

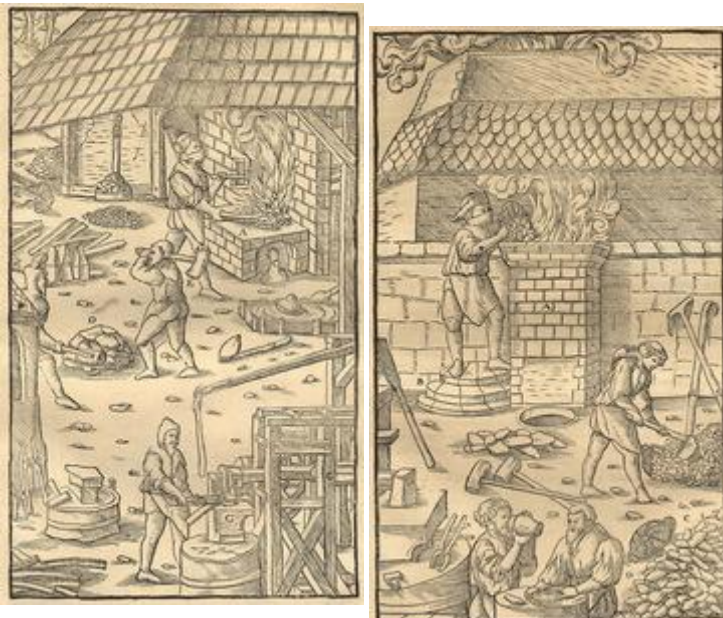
VÝROBA ŽELEZA A OCELI

Historie výroby železa:

Znalost železa je doložena nečetnými nálezy už ze starší doby kamenné. Protože však ještě několik tisíc let člověk neuměl dosáhnout teplot nutných pro tavbu železných rud, šlo o železo, které se v přírodě nacházelo v ryzí formě (tzv. **meteorické železo** - železo-niklové meteority). Jejich pády nemohly uniknout pozornosti člověka a na několika místech byly nalezeny kusy snesené do sídlišť. Takovým případem byl i nález sedmi kusů meteorického železa v paleolitické stanici na Kylešovickém kopci u Opavy v roce 1924. U nich bylo prokázáno i záměrné dlouhodobé zahřívání v ohni

První železné předměty vyráběné tavbou pozemských železných rud pochází z období 3000 až 2000 let př. n. l. z oblasti Egypta, Anatólie (poloostrov Malá Asie, dnešní Turecko), Mezopotámie (území dnešního Iráku) a údolí řeky Indus (dnešní Pákistán). Železo bylo vhodnějším kovem než bronz kvůli vyšší tvrdosti a hojnosti železných rud, i když kvůli vysoké teplotě tavení rud (1300 až 1350 °C) bylo jeho získávání technologicky náročnější. Záhy tak vytlačilo bronz a stalo se nejvýznačnějším používaným kovem, podle něhož byla pojmenována i celá etapa vývoje lidské společnosti - **doba železná** (na našem území asi 750 př. n. l. - 0).

Původně se železo vyrábělo přímo z rud v pecích různých obměn, vytápěných dřevěným uhlím (obr. 1 a 2). Vyredukované železo ve formě tzv. železné houby bylo pórovité a nebylo dobře oddělené od strusky, díky menšímu obsahu uhlíku ale bylo kujné. Tato svářková ocel obsahovala až 99,8 % Fe, 0,004 - 0,006 % C.



Ukázka rytin ilustrujících zpracování železa. Georgius Agricola: De re metallica libri XII. Liber Nonus. 1561: Basilej. originál Ústřední knihovna Vysoké školy báňské - Technické univerzity Ostrava

Legenda (podle českého překladu z roku 1933)

levý: A. ohniště B. hromada C. odtok strusek D. hroudy E. dřevěná kladiva F. buchar G. kovadlina

pravý: A. pec, B. stupeň, C. ruda, D. uhlí

Inovaci výroby oceli byly tzv. pudlovací pece vytápěné černým uhlím, použité poprvé Henrym Cortem v roce 1784. Surové železo se roztavilo v plamenné peci s mělkou nístějí a za stálého míchání taveniny byly nežádoucí prvky oxidovány a přecházely do strusky bohaté sloučeninami železa, zatímco ocel chladla ve formě houbovitého železa. Pece o denním výkonu 3 až 10 t oceli spotřebovávaly přibližně 3 × méně paliva než starší metoda, ztráty kovu byly asi 12 až 15 %.

