

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLMOUCI

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA

KATEDRA ANORGANICKÉ CHEMIE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**VÝROBA SUROVÉHO ŽELEZA A OCELI
V UČIVU STŘEDNÍCH ŠKOL**

2009

Vedoucí bakalářské práce:
Prof. RNDr. Jiří Kameníček, CSc.

Vypracoval: Igor Zahradník
Obor: chemie – matematika

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou v seznamu použité literatury.

Souhlasím s tím, že práce je prezenčně zpřístupněna na katedře Anorganické chemie Přírodovědecké Fakulty Univerzity Palackého v Olomouci.

V Olomouci dne

.....

Igor Zahradnik

Podpis

Děkuji prof. RNDr. Jiřímu Kameníčkoví, CSc. za odborné vedení, cenné rady a připomínky, které mi ochotně poskytoval při vypracování bakalářské práce.

Děkuji také doc. RNDr. Martě Klečkové, CSc za konzultaci při rozboru středoškolských učebnic.

Dále bych chtěl poděkovat Bc. Janě Prášilové za spolupráci na filmové dokumentaci.

Děkuji také ing. Dušanu Mikmekovi za odbornou konzultaci průmyslové výroby surového železa a oceli.

OBSAH

I. ÚVOD	8
II. TEORETICKÁ ČÁST	9
<u>II.1. OBECNÁ CHARAKTERISTIKA ŽELEZA</u>	9
II.1.1. HISTORICKÝ VÝVOJ VÝROBY ŽELEZA	9
II.1.2. VÝSKYT	10
II.1.2.1. Obrázky některých významných železných rud	11
II.1.2.2. Další železné rudy	11
II.1.3. VLASTNOSTI	11
II.1.3.1. Pasivace	12
II.1.3.2. Koroze	12
II.1.4. VYUŽITÍ	13
II.1.5. SLOUČENINY	13
<u>II.2. VÝROBA SUROVÉHO ŽELEZA</u>	14
II.2.1. PŘÍPRAVA VSÁZKY PRO VYSOKOU PEC	14
II.2.1.1. Kovonosné materiály	14
II.2.1.2. Struskotvorné přísady	15
II.2.1.3. Palivo	15
II.2.2. VYSOKÁ PEC	16
II.2.2.1. Schéma vysoké pece	16
II.2.2.2. Postup výroby	17
II.2.2.3. Reakční pochody ve vysoké peci	17
II.2.2.4. Pomocná zařízení vysoké pece	19
II.2.3. PRODUKTY VYSOKÉ PECE	20
II.2.3.1. Surové železo	20
II.2.3.2. Feroslitiny	20
II.2.3.3. Vysokopecní plyn	21
II.2.3.4. Vysokopecní struska	21
II.2.4. ALTERNATIVNÍ ZPŮSOBY VÝROBY ŽELEZA	21
II.2.4.1. Přímá redukce	21
II.2.4.2. Redukční tavení rud (SR)	22
<u>II.3. VÝROBA OCELI</u>	22
II.3.1. SIEMENS-MARTINSKÉ PECE	22
II.3.2. KONVERTOR	23
II.3.2.1. Technologie výroby	23
II.3.2.2. Polohy konvertoru	24
II.3.3. SEKUNDÁRNÍ METALURGIE	24
II.3.4. PÁNVOVÁ METALURGIE	25

