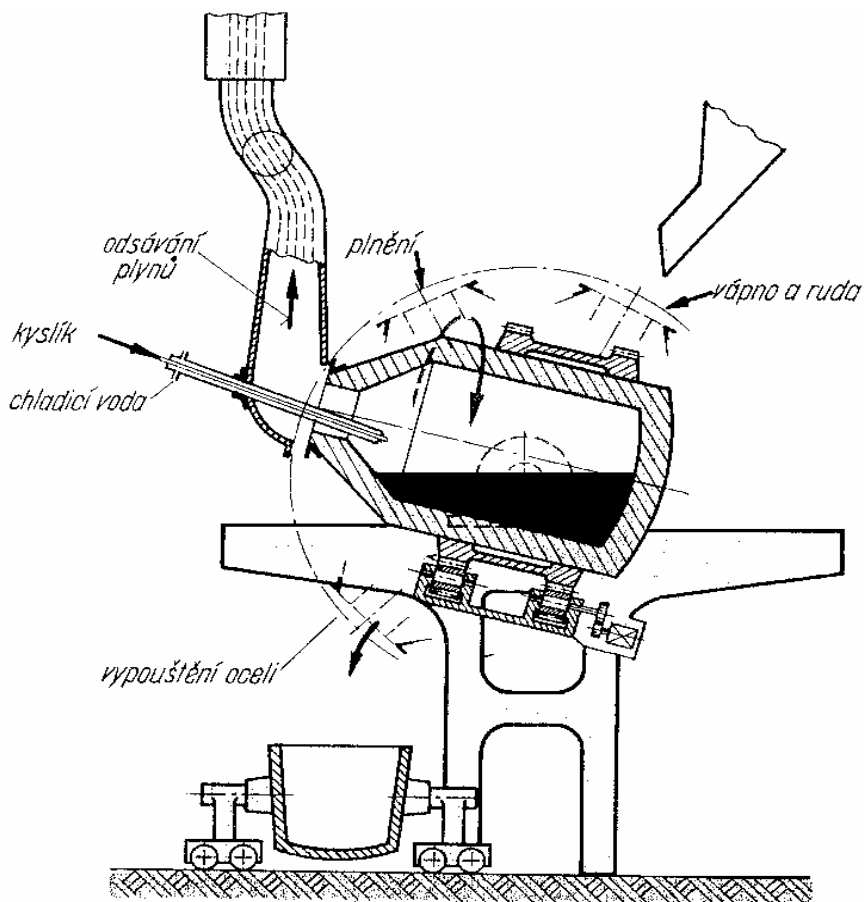
Zkujňování martinským pochodem probíhá velmi pomalu. Jedna tavba trvá 5 až 12 hodin. Tato nevýhoda je vyvážena stavbou velikých martinských pecí. Kovová lázeň po zkujňování obsahuje určité množství  $\text{FeO}$ , který je v oceli rozpuštěn. Jeho vliv na vlastnosti oceli je velmi nepříznivý a proto se odstraňuje po dokončení zkujňovacího pochodu tzv. desoxidací. K ní se používá prvků, jejichž kysličníky jsou v oceli nerozpustné a přejdou tudíž do strusky. Jsou to mangan, v podobě feromanganu a zrcadlovinu a křemík v podobě ferosilicia. Desoxidace oceli se provádí v peci nebo v pánvi, někdy i v kokilách. Úplně desoxidovaná ocel se nazývá uklidněná na rozdíl od oceli neuklidněné, u níž nastává desoxidace až po odlití v kokile. Jako neuklidněná se vyrábí nízkouhlíková ocel (do 0,25% C). Ingot neuklidněné oceli má malou staženinu a velké množství bublin, které se však při válcování svaří. Oceli s vyšším obsahem uhlíku se vyrábějí jen jako oceli uklidněné.

Zkujňovací pochod konvertorový se značně liší od martinského. Je podstatně rychlejší (doba tavby je 20-40 minut), ale vyrobí se menší množství oceli. Zkujňování nastává přímým okysličováním surového železa s přísadami kyslíkem (dříve vzduchem), který proudí celou kovovou lázní, a proto zkujňování probíhá rychle. Zkujňování klasickým způsobem probíhalo v nádobách, tzv. konvertorech (obr. 3.6.a). Ty jsou hruškovitého tvaru, aby při dmýchání vzduchu do tekuté lázně bylo unášeno co nejméně tekutého kovu a jsou otočné asi o  $270^\circ$ . Postup jejich činnosti je patrný z obr. 3.6 a, na kterém není zobrazena první fáze a to ohřev konvertoru asi na  $1000^\circ\text{C}$ . Nejvyšší teplota při zkujňování v konvertoru je až  $1700^\circ\text{C}$ . Kolem konvertoru je kruh s vybíhajícími čepy, které jsou uloženy v ložiskách. Jeden čep je dutý pro přívod vzduchu. Část přírodního potrubí  $p_1$  je pevná, část potrubí  $p_2$  se otáčí s konvertorem. Otáčení konvertoru se provádělo mechanicky (ozubené kolo a hřeben), nověji hydraulicky. Konvertory se stavějí na 30 až 300 tun surového železa, optimální je velikost 100 až 150 tun. I ocel vyrobená v konvertoru se musí desoxidovat, podobně jako ocel martinská.



Obr. 3. 6.a Klasický konvertor pro výrobu oceli

Posléze ( od 50. let min. století ) se začaly používat pro výrobu oceli kyslíkové konvertory ( obr.3.6. b ). Mají stejný tvar i zkujňovací pochod v nich je stejný jako v klasických konvertorech, ale místo vzduchu se do konvertoru dmýchá čistý kyslík a to na hladinu kovu. Konvertor má plné dno a kyslík se do něho dmýchá chlazenou měděnou tryskou pod tlakem 4 až 12 atm. Tryska se z konvertoru vsouvá, při jeho otáčení. Na obr. 3.6 b je tzv. rotační zkujňovací pochod, při kterém se do konvertoru, ještě před nalitím surového železa, dá asi 2/3 potřebného vápna. Zbytek vápna a ruda se dmýchá jako prachové přísady, čímž se zrychlí probíhající reakce a sníží se spotřeba přísad a hlavně kyslíku.



Obr.3.6 b Kyslíkový konvertor

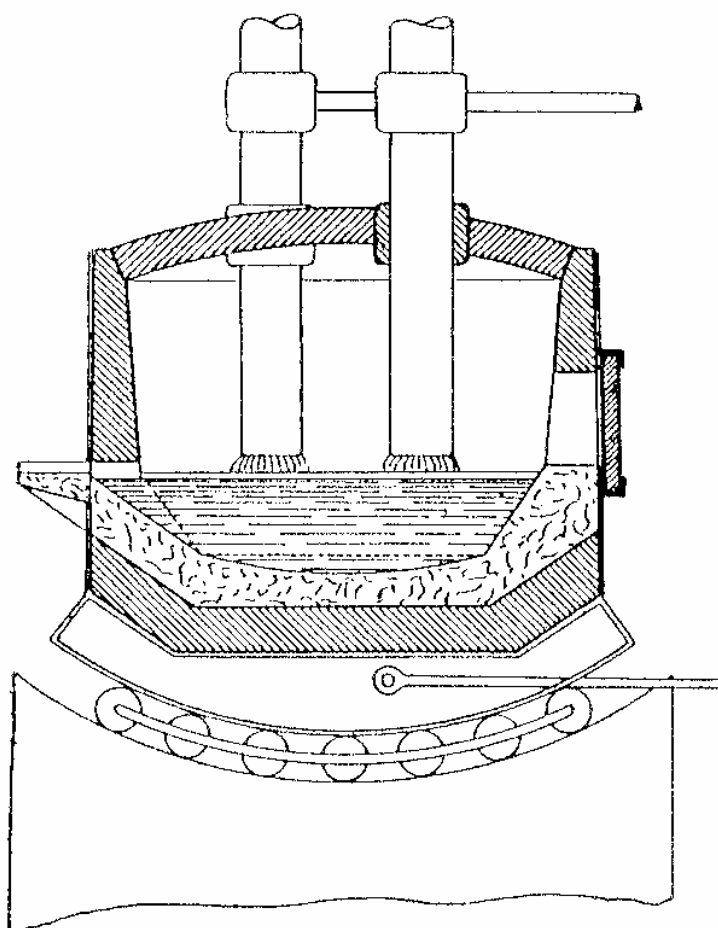
Oceli velmi dobrých vlastností se vyrábí v elektrických pecích. Velmi účinný je tzv. způsob duplexní, kdy se uhlíková ocel zkujňuje v martinské peci, bez přísadových prvků. Pak se ocel vyleje do pánve a z ní do pece elektrické, kde se zkujnění dokončí a provede se legování (přidávají se legující prvky).