Zásadní změnou výroby oceli přinesl nástup průmyslové revoluce. V roce 1855 si anglický vynálezce Henry Bessemer nechal patentovat princip výroby oceli dmýcháním vzduchu do roztaveného železa ve sklopné válcové nádobě - konvertoru (obr. 3). Bessemerův konvertor pracoval s kyselou dinasovou vyzdívkou a kyselou struskou, nebylo v něm možno odstranit ze surového železa síru ani fosfor. Tento nedostatek byl odstraněn zásaditou vyzdívkou konvertorů, kterou si nechal patentovat další anglický vynálezce - Sidney Gilchrist Thomas - v roce 1878. Thomasův konvertor našel hojně využití v rudách, které obsahují větší množství fosforu ve formě fosfátů. Ocelářská struska bohatá fosforem byla využívána v zemědělství jako hnojivo. Ve vsázce do těchto konvertorů mohl být podíl ocelového odpadu obvykle do 3 hm. %.

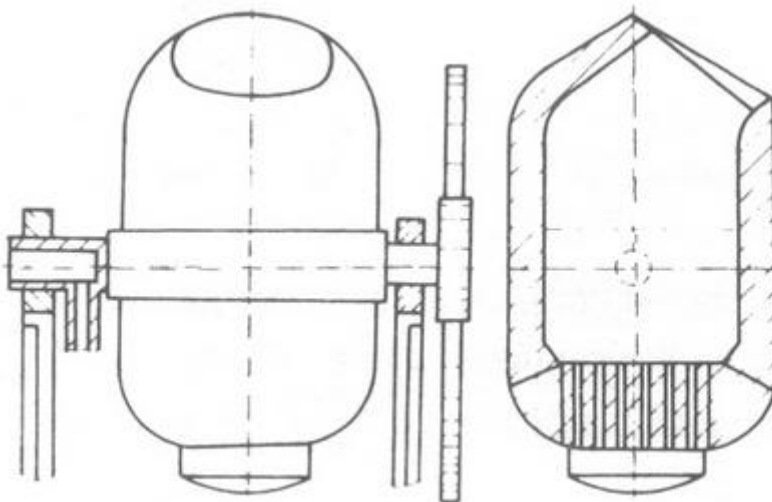


Schéma konvertoru se spodním dmýcháním vzduchu (Bessemerův a Thomasův konvertor) podle Parmy (1988). Střední část zkoušovací nádoby je válcová a ústí v excentricky uložené kuželové hrdlo. Ve dně konvertoru jsou otvory, jimiž je do lázně dmýchán

vzduch.

Dalším pokrokem bylo použití pecí s uzavřenou nístějí a předehříváním topného plynu a vzduchu, umožňujících dosažení vyšších teplot a zpracování neomezeného množství ocelového odpadu (šrotu). Tyto pece německého inženýra Carla Wilhelma Siemense byly od roku 1856 využívány ve sklářství,

pro ocelářství je použitím žáruvzdorných materiálů adaptovali Francouzi Emile Martin a Pierre Martin roku 1864. Jejich Siemens-Martinské pece představovaly efektivní systém využití tepla a ve velkém se používaly ještě počátkem 2. poloviny 20. století.

V roce 1902 se ocel začala vyrábět v elektrických obloukových pecích (zahřívání elektrickým obloukem mezi elektrodami a materiálem - obr. 4) a elektrických indukčních pecích (zahřívání elektromagnetickou indukcí

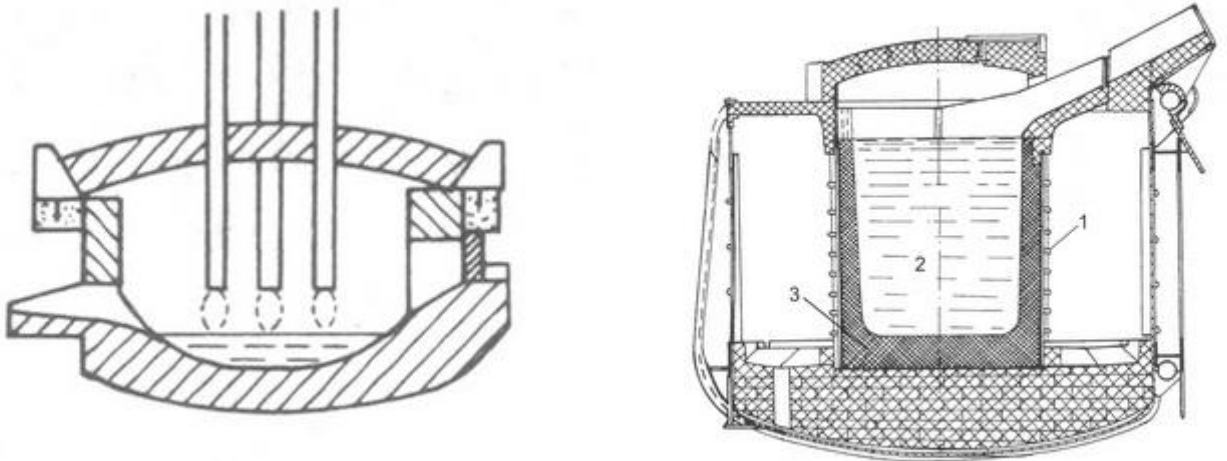


Schéma elektrické obloukové a elektrické indukční pece podle Majerčákové (1988).