II.3.5. ELEKTRICKÉ PECE	25
II.3.5.1. Obloukové elektrické pece (EOP)	25
II.3.5.2. Indukční elektrická pec	26
II.3.6. TANDEMOVÁ PEC	26
<u>II.4. TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ OCELI</u>	27
II.4.1. KALENÍ	27
II.4.2. POVRCHOVÉ VYSOKOFREKVENČNÍ KALENÍ	28
II.4.3. ŽÍHÁNÍ	28
II.4.4. POPOUŠTĚNÍ	28
II.4.5. CEMENTACE A NITROCEMENTACE	29
II.4.6. NITRIDACE	29
<u>II.5. LEGOVÁNÍ OCELI</u>	29
<u>II.6. ODLÉVÁNÍ OCELI</u>	31
II.6.1. ODLEVÁNÍ INGOTŮ	31
II.6.2. PLYNULÉ ODLÉVÁNÍ	31
<u>II.7. DRUHY OCELI</u>	32
II.7.1. DĚLENÍ PODLE CHEMICKÉHO SLOŽENÍ	32
II.7.1.1. Nelegované oceli	32
II.7.1.2. Nízkolegované oceli	32
II.7.1.3. Vysoclegované oceli	32
II.7.2. DĚLENÍ PODLE OBLASTI POUŽITÍ	32
III. ROZBOR STŘEDOŠKOLSKÝCH UČEBNIC	33
<u>III.1. STŘEDOŠKOLSKÉ UČEBNICE Z HLEDISKA VÝROBY ŽELEZA</u>	34
III.1.1. VÝROBA SUROVÉHO ŽELEZA	34
III.1.1.1. Společný základ (většinou ve všech učebnicích)	34
III.1.1.2 Další doplňující informace pro vybrané učebnice	35
III.1.2. VÝROBA OCELI	36
III.1.2.1. Způsoby výroby oceli	36
III.1.2.2. Úprava oceli	37
III.1.2.3. Druhy oceli	37
<u>III.2. VYSOKOŠKOLSKÉ UČEBNICE</u>	39
IV. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST – VÝUKOVÝ MODUL	40
<u>IV.1. HISTORICKÝ VÝVOJ VÝROBY ŽELEZA</u>	40
<u>IV.2. PŘÍPRAVA VSÁZKY PROVYSOKOU PEC</u>	42
IV.2.1. KOVONOSNÉ MATERIÁLY	42
IV.2.1.1. Železné rudy	42
IV.2.1.2. Úprava rud	42
IV.2.2. STRUSKOTVORNÉ PŘÍSADY	43
IV.2.3. PALIVO	43

<u>IV.3. VYSOKÁ PEC</u>	43
IV.3.1. SCHÉMA VYSOKÉ PECE	44
IV.3.2. TECHNOLOGIE VÝROBY	44
IV.3.2.1. Postup výroby	44
IV.3.2.2. Reakční pochody ve vysoké peci	44
IV.3.2.3. Pomocná zařízení vysoké pece	45
IV.3.3. PRODUKTY VYSOKÉ PECE	46
IV.3.3.1. Surové železo	46
IV.3.3.2. Feroslitiny	46
IV.3.3.3. Vysokopecní plyn	47
IV.3.3.4. Vysokopecní struska	47
<u>IV.4. ALTERNATIVNÍ ZPŮSOBY VÝROBY ŽELEZA</u>	47
<u>IV.5. ZPŮSOBY VÝROBY OCELI</u>	48
IV.5.1. SIEMENS-MARTINSKÉ PECE	48
IV.5.2. KYSLÍKOVÝ KONVERTOR	48
IV.5.2.1. Schéma a popis	48
IV.5.2.2. Technologie výroby	48
IV.5.2.3. Polohy konvertoru	49
IV.5.3. SEKUNDÁRNÍ METALURGIE	49
IV.5.4. ELEKTRICKÉ PECE	49
<u>IV.6. TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ OCELI</u>	50
IV.6.1. KALENÍ	50
IV.6.2. ŽÍHÁNÍ	50
IV.6.3. POPOUŠTĚNÍ	50
IV.6.4. CEMENTACE A NITROCEMENTACE	51
IV.6.5. NITRIDACE	51
<u>IV.7. LEGOVÁNÍ OCELI</u>	51
<u>IV.8. ODLÉVÁNÍ OCELI</u>	51
<u>IV.9. DRUHY OCELI</u>	52
IV.9.1. DĚLENÍ PODLE CHEMICKÉHO SLOŽENÍ	52
IV.9.1.1. Nelegované oceli	52
IV.9.1.2. Nízkolegované oceli	52
IV.9.1.3. Vysocelegované oceli	52
IV.9.2. DĚLENÍ PODLE OBLASTI POUŽITÍ	52
V. DISKUSE	53
VI. ZÁVĚR	56
VII. LITERATURA	57
VIII. PŘÍLOHY	58

I. ÚVOD

S rozvojem průmyslové výroby surového železa a oceli se neustále zlepšuje kvalita výrobků, vyvíjejí se nové technické metody, staré technologie jsou potlačovány a nahrazeny novými. Žáci na školách se pořád učí podle tehdejších postupů, které už mnohdy nejsou vůbec používány. Proto je důležité, aby se žáci dozvěděli nové technologie a poznatky, které jsou dnes běžně využívány.