Elektrické pece jsou buď obloukové nebo indukční.

Obloukové pece (obr. 3.7) jsou nejčastější. Výhodnější způsob je ten, že oblouk hoří mezi elektrodami a vsázkou. Tak se uplatní, kromě sálavého tepla od elektrod, i teplo vznikající odporem vsázky, kladeným průchodu el.proudu. Transformátor pece (není na obrázku) dostává el. energii z rozvodu vysokého napětí. Teplo je lázni dodáváno z největší části sáláním, neboť teplo získané el. odporem při průchodu proudu lázni vydá velmi málo. Transformované napětí dosahuje 100 až 500 V, podle velikosti pece. Čím je větší napětí, tím

je větší výkon pece, ale i delší oblouk, větší vyzařování tepla a tím i větší ohrožení žáruvzdorné klenby pece. Pece mají obvykle 3 elektrody, sestavené do trojúhelníku. Na elektrody pro tyto pece jsou kladeny vysoké požadavky. Musí odolávat vysokým teplotám, mají mít co nejmenší měrný el. odpor a dostatečnou pevnost i když jsou namáhány jen na ohyb při sklápění pece.

Používají se elektrody uhlíkové nebo grafitové. Grafitováním se změnila struktura uhlíku, získají se grafitové krystalky s lepšími vlastnostmi. Grafitové elektrody mají větší odolnost proti vysokým teplotám a menší měrný el. odpor. Mohou pak mít menší průměry než elektrody uhlíkové. Např. u 10tunové pece je průměr uhlíkových elektrod až 500 mm, u grafitových jen 300 mm. Při výrobě elektrooceli v obloukových pecích je významné používání kyslíku při přetavování odpadu vysokolegovaných ocelí, např. ocelí korozivzdorných. V el. obloukové peci lze snadno dosáhnout vysokých teplot, až nad 1700° C, kdy má uhlík větší afinitu ke kyslíku než chrom. Tímto způsobem je možné snížit obsah uhlíku, který je u těchto ocelí nežádoucí, což bez použití kyslíku nebylo možné. Protože tato spotřeba kyslíku je celkem malá, používá se kyslík z lahví.

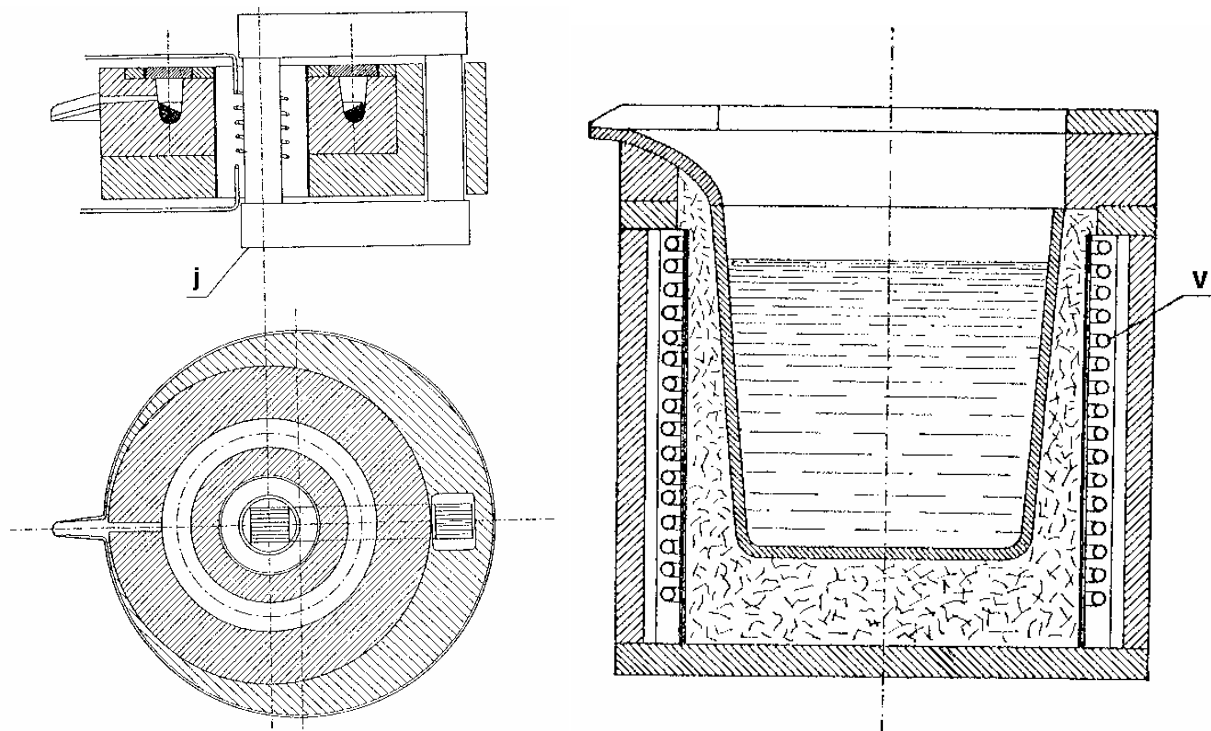


3.7 Oblouková pec

Indukční elektrické pece jsou buď nízkofrekvenční (s jádrem) nebo vysokofrekvenční (bez jádra). Nízkofrekvenční el. pec (obr. 3.8), se skládá ze železného jádra (j), primárního a sekundárního vinutí. Je to podstatě transformátor. Sekundární vinutí je tvořeno lázní, která je v žáruvzdorném kruhovitém kanálku kolem primárního vinutí. Kov je třeba zavážet tekutý, aby vznikl uzavřený sekundární závit. Proto se vsázka taví v martinské peci a v tekutém stavu

se dopravuje do indukční pece. Lázeň v této peci je značně skloněna, asi v úhlu  $20^\circ$ , jak je vidět na obr. 3.8. Tento sklon působí potíže při práci se struskou. Je to jeden z důvodů, proč jsou tyto pece s jádrem méně využívány.

Vysokofrekvenční pece (bez jádra) se používají mnohem častěji, hlavně pro výrobu nejjakostnějších ocelí. Pec (obr. 3. 8) se skládá z tenkostěnného kelímku, ovinutého primárním vinutím (v). Vinutí je tvořeno tlustostěnnou měděnou trubkou, chlazenou vodou a uloženou v žáruvzdorné keramické hmotě. Prochází-li cívkou (v) střídavý proud o vysoké frekvenci (500 až 2000 Hz), vzniká ve vsázce kelímku silné střídavé magnetické pole, a tím i vířivé proudy, jejichž účinkem se vsázka roztaví. Vysokofrekvenční pece jsou výhodné pro přetavování čistého vsázkového kovu (bez fosforu a síry) s velkým množstvím legujících přísad. Vyrábějí se tak slitinové oceli velmi přesného složení. Výhodou těchto pecí jsou malé tepelné ztráty a to, že teplotu lze kontrolovat a regulovat.

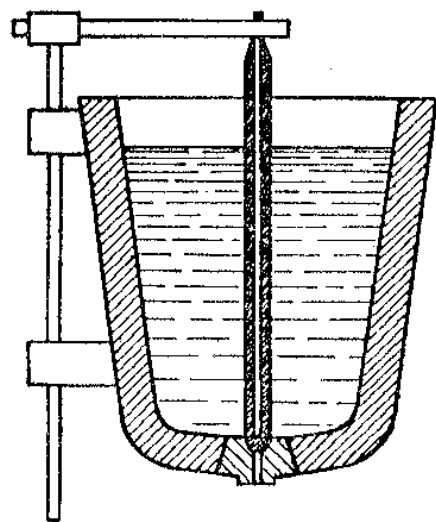


Obr. 3.8 Indukční pece ( vlevo nízko- a vpravo vysokofrekvenční )

Po ukončení zkoušovacího procesu vypouští se ocel i se struskou do licích pánví (obr. 3.9). Licí pánve musí pojmout celou tavbu z pece a je zavěšena na jeřábu. Ocel se vypouští otvorem ve dnu pánve, takže struska na povrchu kovu chrání ocel před rychlým ochlazováním a před okysličováním.