Vlevo: elektrická oblouková pec s přímým ohřevem - elektrody jsou uloženy svisle a oblouk se vytváří mezi každou elektrodou a kovovou vsázkou. Vpravo: elektrická indukční pec s vertikálně uspořádaným tavicím žlábkem - měděným induktorem (1) se přivádí střídavý proud, přechodem indukovaného proudu mezi (1) a kovem (2) v kelímku (3) se kov ohřívá a taví.

V současnosti jsou pro výrobu oceli nejvyužívanější kyslíkové konvertory, též nazývané LD (Linz-Donawitz) konvertory. Proces zkujňování v nich probíhá dmýcháním kyslíku do tekutého surového železa

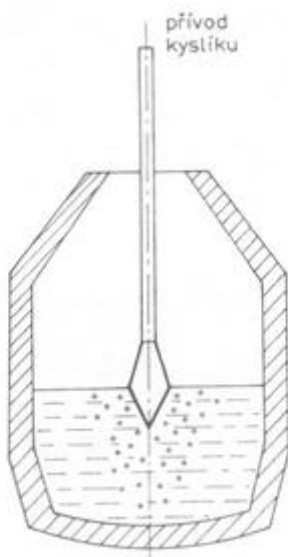


Schéma kyslíkového (LD) konvertoru s vrchním dmýcháním kyslíku podle Parmy (1988).
Tryskou je do kovové lázně vháněn kyslík pod dostatečným tlakem, aby pronikl vrstvou strusky a až do požadované hloubky lázně.

V současnosti je železo nejhojněji využívaným kovem. Podle celosvětových statistik uváděných USGS (Edelstein 2007, Fenton 2007, Plunkert 2007) dosáhla v roce 2005 produkce surového železa a ocelí 1,955 mld. tun. Je tak přibližně 61krát větší než výroba v pořadí druhého hliníku (32 mil. t) a 130krát větší než v pořadí třetí mědi (15 mil. t).

Historie výroby železa na našem území:

Do střední Evropy se znalosti o výrobě železa dostaly ze severu černomořské oblasti a z italské oblasti. Na našem území rozkvět výroby a zpracování železa zahájila civilizace Keltů, resp. jejich místního kmene Bójů. Celá epocha pak po této významné surovině dostala i jméno - doba železná (750 př.n.l. - 0, na našem území však počátek o sto let později). Pro tavbu byly využívány železem bohaté zvětraliny i primární oxidické rudy z mnoha malých výskytů, kolem kterých vznikala i centra osídlení. Výroba železa probíhala v malých pecích, částečně zahloubených do země. Při redukci rud dřevěným uhlím se dosahovala teplota až 1350 °C. Železo se struskou se z pecí nevypouštělo, výsledná železná „houba“ nebyla homogenní a musela se dále kovářím opracovávat do kujné formy. Keltové ovládli tento proces velmi dokonale a jejich kováři byli schopni výrobky tvrdit a cementací a kalením vyrábět i ocel. Z výrobků se dochovaly různé zbraně (meče, nože, kopí), užitkové předměty (sekery - obr. 7, dláta, pily, nůžky, břitvy, udice, srpy, kosy, vidle, radlice, podkovy aj.) i umělecké výrobky. Jejich technická vyspělost i umělecká kvalita svědčí o mistrovství tvůrců (Pleiner 2006, Majer 2004).



Železná sekera. Mladší doba železná (latén), asi 3. - 2. stol. př. n. l., hradiště Češov u Jičína. Délka 11 cm.
Soukromá sbírka Ing. Rostislava Dudka, Ph.D.
Foto M. Vavro, 2008.

Vzhledem k tzv. období stěhování národů po přelomu letopočtu byl pokrok dosažený při výrobě a zpracování železa na našem území zapomenut. Nové pomalé rozšiřování sortimentu železných výrobků je patrné až v období Velkomoravské říše (833 - 906). Zatímco těžba rud nedoznala většího pokroku, dobře izolované pece s provozní teplotou okolo 1400 °C mohly odolat teplotám až 1730 °C a vzduch byl do nich vháněn ručními měchy. Přesto zůstávalo ve strusce okolo 50 % železa. Ujalo se tepelné zpracování kalením a popouštěním. Kromě výrobků známých už z dob Keltů se objevuje železo také ve formě platidla ve formě stylizovaných sekerek - tzv. sekerovitých hřiven.