Cílem bakalářské práce s názvem Průmyslová výroba surového železa a oceli v učivu středních škol bylo zmapovat situaci ve výuce a vytvořit výukový modul, který bude využitelný při výuce na středních školách. Jsou v něm zahrnuty nejnovější metody způsobu výroby železa a oceli, nové technologie a postupy. Modul by měl žákům přiblížit tuto problematiku a měl by být také vyučovací pomůckou pro učitele. Žáci by tak měli lépe pochopit základní principy této výroby, měli by se dovědět o nejnovějších způsobech průmyslové výroby surového železa a oceli.

II. TEORETICKÁ ČÁST

II.1. OBECNÁ CHARAKTERISTIKA ŽELEZA

Obr.1: Čisté železo [8]



Železo, chemická značka Fe, (latinsky Ferrum) je nejrozšířenější přechodný kovový prvek a druhý nejrozšířenější kov na Zemi, zastoupen také ve vesmíru (meteority). Lidstvu je znám již od pravěku. V přírodě se minerály železa vyskytují velmi hojně a železo se z nich získává redukcí ve vysoké peci. Objev výroby a využití železa byl jedním ze základních momentů vzniku současné civilizace. Má všestranné využití při výrobě slitin a pro výrobu většiny základních technických prostředků používaných člověkem. Velmi významné jsou také sloučeniny železa, které se nejčastěji vyskytují v oxidačním stavu II a III.

II.1.1. HISTORICKÝ VÝVOJ VÝROBY ŽELEZA

Železo je lidstvu známo již od prehistorické doby, avšak ne všechny nálezy v přírodě lze pokládat za lidské výtvořiny.

První železo vzniklé činností člověka, které bylo možno opracovávat kovářským způsobem, je tzv. houbovitě železo, které vzniklo nízkoteplotní redukcí železné rudy v tzv. zkujňovacím ohništi. Železná ruda se zahřívala v mělkých jamách s velkým přebytkem dřevěného uhlí rozdmýchávaného měchem. Získaly se tak slinuté kusy kujného železa, které se stavovaly mocným kováním. S tímto způsobem výroby železa se setkáváme prvně u Chetitů (přibližně 3000 let př.n.l.). Chetitě výrobu železa velmi dobře střežili a k jeho rozšíření tak došlo teprve po rozpadu Chetitské říše někdy okolo roku 1200 př. n. l., kdy začíná doba železná.

Počátek doby železné bychom našli také v tajemném a vzdáleném dávnověku. Ve střední Evropě zpracovávali železo poprvé Keltové v údolí Sieg kolem roku 700

před Kr. U nás byly pece na tavení železné rudy objeveny nedaleko Uničova na území Velké Moravy. V nízkých pecích se železná ruda žíhala v ohni z dřevěného uhlí za volného přístupu vzduchu. Tak se vytvořila hrouda železa se struskou. Opakovaným zahříváním a kováním se struska odstranila a železo se pak dále zpracovávalo.

V pozdějším středověku se stavěly již dokonalejší pece. Ve středověku se při zpracovávání přešlo od jam či plochých krbů k malým šachtovým pecím, z nichž se postupem času vyvinuly dnešní vysoké pece. Ve 14. století byl zaveden pohon dmýchadel vodní silou, což vedlo ke zvýšení teploty v peci a získalo se tak železo s větším obsahem uhlíku - litina. Ta sice není kujná, ale lidé se ji velmi brzy naučili zpracovávat na kujné železo novým zahříváním za vydatného přívodu vzduchu - tzv. zkujňování železa.

Významný krok ve zpracování železných rud bylo zavedení koksu jako redukčního činidla na konci 18. století. Jeho použití lze považovat za jeden z hlavních faktorů průmyslové revoluce. Zkujňování železa bylo ve druhé polovině 19. století výrazně zlepšeno pomocí zkujňování větrem (pochod Bessemerův - tzv. bessemerace 1878) a topení s regenerací tepla (proces Siemensův-Martinův 1865). V poslední době bylo pro výrobu vysoce kvalitních ocelí zavedeno tavení v elektrické peci.

II.1.2. VÝSKYT

Železo patří mezi prvky s velmi významným zastoupením na Zemi i ve vesmíru. Dále jsou obsaženy stopy železa v mořské vodě.