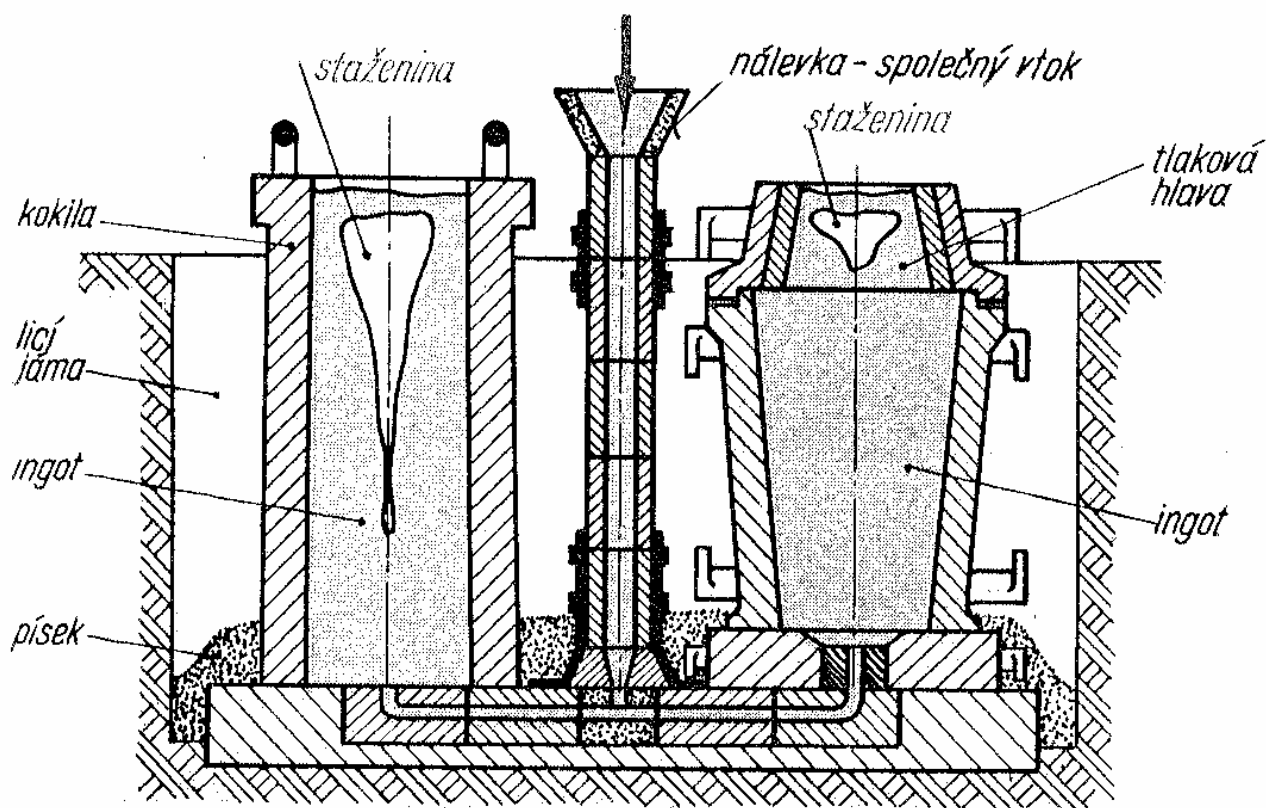
Z licích pánví se ocel odlévá buď do litinových forem, tzv. kokil, ve kterých ztuhne na slitky, zvané ingoty nebo ocel odléváme do slévarenských forem, v nichž tuhne na ocelové odlitky.

Odlévání ingotů je velmi nákladné a vyžaduje mnoho času a práce (příprava kokil, vlastní odlévání). Hmotnost kokily je stejná asi jako ingotu. Průřezy ingotů jsou kruhové, čtvercové, obdélníkové, osmihranné a pod. se zaoblenými hranami. Velké kokily



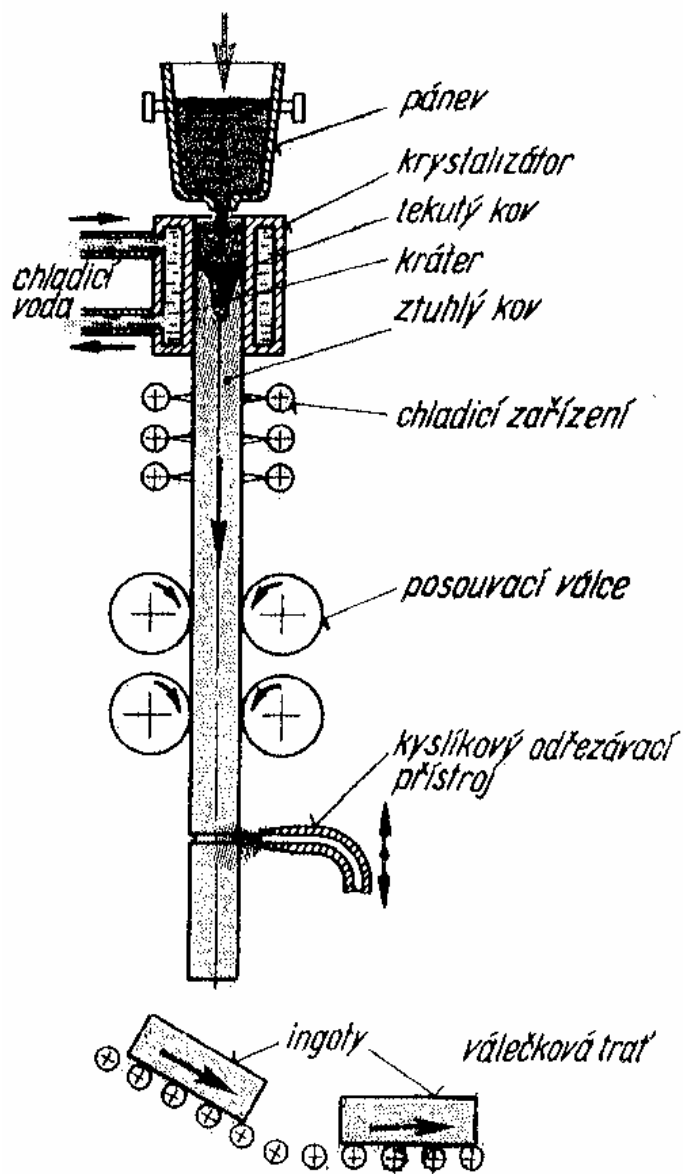
Obr. 3.9 Licí pánve

odléváme vrchem, zpravidla jednotlivě, protože je to jednodušší a levnější. Kokily stojí v licích jamách nebo na speciálních vozech.



Obr. 3.10 Odlévání kokil spodem

Malé a středně velké kokily odléváme hromadně spodem (obr. 3.10), až desítky kokil. Je to nákladnější způsob ( licí soustava je složitější ), ale odlévání je kvalitnější. Hladina oceli v kokile stoupá klidně, nedochází k roztrhování oceli a ocel je uvnitř i na povrchu čistší. V ingotu však vznikají staženiny, které se odstraní použitím tzv. tlakových hlav. Odlévají se tak jakostní oceli. Kokily mají kuželovitý tvar, aby se daly po zchladnutí stáhnout stahovacím jeřábem (tzv. stripování). Horké ingoty se vsazují do hlubinných pecí, kde se vyrovnají teploty a ingoty se ohřejí pro další zpracování ve válcovnách nebo v kovárnách.