Se vznikem českého státu rostl nejen význam drahých kovů (Ag, Au) a dalších využívaných kovových materiálů (Sn, Pb, Cu), ale samozřejmě i železa. Hutě byly zakládány u významných ložisek (oblast Brd, Železných a Krušných hor, Krkonoš, Hrubého a Nízkého Jeseníku, Pošumaví, Moravského krasu aj.) i v místech drobnějších výskytů železných rud. Ty se tavily v nízkých šachtových pecích zvaných dýmačky. Tavnice ze teplot okolo 1300 °C probíhala 8 až 12 hodin. Z výsledné železné hroudy 150 - 300 kg těžké se kování vyráběly základní druhy železa. V posledním desetiletí 16. století byly zavedeny i první vysoké pece, zpočátku jen 3 m vysoké. Umožňovaly zpracování většího množství vsázky a produkovaly kujné železo a ocel.

Propad těžby a zpracování za třicetileté války a po ní se železa nedotkl v takové míře jako ostatních kovů. Největším centrem těžby rud a výroby se staly Brdy (Zbiroh, Stará Huť u Dobříše aj.). V období 1700 - 1830 výroba železa neustále rostla: rok 1700 - 3500 t, rok 1830 - 20464 t a stačila uspokojit místní spotřebu. Přímá výroba železa byla v 18. století vystřídána nepřímou výrobou ve vysokých pecích. Tento skok v kvalitě a množství produkce výrobu soustředil do několika hutních center (Pleiner et al. 1984, Majer 2004).

Nástup průmyslové revoluce počátkem 19. století přinesl nový zájem o nejdůležitější konstrukční materiál strojů - železo. Výroba se koncentrovala do míst výskytu železných rud (Králov Dvůr, Vítkovice, Třinec) a do míst výskytu uhlí, ze kterého se vyráběl vysokopecní koks (Kladno, později také Ostravsko). Rozvoj vědních oborů umožnil výrobu novými výrobními postupy (náhrada dřevěného uhlí koksem, výroba oceli pudlováním, bessemerací a Thomasovým procesem, příprava speciálních legovaných ocelí, válcování plechů a tažení drátů) a zkvalitnění sortimentu ocelových výrobků a litiny. Výroba dále rostla: rok 1880 - 89525 t, 1900 - 485438 t a 1910 - 2007000 t, nevyhnulo se jí ale kolísání spojené s ekonomickými krizemi. Pro tak velkou produkci ovšem nebyla zajištěna surovinová základna, a tak byly železné rudy dováženy ze Slovenska, Štýrska a Švédska (Daníhelka et al. 1986, Majer 2004).

Ve válečném období se díky dodávkám oceli pro zbrojní průmysl výroba železa dále zvyšovala: 1916 - 3,3 mil. t, meziválečné období se světovou hospodářskou krizí přineslo velký úpadek výroby a na ní navázaného zpracování železa. Nové oživení před druhou světovou válkou a následná válečná výroba měla díky přetížení průmyslu neblahý vliv na hospodaření se zásobami rud i uhlí. V poválečném

období následoval konec soukromého podnikání a orientace na centrálně plánovanou výrobu, která svou velikostí neměla opodstatnění (Dostál et al. 1988, Majer 2004).

Změny ve struktuře průmyslu i vlastnictví výrobních prostředků po roce 1989 jsou dostatečně známé a jejich objektivní hodnocení bude vyžadovat časový odstup.

Výroba surového železa:

Železo se v přírodě vyskytuje poměrně hojně, ale jen výjimečně se na zemském povrchu vyskytuje v ryzím stavu. Běžně jsou dvojmocné a trojmocné ionty železa přítomné v mnoha sloučeninách včetně hemoglobinu, přenášejícího kyslík v krvi obratlovců včetně člověka. Pro výrobu železa jsou ovšem z hlediska obsahu kovu, hojnosti výskytu a technologie zpracování jen některé minerály (tab. 1).

minerál	krystalochemický vzorec	skupina	max. obsah Fe (%)	průmyslový význam
magnetit	Fe_3O_4	oxidy	72	velký
hematit	Fe_2O_3	oxidy	70	velký
„limonit“	$\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n \text{H}_2\text{O}$	oxidy	50 - 69	střední
siderit	FeCO_3	uhličitaný	48	střední
chamosit	$(\text{Fe},\text{Mg})_5\text{Al}[(\text{OH})_8 \text{AlSi}_3\text{O}_{10}]$	křemičitaný	< 38	malý

Nejpoužívanější rudy železa. Pozn.: limonit není samostatný minerální druh, ale směs hydratovaných oxidů železa s převahou goethitu a lepidokrokitu. Maximální obsahy železa jsou teoretické, v rudě jsou vždy přítomny i nerudní minerály (tzv. hlušina), které jeho obsah významně snižují.