V přírodě se železo vyskytuje ve formě sloučenin v mnoha rudách, které mohou být průmyslově využity k jeho výrobě. Železné rudy dělíme:

- Bezvodé oxidy: *hematit* (krevel) Fe_2O_3 ,
magnetit (magnetovec) Fe_3O_4
- Hydratované oxidy *hydrohematit* 62 - 69 % Fe ,
limonit (*hnědel*) 60 - 63 % Fe ,
götit - $\text{FeO}\cdot\text{OH}$, obsahuje 63 % Fe,
- Uhličitany: *siderit* (ocelek) FeCO_3 - uhličitán železnatý (40 % Fe)
- Křemičitany: *chamosit* (šamozit) - $4\text{FeO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 3\text{SiO}_2\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (34-42% FeO)

- Sulfidy: pyrit (disulfid železnatý – FeS_2)

II.1.2.1. Obrázky některých významných železných rud [8]



Obr.2: Limonit – Hnědel



Obr.3: Hematit – Krevel



Obr.4: Pyrit



Obr.5: Magnetit - Magnetovec



Obr.6: Siderit - Ocelek



Obr.7: Ilmenit

II.1.2.2. Další železné rudy

K méně známým rudám železa, které nelze využívat k výrobě železa patří například augit $(\text{Ca}, \text{Mg}, \text{Fe})\text{SiO}_3$, chromit $(\text{Fe}, \text{Mg})\text{Cr}_2\text{O}_4$, kobaltit $(\text{Co}, \text{Fe})\text{AsS}$, jakobsit MnFe_2O_4 , andradit $\text{Ca}_3\text{Fe}_2(\text{SiO}_4)_3$, olivín $(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{SiO}_4$, vivianit $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_3 \cdot 8(\text{H}_2\text{O})$ a wolframit $(\text{Fe}, \text{Mn})\text{WO}_4$.

II.1.3. VLASTNOSTI

Chemicky čisté železo je bílý lesklý kov, poměrně měkký, tažný kujný. Je znám ve třech modifikacích:

- α –železo: stálé do teploty 906°C ,

- γ -železo: stálé od 907°C do 1401°C
- δ -železo: stálé nad 1401°C

Chemicky je elementární železo značně nestálé a reaktivní. Velmi snadno se rozpouští působením minerálních kyselin. V kyselině chlorovodíkové se rozpouští za vzniku chloridu železnatého, který se velmi rychle oxiduje rozpuštěným kyslíkem ve vodě na chlorid železitý. Ve zředěné kyselině sírové se železo rozpouští za vzniku síranu železnatého, který se ovšem delším stáním na vzduchu oxiduje na síran železitý, v koncentrované kyselině sírové se železo rozpouští rovnou za vzniku síranu železitého. Ve zředěné kyselině dusičné se železo rozpouští za vzniku dusičnanu železitého a v koncentrované se pouze na povrchu pasivuje a nerozpouští.

V suchém vzduchu (bez vlhkosti) reaguje železo s kyslíkem až při teplotě 150 °C a se samotnou vodou železo bez přítomnosti kyslíku vůbec nereaguje. Při žíhání železa ve vzduchu nebo jeho reakcí s vodní párou vzniká oxid železnato-železitý Fe_3O_4 . Železo se přímo za horka slučuje s chlórem, sírou a fosforem a má schopnost se slučovat („slévat“) s uhlíkem a křemíkem, naproti tomu se železo vůbec neslučuje s dusíkem.

II.1.3.1. Pasivace

Samovolná nebo řízená tvorba ochranné vrstvy na povrchu kovu, zabraňující korozi a narušení povrchu kovu – např. tmavnutí stříbra, rezivění železa. Pasivace se dosahuje působením chemických látek (Cr, Zn, ..) nebo elektrochemickými metodami.

Koroze kovů ve vodných prostředích má převážně elektrochemický mechanismus. Proto také může být korozní rychlost omezována polarizací kovového povrchu – elektrochemickou ochranou. Většina technicky používaných kovů zakládá svoji korozní odolnost na schopnosti samovolné pasivace.

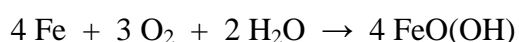
II.1.3.2. Koroze

Koroze je samovolné, postupné rozrušení kovů či nekovových organických i anorganických materiálů (např. horniny či plasty) vlivem chemické nebo elektrochemické reakce s okolním prostředím. Může probíhat v atmosféře nebo jiných

plynech, ve vodě a jiných kapalinách, zeminách a různých chemických látkách, které jsou s materiálem ve styku. Toto rozrušování se může projevovat rozdílně; od změny vzhledu až po úplný rozpad celistvosti.[8]

Koroze je způsobena elektrochemickými procesy. Hlavním činitelem koroze je kyslík a voda dále anionty vzniklé z kyselin (CO_3^{2-} , Cl^- , NO_2^- , SO_4^{2-} , apod.). [8]

Reakce vystihující korozi:



Obr.8: Nejznámější forma koroze [8]

II.1.4. VYUŽITÍ

Vyrobené surové železo obsahuje různé příměsi, zejména větší množství uhlíku (3–5 %). Dobře se odlévá, výsledný produkt - litina, je poměrně pevný a tvrdý, ale velmi křehký a možnost jeho dalšího mechanického opracování po odlití je minimální. Z litiny se vyrábějí předměty u kterých není vyžadována přesná rozměrová tolerance nebo vysoká odolnost proti nárazu. Příkladem mohou být pláty kamen, radiátory ústředního topení, kanálové poklopy nebo podstavce těžkých strojů.