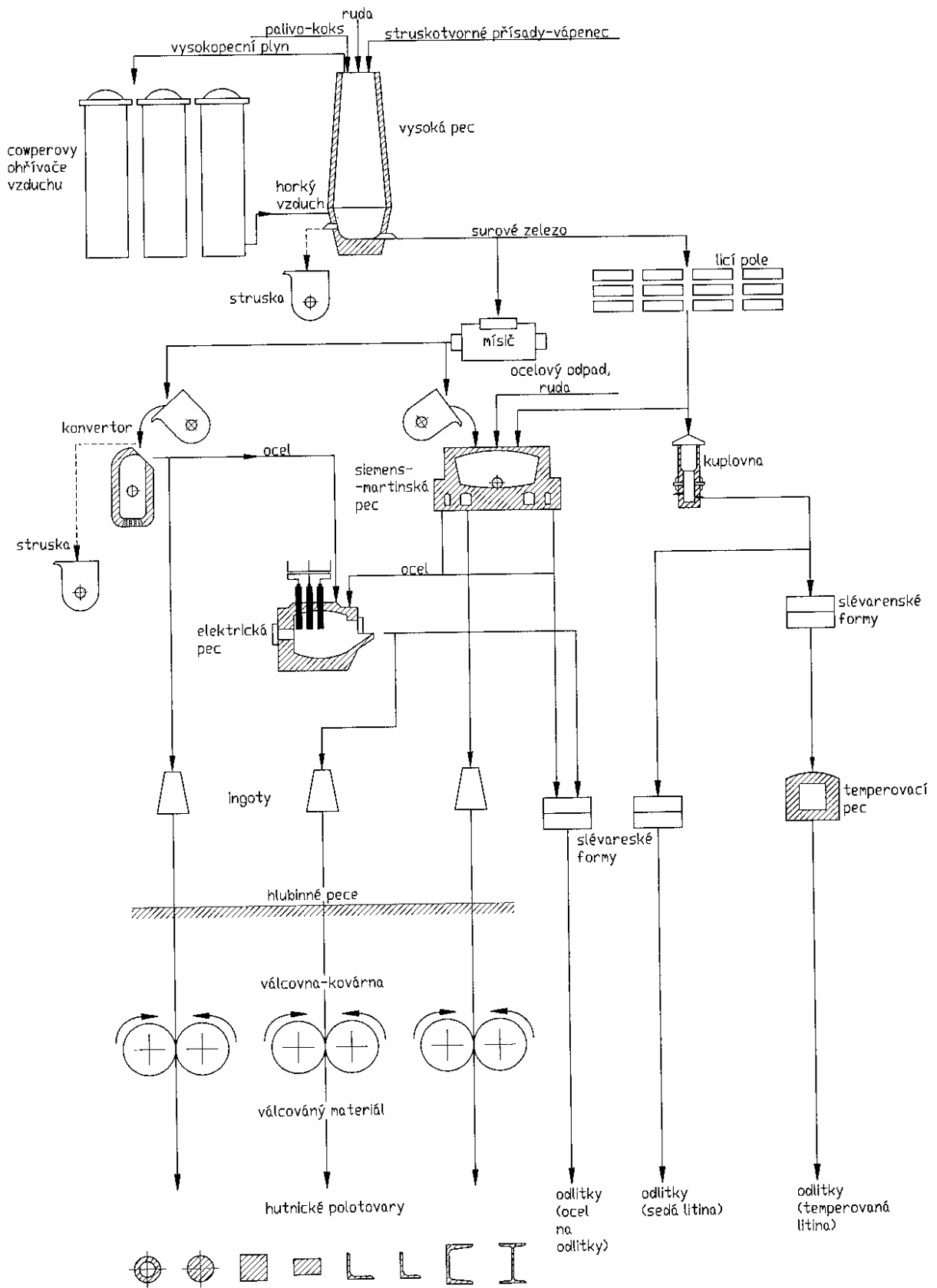
Obr. 3.11 Kontinuální odlévání oceli

bez staženin, neboť kov je plynule doplňován. Dosahuje se i většího využití kovu, protože odpadá odřezávání části ingotu se staženinou. Odpadají tedy kokily, hlubinné pece a hrubé válcovací tratě.

K odstranění nákladnosti a pracnosti odlévání ingotů (viz. výše), bylo zavedeno tzv. kontinuální odlévání oceli (obr. 3.11). Tekutá ocel se vypouští z pánve do kokily chlazené vodou, tzv. krystalizátoru, kde začíná tuhnout. Poloztuhlá ocel klesá, prochází chladicím prostorem a zcela ztuhne v ocelovou tyč, různého průřezu, který je určen průřezem otvoru krystalizátoru. Rychlost posuvu tyče je řízena posouvacími válci tak, aby hladina v krystalizátoru byla pokud možno konstantní. Ve spodní části se tyč řeže na ingoty určité délky, které se dopravují k dalšímu zpracování.

Kontinuální lití má nesporné výhody. Z tekuté oceli se získávají přímo polotovary k dalšímu zpracování (válcování). Odpadá odlévání ingotů do kokil a jejich zpracování na hrubých válcovacích stolicích na hutnické polotovary. I jakost oceli získané tímto litím

je lepší než u ingotů. Kov je stejnorodý, jemné struktury,



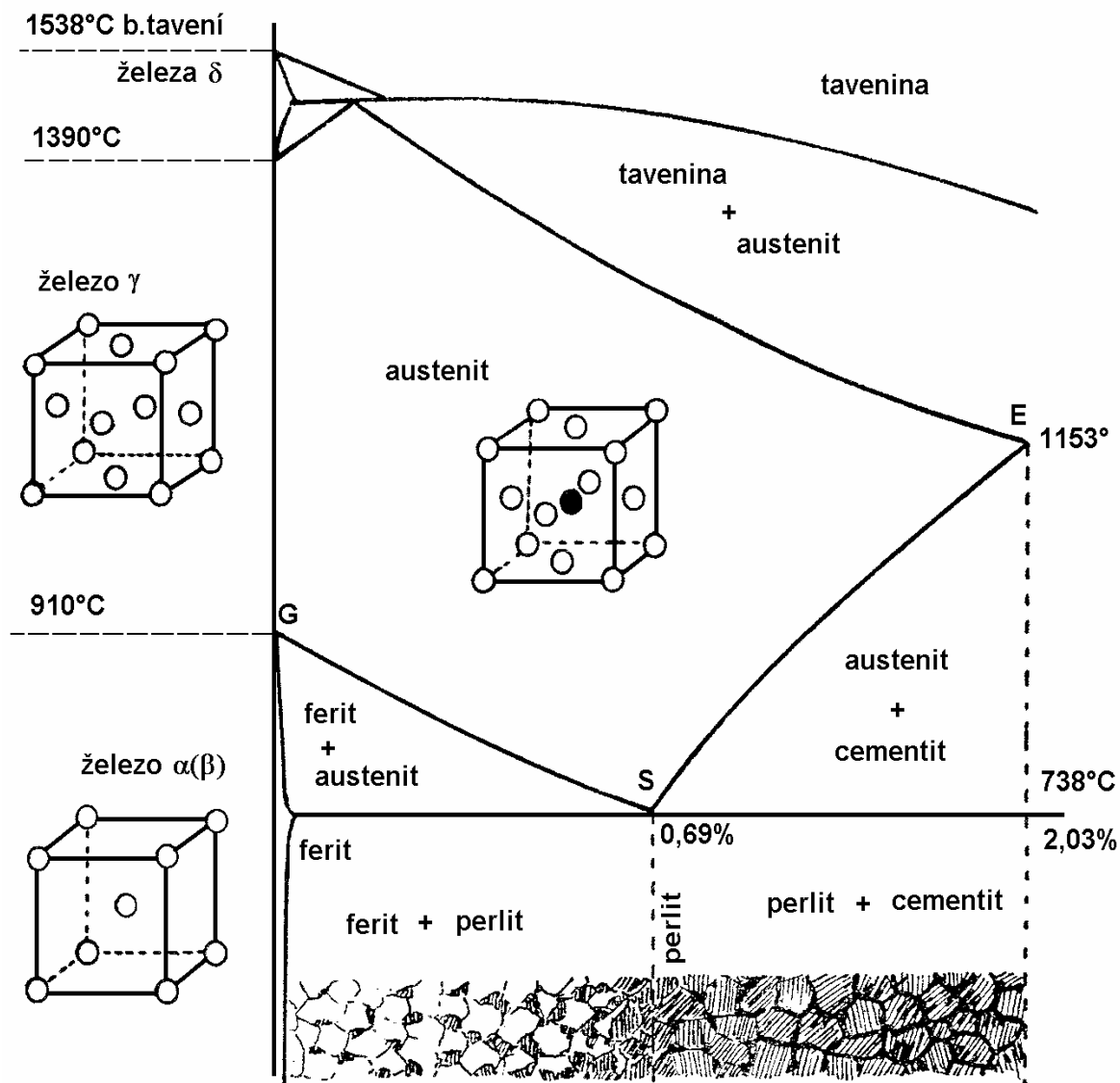
Obr. 3.12 Schéma klasického způsobu výroby a zpracování surového železa a oceli



## 4. Oceli

Oceli jsou slitiny železa s uhlíkem a dalšími prvky, které se do oceli dostaly jednak při výrobě ( Mn, Si, P, S, Cu, ) nebo s prvky, které byly přidány do oceli úmyslně ( např. Cr, Ni aj. ), tzv. prvky přísadové, legující. Podle toho se oceli rozdělují na oceli u h l í k o v é a oceli s l i t i n o v é. Na vlastnosti uhlíkových ocelí má převážný vliv uhlík, na vlastnosti ocelí slitinových působí kromě uhlíku i přísadové prvky, které mohou mít rozhodující vliv.