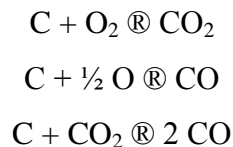
Výroba kujného železa se dělí na přímou a nepřímou. Při přímé výrobě se jedním technologickým procesem získá z rudy kujné železo (ocel). Nepřímá výroba v prvním technologickém procesu vyrobí křehký meziprodukt (surové železo), které se dále zkuňuje v následném ocelářském procesu.

K přímé výrobě se používají kvalitní rudy s vysokým obsahem železa a malým obsahem nežádoucích příměsí. Typické je použití jiných paliv a redukčních činidel než koksu - proto se souhrn těchto metod obecně nazývá bezkoksová metalurgie železa. Jako paliva mohou sloužit lignit, hnědé uhlí, těžké ropné oleje, dehty a zemní plyn. Výroba je principiálně podobná historické tavbě železných rud dřevěným uhlím a výsledný produkt některých pochodů je opravdu železná houba. Produktem a které se používají přímo jako vstupní surovina do ocelářských pecí.

Nepřímou výrobou se vyrábí převážná část současné produkce. Chudší rudy a rud, které nelze přímo ve vysoké peci redukovat (siderit a křemičitanové rudy) se nejprve upravují pražením a dalšími pochody a teprve poté se používají pro samotnou výrobu surového železa. Vzhledem k energetické náročnosti a environmentální zátěži těchto procesů se od zpracování uhličitanových a křemičitanových rud až na výjimky upouští (Majerčák, Brož 1988).

Nejběžnější (tj. nepřímá) výroba surového železa probíhá ve vysokých pecích. Jde o kuželovité šachty, do kterých se kontinuálně naváží vsázka tvořená rudou, palivem a struskotvornými přísadami. Rudy jsou výše uvedené minerály nebo hmoty z nich připravené. Důležité je chemické složení - min. 50 % Fe a co nejméně škodlivých příměsí - a fyzikální vlastnosti - vlhkost, pevnost a příznivá kusovitost (nejlépe zrna 10 - 25 mm). Některé typy rud není možné nebo vhodné používat přímo, ale předupravují se a do vysoké pece jdou ve formě pelet nebo aglomerátu. Palivem je hutnický koks (viz kapitola Využití uhlí), který zároveň slouží jako redukční činidlo. Jde o hmotu s obsahem uhlíku nad 85 % s vysokou výhřevností. Nejvýznamnějšími struskotvornými přísadami jsou vysokoprocentní vápenec - CaCO₃, dolomit - CaMg(CO₃)₂ nebo přechodný dolomitický vápenec (Majerčák, Majerčáková 1986).

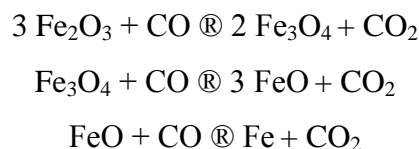
Princip výroby železa ve vysoké peci je následující: koks se spaluje v proudu přehřátého (a někdy zvlhčovaného) vzduchu, který je do pece vháněn zespodu výfučnými. Spalování uvolňuje velké množství tepla při vzniku oxidů uhličitých a uhelnatých. Redukční vlastnosti má jen oxid uhelnatý, oxid uhličitý se na něj ovšem opětovně transformuje při reakci s koksem (3. reakce):



S gravitačním klesáním materiálu do spodní části pece se materiál dostává do oblasti stále vyšších teplot. Při teplotách nad 570 °C se rozkládají i oxidy železa s výjimkou FeO podle schématu:



Redukce železných rud na surové železo probíhá ve dvou stupních. Prvním je nepřímá redukce oxidů železa oxidem uhelnatým, druhým přímá redukce, ke které dochází na styku úlomků koksu a železné rudy:



Vyredukované železo díky své vysoké hustotě klesá do spodní části pece, kde se v nístěji hromadí. Při jeho stékání přes koks však dochází k rozpouštění uhlíku a nauhličení kovu, takže surové železo obsahuje obvykle okolo 3,5 % uhlíku.