Dalším odstraňováním grafitického uhlíku ze surového železa se získává kvalitnější produkt – ocel, která na rozdíl od litiny je kujná a není křehká. Tato ocel se dá dále zpracovávat a upravovat. Její využití je velmi rozšířené ve všech odvětvích.

II.1.5. SLOUČENINY ŽELEZA

Existuje celá řada at' už anorganických, organických či komplexních sloučenin v různých oxidačních stupních. Nejběžnější oxidační stav je II a III. Kromě těchto nejběžnějších existuje celá řada sloučenin s jinými oxidačními stavy.

Tabulka 9: Příklady sloučenin méně běžných oxidačních stavů

Oxidační stupeň	Název sloučeniny	vzorec
- II	Tetrakarbonylferrid(-2) disodný	$\text{Na}_2[\text{Fe}^{\text{II}}(\text{CO})_4]$
0	Pentakarbonyl železa Tetranitrosyl železa	$[\text{Fe}(\text{CO})_5]$ $[\text{Fe}(\text{NO})_4]$
+IV	Železičitany Př. železičitan barnatý	$\text{M}^{\text{II}}_2\text{FeO}_4$ Ba_2FeO_4
+VI	Železany Př. železan draselný	$\text{M}^{\text{I}}_2\text{FeO}_4$ K_2FeO_4

II.2. VÝROBA SUROVÉHO ŽELEZA

II.2.1. PŘÍPRAVA VSÁZKY PRO VYSOKOU PEC

Vsázku pro vysokou pec tvoří kovonosné materiály, struskotvorné přísady a palivo.

II.2.1.1. Kovonosné materiály

Železná ruda je hornina vhodného chemického a mineralogického složení, s níž lze přiměřenými náklady získat železo žádaného složení.

Železné rudy používané při výrobě surového železa viz str.10. VÝSKYT.

Úprava rud

Železné a manganové rudy se většinou nedají používat přímo ve vytěženém stavu, ale vyžadují vhodnou úpravu. Způsoby úpravy těchto rud je možno rozdělit na úpravy rud za studena (drcení, mletí, třídění, zprůměrnování, obohacování) a na úpravy rud za tepla (pražení, aglomerace, peletizace).

Úprava rud za studena probíhá obvykle v místě těžby.

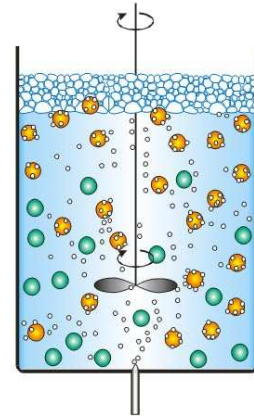
- **Pražení rud** - je jedním z nejstarších způsobů úpravy rud. Podle toho jakých vlastností chceme dosáhnout, rozlišujeme kalcinační pražení, oxidační pražení a magnetické pražení.

- **Obohacování rud** - patří mezi úpravu rud za studena. Rozeznáváme tyto druhy obohacování: vypírání, gravitační rozduřování, flotace, magnetické a elektrostatické rozduřování.

- **Flotace** - Je to separační proces, který má široké průmyslové uplatnění při separaci minerálních rud, uhlí nebo při čištění odpadních vod a recyklaci plastů. Separační proces je založen na rozdílné smáčivosti složek ve směsi. Za přítomnosti vzduchových bublin dochází k vytvoření hydrofobní, špatně smáčivé částice tzv. flokule, jejichž hustota je nižší než hustota okolního kapalného prostředí, a jsou proto dobře vynášeny k hladině. Hydrofilní, dobře smáčivé složky zůstávají ve spodní části (vsázce). [9]

Obr.10: Flotátor [9]

Oranžovou barvou na obrázku jsou znázorněny hydrofobní částice a zelenou hydrofilní částice.



Mezi další úpravy patří například kusovost rud, homogenizace, spékání rud a peletizace rud.