### 4.1 Oceli uhlíkové



Obr. 4.1 Diagram Fe-C

I oceli uhlíkové jsou slitiny poměrně složité. Na jejich vlastnosti má však vliv převážně uhlík a proto pro posuzování vlastností těchto ocelí plně vyhovuje r o v n o v á ž n ý d i a g r a m Fe - C (obr. 4.1). Podle tohoto diagramu jsou oceli uhlíkové slitiny železa s obsahem uhlíku do 2,03%. Prakticky nemívají tyto oceli uhlíku více než asi 1,5%.

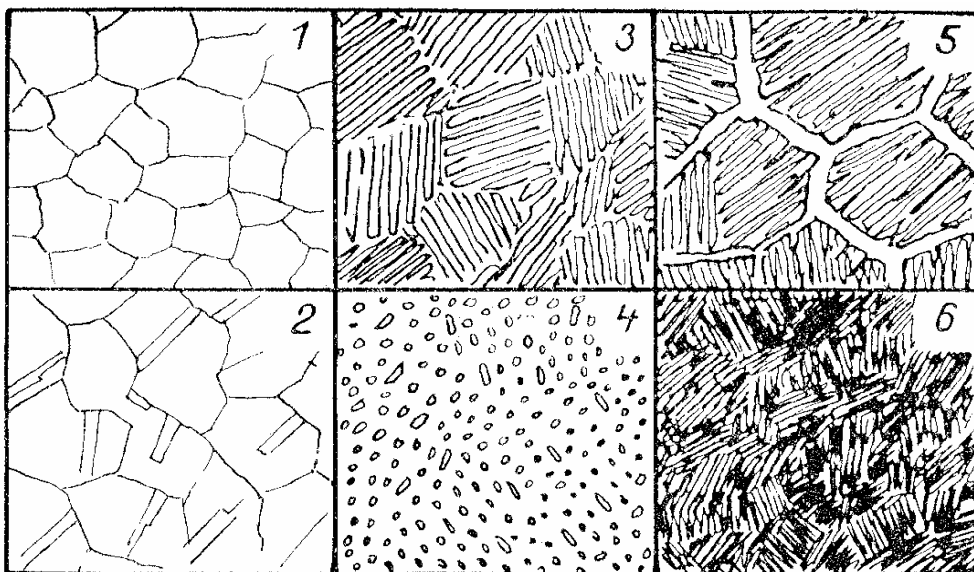
Z tohoto diagramu jsou patrné dvě odlišné skutečnosti oproti křivkám ohřevu a chladnutí čistého železa. Jednak neprobíhají metalografické změny za konstantní teploty, ale v rozmezí teplot (kromě bodů S a E), a vznikají „nové“ krystalografické útvary (tuhé roztoky).

Klasickým tuhým roztokem je *a u s t e n i t*. Jak víme, za normální teploty má krystal železa seskupeny atomy do mřížky, jejíž základem je krychle s 9 atomy. Protože atom železa je uprostřed krychle, nemůže se v tomto druhu železa, kterému říkáme *f e r i t*, uhlík rozpustit, protože nemá svůj atom kam umístit. Při 910° C nastane změna v uspořádání atomů a železo vytvoří mřížku s krychlí o 14 atomech. V této mřížce se může uhlík se svým malým atomem umístit ve středu krychle, který je volný. Vznikne tak tuhý roztok uhlíku v železe ( $\gamma$ ), který nazýváme austenit a ten má velký význam pro tepelné zpracování oceli. Na teplotu přeměny feritu na austenit má velký význam rotující obsah uhlíku, který způsobí pokles této teploty z 910° C až na 738° C. Největší množství uhlíku, které se může v železe rozpustit při teplotě 738° C je 0,68%. Při vyšším obsahu uhlíku se ho může v austenitu rozpustit více, ale jakmile teplota klesne pod čáru SE, vylučuje se z austenitu přebytečný uhlík jako *c e m e n t i t* a to tak dlouho, pokud obsah uhlíku nepoklesne na 0,68%. Opačně, je-li v oceli méně než 0,68% C, probíhá při teplotách podle čáry GS děj obrácený. Z austenitu se vylučuje ferit. Zbývající austenit má stále více uhlíku až v bodě S při teplotě 738° C bude mít 0,68% C. Klesne-li teplota pod 738° C, (vodorovná přímka), dojde k rozpadu austenitu zvláštním způsobem, při kterém se lístečky feritu střídají s lístky cementitu. Tato strukturní směs, typického vzhledu nazýváme *p e r l i t*.

V diagramu je velmi zajímavý bod S, v němž se austenit přímo přeměňuje v celém množství v perlit. Tomuto bodu říkáme eutektoidní a oceli také tak. Vlevo od bodu S je ocel podeutektoidní (do 0,68% C), vpravo do 2,03% C je ocel nadeutektoidní. Slitina s více než 2,03% C již není ocel, ale litina.

Krystalografické přeměny na perlitické přímce při 738° C a na křivkách GS a SE jsou vratné při ohřevu i ochlazování. Proto tomuto diagramu říkáme rovnovážný.

Těmto přeměnám říkáme *p ř e k r y s t l i z a c e* (viz. výše) a vysvětlujeme jimi změny vlastností oceli, ke kterým dochází pouhými změnami teploty. Výsledky překrystalizace můžeme často pozorovat na lomu oceli pouhým okem. Nejlépe je však vidíme při zvětšení v mikroskopu v té podobě, jak je znázorněno na obr. 4.2.



Obr. 4.2 Vzhled hlavních struktur oceli (1- ferit, 2 - austenit, 3 - lamelární, páskový perlit, 4 - globulární, zrnitý perlit, 5 - perlit s cementitem, 6 - martenzit

Uhlík však může být v železe obsažen buď v elementární formě jako grafit a nebo jako sloučenina se železem – karbid železa  $\text{Fe}_3\text{C}$ . To znamená, že rovnovážné diagramy jsou dva. Soustava železo – grafit ( $\text{Fe} - \text{C}$ ), soustava stabilní (obr. 4.2) a soustava železo – karbid železa ( $\text{Fe} - \text{Fe}_3\text{C}$ ), soustava metastabilní (obr. 4.3). Větší význam má soustava metastabilní. Krajními členy této soustavy jsou na levé straně železo, na pravé straně karbid železa  $\text{Fe}_3\text{C}$ , obsahující 6,68% C. Tento diagram platí za předpokladu, že ochlazování i ohřev probíhá dostatečně pomalu, aby bylo dosaženo rovnovážného stavu.

Nad křivkou likvidu ABCD, tzv. likvidus, je kov tekutý. Při chladnutí, jakmile teplota klesne pod likvidus ABCD, začnou se z taveniny vylučovat jádra budoucích krystalů. Ta postupně rostou, vytvářejí se krystaly stále větší, taveniny ubývá, až posléze na křivce solidu AHJECF ( tzv. solidus ) je krystalizace ukončena, kov je úplně ztuhlý.