Vápenec přidávaný do vsázky v množství asi 200 až 300 kg na 1 t vyrobeného železa se při teplotě nad 800 °C rozkládá podle vzorce $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$. Oxid vápenatý je mimořádně reaktivní látka. Váže na sebe přednostně křemík, který je vždy přítomen v železných rudách jako nežádoucí příměs. Vzniká tzv. struska - směs s převahou křemičitanů vápníku, která na sebe dále váže síru ve formě sulfidů a nezredukované oxidy. Má nízkou hustotu, a tak v nížeji tvoří na surovém železe souvislý povlak. Kromě vazby nečistot má struska i ochrannou funkci - odděluje vyredukované železo od procesů probíhajících ve vyšší části pece a chrání ho před opětovnou oxidací kyslíkem nebo rozpouštěním dalšího uhlíku z koksu.

Struska i surové železo vznikají při tavbě neustále, proto je nutné je z pece pravidelně vypouštět. Surové železo se dále zpracovává na oceli nebo litinu - buď se přepravuje v tekutém stavu, nebo ve formě odlitků - tzv. housek. Struska, vznikající v množství 200 až 1000 kg na 1 t surového železa, má řadu využití ve stavebním průmyslu. Granulovaná se využívá při výrobě cementu, struskový štěrk jako drcené kamenivo, zpěněná struska a hutní pemza slouží k výrobě lehčených stavebních dílů a je možné vyrábět i strusková vlákna. Posledním významným produktem výroby železa je vysokopecní plyn. Obvykle obsahuje okolo 50 - 60 obj. % N_2 , 10 - 18 obj. % CO_2 , 22 - 30 obj. % CO , 1 - 8 obj. % H_2 a pod 1 obj. % CH_4 . Je toxický, výbušný a má relativně malou výhřevnost. Vzniká ho však velké množství - 1500 - 2400 m^3 na 1 t surového železa. Po odprašnění a obohacení slouží pro předehřívání vzduchu vháněného do vysokých pecí nebo pro výrobu tepla.

Celý proces probíhá průběžně a odstávky pecí a přerušení výroby nastávají obvykle jednou za 5 až 15 let. Existuje více konstrukčních variant pecí. Snahou je využít co nejefektivněji teplo a odpadní plyny - obojím se předehřívá vzduch vháněný do pece i pevná vsázka. Pro vylepšení energetické bilance a zvýšení výkonu pece se výfukami může do nížeji přivádět i zemní plyn, ropa nebo její deriváty, uhelný prach nebo kyslík. Základní konstrukce vždy využívají jako vyzdívku žáruvzdorný materiál - nejčastěji šamot (Majerčák, Brož 1988).

Výroba ocelí:

Jak bylo uvedeno v závěru minulé kapitoly, surové železo vyrobené ve vysokých pecích má poměrně vysoký obsah uhlíku a dalších nežádoucích látek - křemíku, síry, fosforu, kyslíku, dusíku a vodíku. Zejména uhlík způsobuje, že surové železo je křehké a nedá se zpracovávat kováním a tažením. Proto se prakticky všechno surové železo dále upravuje tak, aby získalo požadované mechanické, fyzikální a chemické vlastnosti. Tato úprava pomocí změny chemického složení, tváření a tepelného zpracování ústí v pestrou paletu vyráběných ocelí.

Výroba ocelí roztavením surového železa a dalšími procesy se provádí v metalurgických zařízeních několika typů. Nejstarším z nich jsou konvertory (Thomasův a Bessemerův), do kterých jako vsázka slouží tekuté surové železo a oxidace je zajištěna foukáním vzduchu otvory ve dně. Jejich nevýhodou byla omezená možnost zpracování recyklovaného železného odpadu - šrotu. Inovaci představovaly

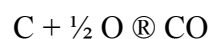
Siemens-Martinské pece, kde využití odpadního tepla k přehřívání topného plynu a vzduchu umožnilo dosáhnout teplot nad 1600 °C. Modernější metodou výroby ocelí jsou LD konvertory, do kterých je místo vzduchu vháněn kyslík tryskami zvrchu skrz strusku. Na zpracování většího množství ocelového šrotu jsou určeny obloukové pece (obr. 8), kde jako zdroj tepla slouží elektrický oblouk mezi grafitovými elektrodami a vsázkou. Využívají se ale i metody mimopecního zpracování oceli v pánvích za atmosférickho tlaku nebo částečného vakua (Parma 1988, Majerčáková 1988).



Elektrická oblouková pec 25 t v ocelárně Poldi Hütte, Kladno. Grafitové elektrody a klenba pece

jsou zdviženy před nasazením nové vsázky.
Foto J. Hodan, 2006.