II.2.1.2. Struskotvorné přísady

Mezi takové hlavní přísady patří bauxit Al_2O_3 , hlinitá břidlice, vápenec CaCO_3 , dolomit $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, vápno CaO .

Přidávají se do vysokopecní vsázky proto, aby se z hlušiny kovonosné části a zbytku koksu vytvořila struska vhodného chemického složení a žádaných metalurgických vlastností. Hlavní funkcí strusky je ochrana kapalného železa na jeho povrchu před reakcí se vzdušným kyslíkem.

II.2.1.3. Palivo

Paliva se mohou vyskytovat ve skupenství pevném, kapalném i plynném. Jedná se především o černouhelný koks, antracit, dřevěné uhlí, topné oleje, zemní plyn, koksárenský plyn, vysokopecní plyn.

Hlavními funkcemi paliva je dodávání tepla, které je potřebné k roztavení rudy a struskotvorných přísad, dodávání uhlíku k redukci rudy, dodávání uhlíku k nahličování vyredukovaného železa a tvoří pevnou a pórovitou kostru v surovinách ve VP, takže plyny mohou rovnoměrně proudit.

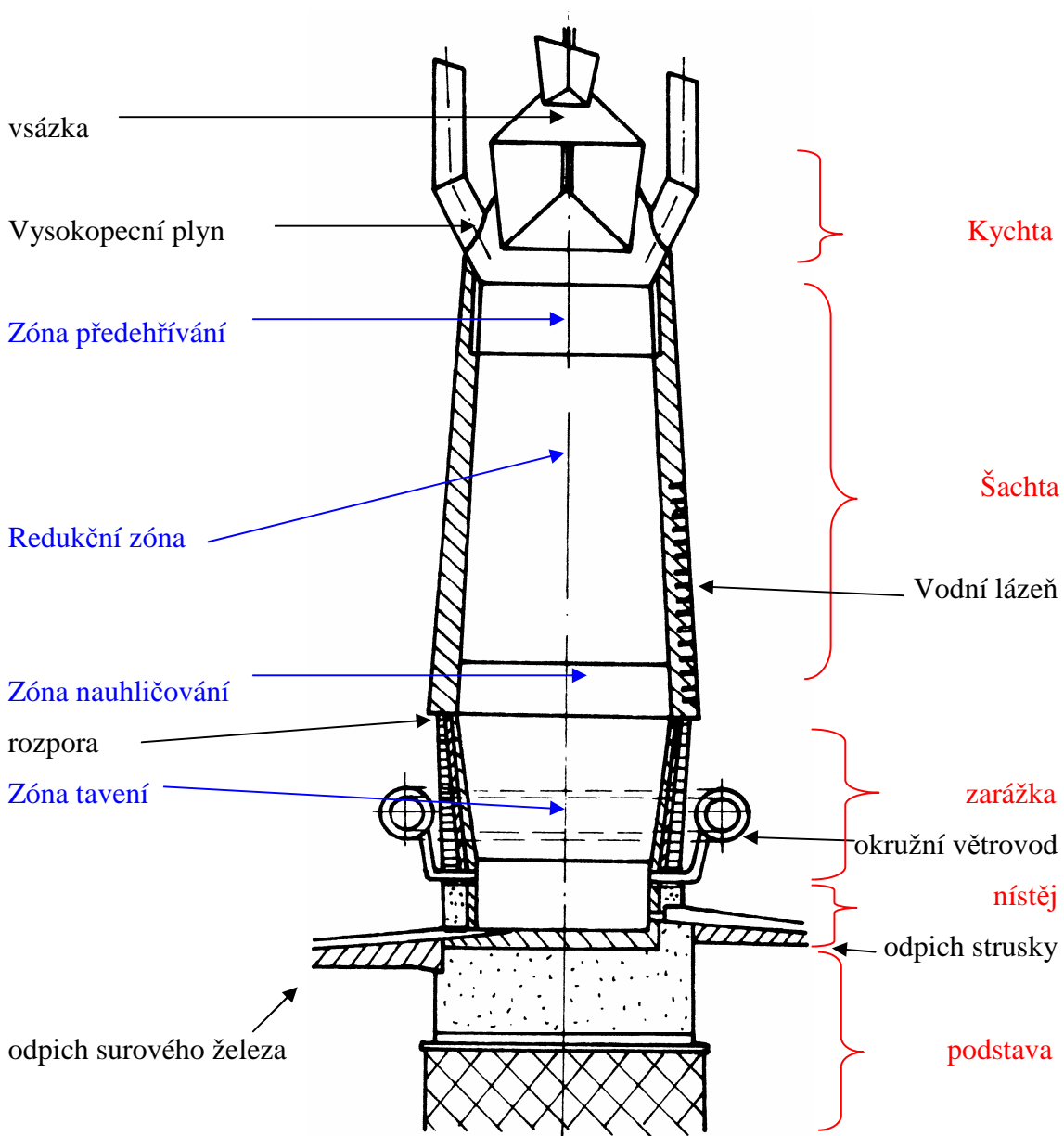
II.2.2. VYSOKÁ PEC

Vysoká pec je šachtová vertikální pec, sloužící k výrobě surového železa redukcí železných rud. Průřez vysoké pece je kruhový. Výška vysoké pece je okolo 25-40m.

Vysoká pec má souvislý ocelový plášť. Uvnitř je vyzděna žárovzdorným materiálem, který se chladí chladnicemi. Nahoře je uzavřena závěrem. Horký vzduch se k vysoké peci přivádí rovným potrubím. Pro strusku a surové železo má vysoká pec (VP) výpusť.

II.2.2.1. Schéma vysoké pece

Obr.11: Schéma vysoké pece



II.2.2.2. Postup výroby

Železo se vyrábí ze železných rud v hutích. Při výrobě železa reagují oxidy železa s oxidem uhelnatým (CO) a uhlíkem ve vysoké peci. Vysoká pec se nepřetržitě automaticky plní vrstvami koksu, železné rudy a vápence. Do spodní části pece se vhání přehřátý vzduch. Spalováním koksu se v dolní části vysoké pece dosahuje teploty 1700 až 1900°C.

Vzniklé železo je nejprve pevné. Při větších teplotách se obohacuje uhlíkem, a tím se zmenšuje jeho teplota tání. Při této teplotě vzniká z hlušiny a vápence kapalná struska, která chrání kapalné železo na jeho povrchu před reakcí se vzdušným kyslíkem.