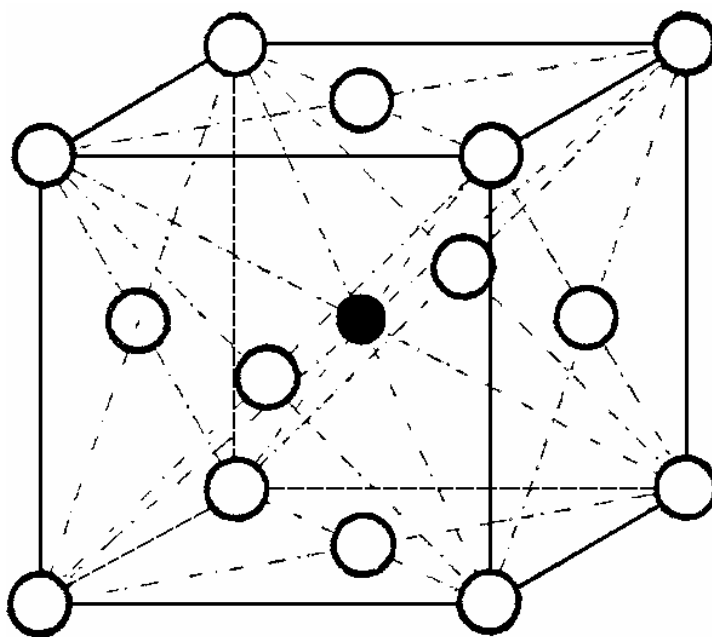
Čisté železo, jak již víme, tuhne v jediném bodě A při teplotě 1538 °C, kdežto slitiny železa s uhlíkem tuhnou v rozmezí teplot mezi větvemi likvidu a solidu. Slitiny železa s uhlíkem do obsahu 4,3 % C začínají tuhnout při teplotě tím nižší, čím je obsah uhlíku vyšší. Je-li při chladnutí překročena větev likvidu ABC, vznikají první zárodky krystalů nemagnetického železa  $\gamma$  se 14 atomy v krychlové mřížce. V železe  $\gamma$  se uhlík rozpouští a protože je mnohem menší než atomy železa má tudíž dostatek místa ve středu krychle. Krystaly vznikající po překročení větve likvidu ABC jsou tedy tuhým roztokem uhlíku v železe  $\gamma$  a nazývají se a u s t e n i t (obr.4.4), kde je uhlík vyznačen černě. Tuhnutí je ukončeno na větvi solidu AHJE, kdy se struktura skládá ze samého austenitu.

U slitin železa, které obsahují uhlíku více než 4,3 % začíná tuhnutí na větvi likvidu CD, na níž se vylučují z taveniny primární krystaly

sloučeniny  $\text{Fe}_3\text{C}$ , tedy karbidu železa, který se nazývá primární cementit. Počátek tuhnutí je při teplotě tím vyšší, čím více obsahuje slitina uhlíku. Tuhnutí je ukončeno na větvi solidu CF. Obě větve likvidu se protínají v bodě C s nejnižší teplotou tání 1147°C. Tato slitina tuhne při této jediné teplotě a

nazývá se eutektikum. V bodě C se vylučují současně obě složky, a to austenit složení daného bodem E, to je asi 2 % C a cementit. Toto eutektikum v bodě C, které je směsí austenitu a cementitu se nazývá l e d e b u r i t.

Klesá-li teplota dále pod solidus AHJECF, nastávají ve stuhlém kovu další změny. Pokud je obsah uhlíku menší než 0,8 % ( bod S ), nenastávají ve vytvořených austenitických krystalech až do teplot, daných čarou GOS, žádné změny. Je-li obsah uhlíku větší, a to 0,8 až 2 %, zůstává austenit nezměněn do teplot daných čarou SE. Poklesne-li teplota pod křivku SE, začne se postupně vylučovat uhlík v podobě cementitu ( tzv. sekundární cementit ). Největší rozpustnost uhlíku v železe  $\gamma$  je při teplotě 1147 °C, v bodě E, kdy se v železe rozpouštějí 2 %

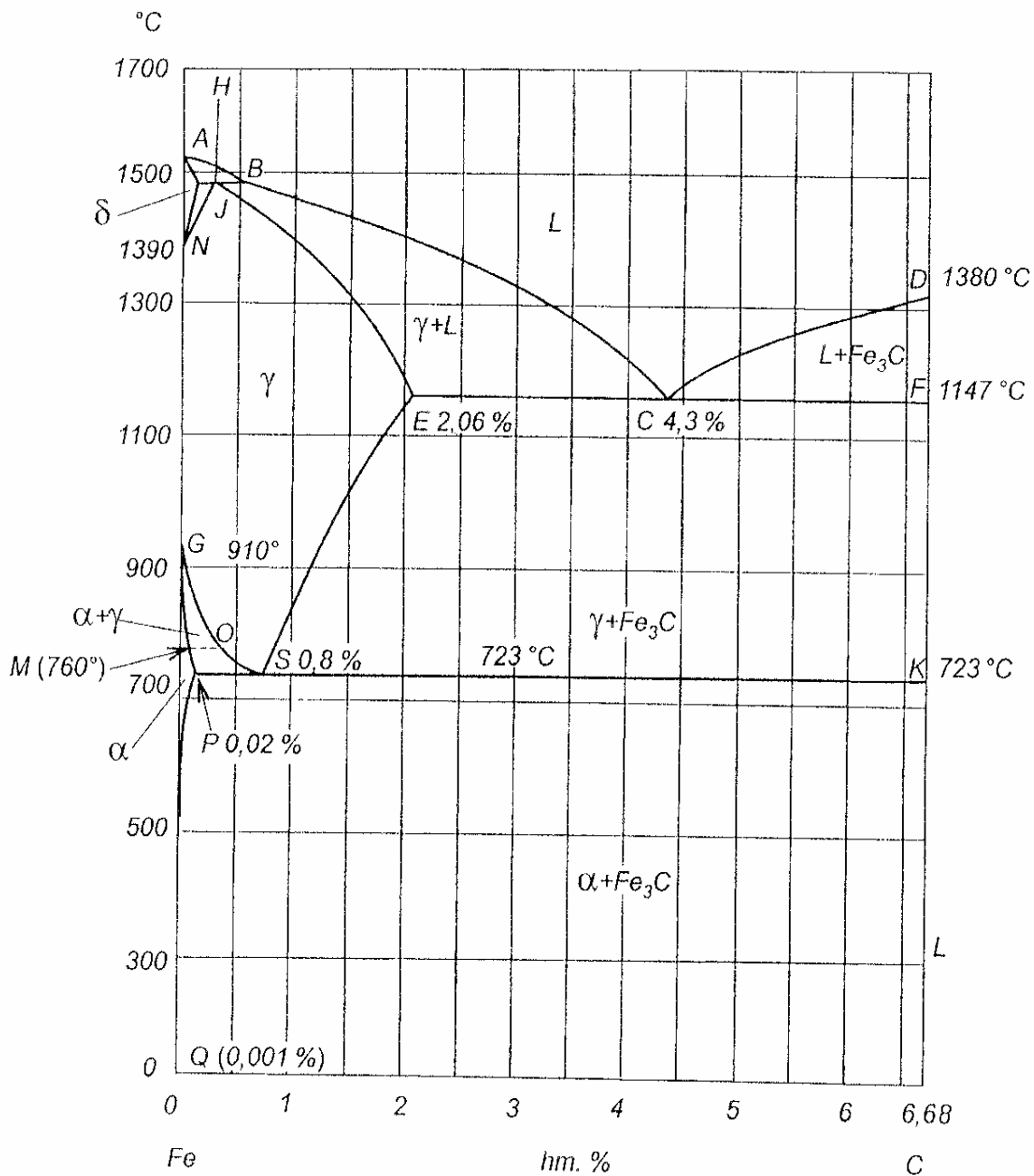


Obr.4.4 Krystalická mřížka železa  $\gamma$  s uhlíkem (austenit)

uhlíku. S klesající teplotou se rozpustnost zmenšuje až nejmenší je při 723 °C, kdy austenit obsahuje 0,8 %C.

Složitější jsou poměry u slitin obsahujících více než 2 % C. Při poklesu teploty se zvětšuje v krystalech obsah uhlíku podle křivky

ky AHJE. Protože vznikající austenitové krystaly mají uhlíku méně než odpovídá procentnímu složení slitiny, bude uhlíku v tavenině přibývat, a to podle křivky ABC. Posléze těsně nad bodem C se vyloučí poslední krystaly, které obsahují 2 % C ( bod E). Při teplotě 1147 °C ztuhne zbytek taveniny, obsahující 4,3 % C ( bod C ) a vytvoří eutektikum ( ledeburit ), skládající se z austenitu s obsahem 2 % C a z cementitu. Struktura slitin s více než 2 % C a méně než 4,3 % C se tedy při teplotě těsně pod 1147 °C bude skládat z austenitu a ledeburitu. Při poklesu teploty se bude z austenitových krystalů vylučovat opět uhlík ve formě cementitu podle křivky ES.