Existuje několik možností snižování koncentrace nežádoucích látek při výrobě ocelí. První z nich je jejich oxidace kyslíkem, který je vháněn do roztaveného železa. Oxidací je odstraňován zejména uhlík, který přechází do plynné formy:



Vznikající pevné a kapalné oxidy dalších prvků se rozpouštějí ve strusce. Pro vyvázání určitých prvků se používají buď tzv. zásadité strusky s převahou oxidu vápenatého, nebo tzv. kyselé strusky na bázi SiO₂. Strusky jsou za vysokých teplot poměrně reaktivní, takže se jejich složení musí přizpůsobit i chemismus žáruvzdorné vyzdívky. Druhou možností odstranění nežádoucích látek (plynů) z oceli je snížit jejich parciální tlak v atmosféře. Dmýcháním inertních plynů (argon, dusík) nad taveninu nebo tavením v částečném vakuu se odstraňuje vodík, dusík a prvky s nízkou teplotou varu. Snížení obsahu kyslíku na řádově desetitisíciny procenta se provádí přidáním prvků, které mají v tavenině vyšší afinitu ke kyslíku než železo. Jako deoxidáčnící činidla se používají hliník, křemík, mangan, které na sebe navážou kyslík a pak přejdou do strusky. Modernější metody deoxidace jsou použití prvků vzácných zemin, které se v tekutém železe intenzivně slučují s kyslíkem a tvoří stabilní oxidy, případně vyloučení plynů z taveniny pomocí vakua.

Deoxidovaná ocel se dále metalurgicky zpracovává. Přechodem do strusky nebo vazbou na stabilní sulfidy (Mg, Ce, La aj.) se snižuje se obsah síry. V průběhu celé tavby zároveň probíhá legování oceli

- jsou přidávány prvky, které upravují a zlepšují výsledné vlastnosti oceli. Prvky s nižší afinitou ke kyslíku než železo (Ni, Mo, W) se přidávají už před oxidačními procesy, protože nemůže dojít k jejich vyvázání a lépe se v tavenině promísí. Naopak prvky s vyšší afinitou ke kyslíku, jako jsou Mn, Cr, V, Si, Al, Nb a Ti se přidávají až v závěru tavby nebo po odpichu do pánve, aby jejich ztráty oxidací byly co nejmenší (Parma 1988, Majerčáková 1988).

Využití nejvýznamnějších slitin železa - ocelí a litin

Technické slitiny s převahou železa se obecně dělí na litiny a oceli. Litinové výrobky se tvoří odléváním do forem, naprostá většina ocelí se zpracovává tvářením.

Oceli jsou slitiny s převahou železa, obsahující většinou do 2 % uhlíku. Podle obsahu jednotlivých legujících (slutinových) prvků se dělí na legované a nelegované. Podle celkového obsahu legujících prvků se pak oceli dělí na nízkolegované (do 2,5 %), středně legované (2,5-5 %), výše legované (5-10 %) a vysoce legované (nad 10 %).

legující prvek	mezní obsah (hm. %)	legující prvek	mezní obsah (hm. %)	legující prvek	mezní obsah (hm. %)
bismut	0,10	měď	0,40	telur	0,10
bor	0,0008	molybden	0,08	titan	0,05
hliník	0,10	REE	0,05	vanad	0,10
chrom	0,30	olovo	0,40	wolfram	0,10
kobalt	0,10	nikl	0,30	zirkonium	0,05
křemík	0,50	niob	0,06	ostatní	0,05
mangan	1,65	selen	0,10		

Mezní obsahy legovacích prvků pro rozdělení ocelí na legované a nelegované (podle Ptáček et al. 2002). Pozn.: pro REE (prvky vzácných zemin) platí mezní hodnota jednotlivě, ne v jejich celkové sumě. V případě legování více prvků se výsledný mezní obsah stanovuje jako 70 % součtu jednotlivých mezních obsahů.

Podle svých vlastností a vhodnosti ke způsobům zpracování se u nás oceli podle ČSN EN 10020 dělí na:

- nelegované oceli obvyklých jakostí
- nelegované jakostní oceli
- nelegované ušlechtilé oceli
- legované jakostní oceli
- legované ušlechtilé oceli

Oceli jsou podle ČSN EN 10027-1 a ČSN EN 10027-2 označovány kódy vyjadřujícími mechanické a fyzikální vlastnosti, chemické složení, případně i způsob výroby.