Struska i roztavené železo se z vysoké pece vypouštějí zvlášť, přibližně každé dvě hodiny. Hutníci mluví o odpichu železa a strusky. Vysoká pec tak pracuje nepřetržitě několik let. Surové železo - litina obsahuje různé příměsi: uhlík, křemík, fosfor, mangan a další prvky. Vyznačuje se velkou pevností a stálostí na vzduchu, je však křehké a není kujné.

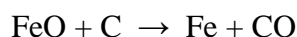
II.2.2.3. Reakční pochody ve vysoké peci

Ze všech pochodů, které probíhají ve VP má největší význam redukce oxidů železa obsažených ve vsázce. Vlastní redukce začíná již v sazebně a kromě oxidační oblasti probíhá v celém objemu vysoké pece. Kromě oxidů železa jsou redukovány i oxidy ostatních prvků, přítomných jako příměsi. Jsou to oxidy manganu, křemíku, fosforu, v menším množství také mědi, niklu, chrómu, vanadu, arsenu, zinku, olova.

Za základní redukční činidla ve VP je možno považovat oxid uhelnatý, uhlík a vodík. Během redukčního pochodu se mění, vznikají oxid uhličitý, oxid uhelnatý a vodní pára. Teoreticky může probíhat zvrtná reakce. Aby k zvrtnému ději nemohlo dojít, je směr reakce ve VP zajišťován nepřetržitým odvodem plynů z pece. Největší podíl na redukci má oxid uhelnatý (40 – 60 %), nejmenší vodík (5 – 20 %).

A/ Přímá redukce

Je endotermická reakce, která probíhá ve vysoké peci při teplotách nad 950°C, při níž se redukují oxidy železa uhlíkem, přičemž vzniká oxid uhelnatý. Např.:

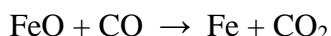
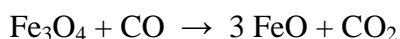
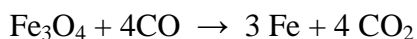
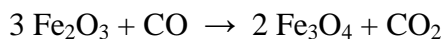


B/ Nepřímá redukce:

Za nepřímou redukci železa považujeme takovou exotermickou reakci, při níž se redukuje oxidy železa (a jiných prvků) obsažené v železných rudách oxidem uhelnatým, který je obsažen v plynech proudících z nístěje do sazební VP. Nepřímá redukce začíná již v sazebně vysoké pece a její další průběh závisí na fyzikálních a chemických vlastnostech rud a na redukční teplotě. Větší část vyrobeného železa pochází právě od nepřímé redukce.