Obr.4.5 Rovnovážný diagram Fe – Fe<sub>3</sub>C

Popis rovnovážného diagramu Fe – Fe<sub>3</sub>C:

- ABCD - křivka likvidu
- AHJECF – křivka solidu
- AB - počátek vylučování  $\delta$ -feritu z taveniny
- CD - počátek vylučování primárního cementitu z taveniny
- AH - konec vylučování  $\delta$ -feritu z taveniny
- HJB - peritektická úsečka
- JE - konec vylučování austenitu z taveniny
- HN - počátek vylučování austenitu z  $\delta$ -feritu
- JN - konec vylučování austenitu z  $\delta$ -feritu
- ECF - eutektická úsečka
- GOS - počátek vylučování  $\alpha$ -feritu z austenitu
- SE - počátek vylučování sekundárního cementitu z austenitu
- PSK - eutektoidní úsečka
- GP - konec vylučování  $\alpha$ -feritu z austenitu
- PG - počátek vylučování terciálního cementitu z feritu
- MOSK - přeměna nemagnetické oceli v ocel magnetickou

Poznámka: Počátky vylučování se předpokládají při ochlazování.

Austenitové krystaly jsou velmi houževnaté a tvárné, a proto slitiny obsahující převážně austenit, lze dobře tvářet, např. válcovat a kovat. Naproti tomu slitiny, v nichž je větší množství velmi tvrdého a křehkého cementitu, jsou křehké a nekujné. Tím je dáno teoretické rozdělení technických želez na kujná a nekujná. Slitiny obsahující do 2 % C jsou kujné a nazývají se oceli. Slitiny obsahující více než 2 % C jsou nekujné a jsou to litiny.

Další přeměny pokračují pod křivkou GOSK. Těsně nad křivkou GOS se struktura skládá z austenitu, v němž je všechen uhlík rozpuštěn. Pod teplotami danými křivkou GOS, mění se austenit postupně v železo  $\alpha$ , mající 9 atomovou krystalickou mřížku, nazývanou se *f e r i t*. Křivka GOS, na níž počíná přeměna železa  $\gamma$  v železo  $\alpha$ , označuje se  $A_3$  (při ohřevu  $A_{C3}$ , při ochlazování  $A_{r3}$ ). Teplota  $M_0$ , tj. 760 °C, tzv. Curierův bod, značí přeměnu paramagnetické oceli ve ferromagnetickou, označuje se  $A_2$ . Přeměna nemagnetické oceli v ocel magnetickou se tedy děje při teplotách, daných čarou MOSK. Mezi čarami GS a PS se tedy postupně mění austenit ve ferit. Tím, že se vylučuje ferit, obsahující nepatrné množství uhlíku, obohacuje se uhlíkem zbývající austenit, a to podle čáry GOS. Posléze těsně nad bodem S (723 °C) obsahuje zbývající austenit 0,8 % C. Při teplotě 723 °C, která se označuje  $A_1$  (při ohřevu  $A_{C1}$ , při chladnutí  $A_{r1}$ ), přejde tento austenit ve strukturu, skládající se z destiček feritu a cementitu. Je to obdoba eutektika a tato strukturní součást se nazývá eutektoid, v metalografii nazývaný *p e r l i t*. Množství feritu a cementitu v perlitu je dáno pákovým pravidlem:

$$\text{ferit / cementit} = \text{SK} / \text{PS} = 5,87 / 0,8 = \text{asi } 7,3 / 1$$

V perlitu je tedy asi 88 % feritu a 12 % cementitu. Protože cementit je křehký, je zřejmé, že čím je v oceli více perlitu, tím je ocel pevnější, tvrdší, ale také křehčí. Ocel obsahující 0,8 % C se pod teplotou 723 °C skládá ze samého perlitu.

Ocel obsahující přes 0,8 % C, se skládá těsně nad 723 °C z austenitu a sekundárního cementitu, vyloučeného na hranicích austenitových krystalů. Při teplotě 723 °C se přemění austenit v perlit a strukturu této oceli tvoří perlit, na jehož hranicích je uložen cementit. Podle

struktury se tedy oceli rozdělují na podeutektoidní, obsahující méně než 0,8 % C, eutektoidní s obsahem 0,8 % C a nadeutektoidní, obsahující více než 0,8 % C.

Železa nekujná, obsahující více než 2 % a méně než 4,3 % C, sládnají se nad teplotou 723 °C z austenitu a ledeburitu, který je směsí austenitu a cementitu. Přeměnou při 723 °C se změní austenit v perlit, a to jak austenit primární, vyloučený mezi likvidem a solidem, tak austenit obsažený v ledeburitu.

Pod teplotou 723 °C, tj. pod  $A_1$ , je překrystalizace ukončena, ve struktuře při dalším chladnutí nenastávají již změny. Výjimkou jsou oceli s velmi malým obsahem uhlíku. Má-li ocel nejvýše 0,02 % C, je tento uhlík při teplotě 723 °C ve feritu rozpuštěn. S klesající teplotou se rozpustnost zmenšuje a za normální teploty je 0,008 %. Ochlazujeme-li takovou ocel pomalu, vyloučí se terciální cementit na hranicích krystalů. Při rychlém ochlazování zůstane uhlík ve feritu rozpuštěn, vzniká přechlazený tuhý roztok, z něhož se během doby může vylučovat jemný terciální cementit uvnitř krystalů. Vylučování se urychluje ohřevem např. na 160 °C. Tím se zvětší pevnost a tvrdost ale klesne houževnatost, v důsledku nárůstu napětí. Terciální cementit má u těchto ocelí vliv i na jejich magnetické vlastnosti. Nejvhodnějšího tvaru hysterzní křivky se dosáhne pomalým ochlazováním, kdy se cementit vyloučí na hranicích krystalů a je tím dosaženo rovnovážného stavu. Vliv terciálního cementitu se projevuje jen při obsahu uhlíku nejvýše asi do 0,4 %. Při vyšším obsahu uhlíku překryje jeho vliv vzniklý perlit.

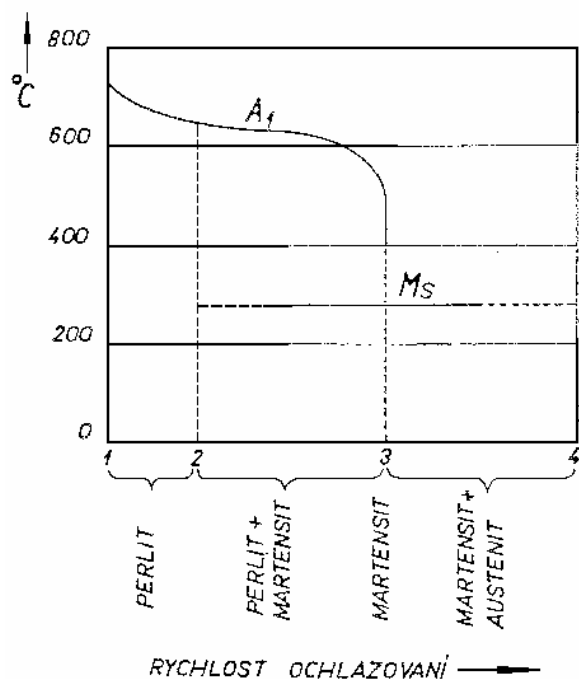
Jak již bylo uvedeno, mohou slitiny železa s uhlíkem krystalizovat také v soustavě stabilní Fe – C (obr. 4.6), kde je uhlík v podobě grafitu. Krajními body této soustavy jsou Fe a C. U slitin, které mají nejvýše 6 % C jsou teploty, při nichž nastávají určité přeměny, málo odlišné od teplot v soustavě Fe – Fe<sub>3</sub>C. Poloha eutektikály ECF, eutektoidály PSK a křivky ES je při nepatrně vyšších teplotách. Rozdíl mezi těmito dvěma diagramy je v tom, že diagram Fe<sub>3</sub> – C končí u 6,68 % C, což je množství uhlíku v Fe<sub>3</sub>C, kdežto diagram Fe<sub>3</sub>C pokračuje dále, teoreticky až do 100 %. Slitiny s větším obsahem uhlíku však nemají praktický význam.