Oceli se dále tepelně zpracovávají žíháním, kalením a popouštěním. Do chemicko-tepelných způsobů zpracování patří vytváření tvrdých povrchových vrstev pomocí sycení povrchu ocelí nekovy. Tepelně-mechanické zpracování představuje využití plastické deformace před nebo během fázové přeměny (obr. 9). Těmito postupy se dosahuje vylepšení některých vlastností ocelí, např. snížení vnitřního

pnutí, změnam vnitřní struktury oceli, zlepšení korozivzdornosti a žáruvzdornosti.



Rychlokovací horizontální stroj v kovárně Poldi Hütte, Kladno.
Foto J. Hodan, 2007.

Příklady využití ocelí:

- nelegované oceli obvyklých jakostí: plechy a pásy

- nelegované jakostní a ušlechtilé oceli: ocelové konstrukce, tlakové nádoby, výztuže betonu, kolejnice, nástroje pro práci za studena

- legované jakostní a ušlechtilé oceli: kolejnice, pružiny, nástroje pro práci za studena i za tepla, valivá ložiska, korozivzdorné a žáruvzdorné výrobky

Litiny jsou slitiny s převahou železa, obsahující více jak 2,1 % uhlíku a dále mangan, křemík a další prvky. Uhlík je v nich přítomen nejen ve formě tuhého roztoku uhlíku v železe (tzv. austenit), ale i jako vyloučeniny grafitu různého charakteru. Litiny jsou určeny téměř výhradně k výrobě odlitků. Vyrábí se roztavením surového železa a litinového nebo ocelového odpadu. Tavba litin probíhá nejčastěji v kuplovnách (též kupolních nebo kuplových pecích) - válcových nebo kónických šachtových tavicích pecích. Palivem v nich je slévárenský koks, probíhající reakce jsou obdobné jako při výrobě surového železa. Koks litinu nauhličuje na stanovenou hranici, výsledný obsah uhlíku lze regulovat vsázkou ocelového odpadu, teplotou, obsahem dalších prvků a složením strusky. Existují ale i jiné metody výroby litin - v elektrických indukčních pecích, rotačních bubnových pecích nebo kuplovnách, kde je koks nahrazen plynnými nebo kapalnými uhlovodíkovými palivy. Oproti ocelím mají nižší hustotu, lepší obrobiteľnosť aj. (Gedeonová, Jelč 2000). Podobně jako oceli je podle ČSN EN 1560 označují kódy vyjadřujícími tvar mikročástic grafitu, mechanické vlastnosti nebo chemické složení litiny, případně i její strukturu.

Litiny se podle vnitřní struktury dělí na bílé, grafitické, tvrzené a legované. Bílá litina je tvořena metastabilními fázemi soustavy Fe-C bez přítomnosti grafitu, proto je velmi tvrdá a křehká. Grafit se z ní uvolňuje až po strukturních přeměnách, způsobených např. tepelným zpracováním. Používá se pro výrobu jednoduchých odlitků odolných proti opotřebení. Z grafitických litin (dříve šedé a tvárné litiny) se vyrábí součásti kamen, smaltované zboží, části motorů, ozubená kola, armatury, stojany obráběcích strojů, ocelářské kokily, umělecké výrobky (obr. 10) aj. Tvrzené litiny se vyrábí tepelným zpracováním odlitků z bílé litiny a používají se např. pro výrobu válců pro válcovací stolice a vačkových hřídelí. U nízko- až vysokolegovaných litin se přidávkem dalších prvků (Cr, Mn, Ni, Cu, W, Mo, Sn, Sb, Al, Si, V) dosahuje požadovaných vlastností - žáruvzdornosti a žárupevnosti, oteruvzdornosti, korozivzdornosti a dalších fyzikálních vlastností. Z litin legovaných hliníkem se vyrábí odlitky výfuků a výfukových vedení diesellových motorů a rošty koksárenských topenišť. Litiny legované křemíkem při obsahu Si nad 14 % jsou odolné vůči neoxidujícím kyselinám a mají použití v chemickém průmyslu (čerpadla, kotle). Litiny legované chromem jsou odolné vůči opotřebení a odlévají se z nich např. součásti drtičů a třídičů pro úpravny nerostů. Litiny legované chromem nad 12 % (obvykle 25 až 35 %) odolávají korozi v kyselém prostředí. Z pevných žáruvzdorných litin legovaných niklem, odolných také vůči opotřebení, se vyrábí odlitky pro chladírenskou techniku, čerpadla, ventily, konstrukční díly pecí, sklářské lisovací formy aj.



Původní litinový osmiramenný kandelábr plynové lampy v Praze na Loretánské ulici. Původně jich bylo v Praze tohoto typu 16, dnes jeden ze dvou zachovaných. Práce Komárovských železáren z let 1867-68, podle návrhu architekta Aleše Linsbauera vytvořil sochař Eduard Veselý.