U stabilní soustavy Fe – C se začíná na likvidu ABC vylučovat austenit, kdežto na větvi CD se vylučuje primární grafit. Těsně nad bodem C se vyloučí poslední krystaly austenitu s 2 % C a v bodě C ztuhne zbytek taveniny eutektikum, které se při 4,25 % C skládá z austenitu a grafitu. Na rozdíl od soustavy Fe<sub>3</sub>C se tu nedosáhne ledeburitu jako jemné směsi austenitu a grafitu, nýbrž grafit krystalizuje v lamelách. Eutektoid, odpovídající bodu S, obsahuje 0,68 % C a skládá se prakticky téměř ze samého feritu. Ve skutečnosti neprobíhá krystalizace obyčejně jen podle soustavy Fe – C, ale částečně i podle soustavy Fe – Fe<sub>3</sub>C. Problémy za této situace jsou velmi složité.

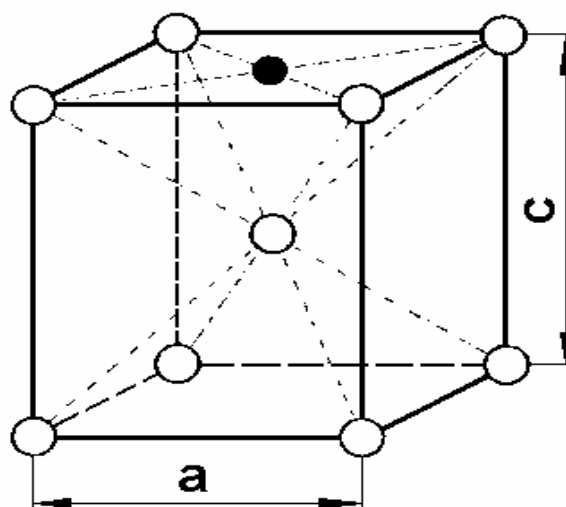
Teploty přeměn, uvedené v rovnovážných diagramech, platí jen za předpokladu, že zahřívání nebo ochlazování je velmi pomalé. Při rychlejším ohřevu nebo ochlazování nastávají přeměny při teplotách jiných a vznikají tzv. nerovnovážné stavy, což platí zejména při změnách při rychlém ochlazování. Je to způsobeno tím, že přeměny ve stavu tuhém, kdy je pohyblivost atomů poměrně malá, potřebují dostatek času, aby se ukončily a nastal rovnovážný stav.

Při rychlém ochlazování se křivky  $A_3$  i  $A_1$  snižují, při větších rychlostech ochlazování vznikají nové strukturní složky, které mají vliv i na vlastnosti oceli. Schematicky ukazuje tyto děje obr. 4.7, v němž je pro jednoduchost zakreslena jen křivka přeměny  $A_1$  neboli jde tu o ocel eutektoidní s 0,8% C. Ochlazujeme-li ocel velmi pomalu (svislíce v bodě 1), přeměňuje se austenit v perlit při 723°C a struktura se za normální teploty skládá z perlitu s jasně patrnými lamelami. Jde-li ovšem o velmi pomalé chladnutí, získá se perlit, jehož cementit není uspořádán v lamelách, nýbrž ve formě kuliček. Když ochlazování zrychlujeme, a to v rozmezí 1 a 2, nastává přeměna při teplotách stála nižších a perlitové lamely jsou stále jemnější. Při rychlosti ochlazování, odpovídající bodu 2, začíná se při teplotě, označené  $M_s$ ,

objevovat nová fáze, zvaná *m a r t e n z i t*. Jeho struktura se skládá z perlitu s velmi jemnými lamelami a z ostrůvků martenzitu. Za zrychlujícího se ochlazování přibývá ve struktuře martenzitu, až v bodě 3 tvoří strukturu jen martenzit. Ten je magnetický a je to tedy vlastně železo  $\alpha$ . Poněvadž však rychlost ochlazování je příliš velká, nestačil uhlík z mřížky  $\alpha$  uniknout a je v ní násilně uzavřen. Důsledkem toho je, že je martenzit tvrdý a křehký, s velkým vnitřním napětím. Schematicky si můžeme krystalickou mřížku martenzitu představit podle obr. 4.8, kde je atom uhlíku označen černě. Martenzit krystalizuje v soustavě čtverečné (tetragonální), kde poměr  $c/a$  je tím větší, čím má ocel víc uhlíku. Přeměna austenitu v martenzit se značně liší od jiných přeměn, např. od přeměny železa  $\gamma$  v železo  $\alpha$  a naopak. U těchto přeměn se vytváří nejprve zárodky nové fáze, které se v určité závislosti na čase zvětšují, až je nakonec přeměna ukončena. U přeměny austenitu na martenzit, která probíhá jen při ochlazování, nezávisí přeměna na čase, je pouze funkcí teploty. Počátek i průběh tvoření martenzitu v určité oceli je dán pouze teplotou  $M_S$  a nezávisí na rychlosti ochlazování. Výška teploty  $M_S$  závisí však na chemickém složení oceli. Většina přísad teplotu  $M_S$  snižuje. Největší vliv má uhlík. Čím je v oceli více martenzitu, tím je ocel tvrdší a křehčí. Říkáme, že ocel se při rychlostech ochlazování mezi body 2 a 3 zakalila. V bodě 2 kalení začíná, ve struktuře se objevuje první martenzit. V bodě 3 je zakalení úplné, struktura se skládá jen ze samého martenzitu. Je-li rychlost ochlazování větší než rychlost, daná bodem 3, objevuje se ve struktuře kromě tvrdého a křehkého martenzitu i houževnatý austenit a tvrdost oceli je opět menší. Některých slitnových ocelí lze při vhodné rychlosti ochlazování dosáhnout struktury vesměs austenitické.



Obr. 4.7 Změny při rychlém ochlazování oceli s 0,8 % C



Obr. 4.8 Krystalická mřížka martenzitu

## 4.2 Rozdělení a označování ocelí a litin

Jak již bylo uvedeno, rozdělujeme slitiny železa s uhlíkem (technické železo), na oceli a litiny. Tyto pak dále dělíme do dalších skupin a proto je musíme označovat. Toto označování má význam, jak při jejich výrobě, tak při jejich používání jako stále nejdůležitějšího materiálu pro stavbu strojů, zařízení, nástrojů apod.

Oceli se největší míře využívají ke tváření a také se tak obecně nazývají. Vyrábějí a používají se také oceli na odlitky. Litiny se využívají jen k odlévání.

### O c e l i k tváření - < 2 % C

#### 1. nelegované

#### 2. legované

##### ad.1. Oceli nelegované, třídy 10, 11, 12

- obvyklých jakostí – ne na žíhání
- jakostní – větší namáhání a přísnější výroba
- ušlechtilé – k zušlechťování a povrchovému kalení

##### ad.2 Oceli legované, třídy 13,14, 15, 16, 17

- jakostní – kolejnice, důlní výstuže; tlakové nádoby, potrubí
- ušlechtilé – žáropevné, a žáruvzdorné, nerezavějící, např. na výrobu valivých ložisek

##### - nástrojové, třídy 19

na výrobu všech nástrojů ( ruční, strojní – obráběcí, tvářecí, zubní a chirurgické nástroje )

Poznámka: třída 18 je vyhrazena pro slinuté materiály, vyráběné práškovou metalurgií. Tyto materiály jsou velmi tvrdé a otěruvzdorné za vysokých teplot a používají se např. na výrobu brzdových obložení a břitových destiček obráběcích nástrojů.

### Slitiny železa na odlitky

#### 1. Oceli na odlitky - < 2 % C

nelegované 42 26 XX

legované 42 27 XX nízkolegované  
42 28 XX střednělegované  
42 29 XX vysokolegované

#### 2. Litiny - > 2 % C

a) litiny s lupínkovým grafitem (šedé) 42 24 XX  
nelegované legované

b) litiny s kuličkovým grafitem ( tvárné ) 42 23 XX

c) temperovaná litina 42 25 XX

Rozdělení ocelí do tříd, s označením stupně legování a použitých legujících prvků je uvedeno ve „Strojnických tabulkách“, 3.upravené vydání, 2006 na str. 215, jejich číselné označování na str. 214.

Číselné označování a rozdělení slitin železa na odlitky, tamtéž na str. 220.