Probíhá v horních částech VP oxidem uhelnatým za vzniku nižších oxidů železa a oxidu uhličitého. Probíhá za nižších teplot a je exotermická. Na průběh nepřímé redukce nemá vliv tlak, a proto není doprovázena změnou objemu.

Průběh nepřímé redukce můžeme vyjádřit zjednodušenými rovnicemi:

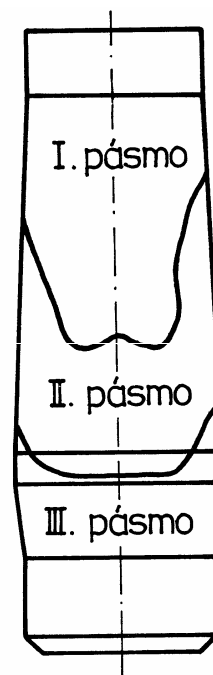


Ve vysoké peci je možno vymezení tři redukční pásma:

I. pásmo - při teplotách pod 800°C probíhá jen nepřímá redukce.

II. pásmo - při teplotách 800 až 1200°C může probíhat současně nepřímá i přímá redukce.

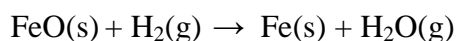
III. pásmo - při teplotách nad 1200°C může probíhat jen přímá redukce.



Obr.12: Redukční pásma ve VP

C/ Redukce vodíkem

Redukce oxidů železa vodíkem je reakce, při níž určitá část oxidů železa ve VP reaguje s vodíkem, který vzniká rozkladem vodní páry obsažené v dmýchaném větru.



Redukce vodíkem se v konečném výsledku celkové redukce neprojeví, protože zplodinou reakce je vodní pára. Ta může při nižších teplotách reagovat s oxidem uhelnatým a při vysokých teplotách uhlíkem z koksu.

II.2.2.4. Pomocná zařízení vysoké pece

Vysokopecní závod je souhrn hlavních a pomocných zařízení potřebných k výrobě surového železa a k odvádění nebo též k využití vedlejších výrobků. Jedním z nejvíce využívaných je například ohřívač horkého vzduchu – tzv. cowper.

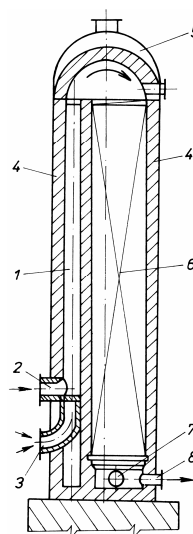
Ohřívače horkého vzduchu – cowpery

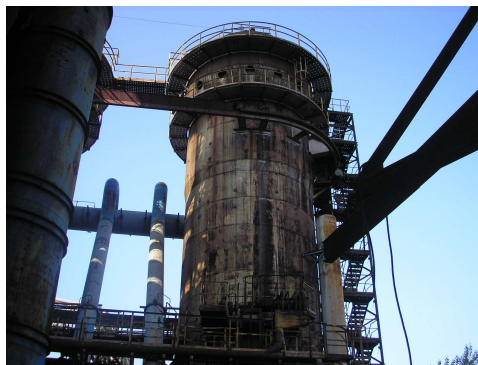
Horký vítr pro vysokopecní proces poskytují ohřívače větru. Ohřívače jsou pomocným zařízením, které je schopno ohřát dmýchaný proud vzduchu. Horký vzduch je zapotřebí k přenosu tepla do pevné vsázky, aby se zvýšila reakční teplota. Horký vzduch také pomáhá při zajištění potřeby kyslíku pro zplynění koksu a při transportu plynu, který při styku se vsázkou redukuje oxidy železa.

Ohřívače se provozují cyklicky. Vyhřejí se hořícími plyny až je v klenbové báni správná teplota (asi 1100 – 1500° C): spalování plynu se potom přeruší a přes větrovody se v opačném směru protlačí studený okolní vzduch. Studený vzduch se ohřeje o horké cihly a tak se vytvoří proud horkého vzduchu (900-1350 °C), který se zavádí do vysoké pece. Proces pokračuje, až ohřívače nemohou dále dosáhnout charakteristické teploty dmýchaného proudu plynu a původní ohřívací cyklus začíná znova. Trvání každého cyklu je individuální .

Obr.13: Cowperův ohřívač

1. Spalovací šachta.
2. Odvod horkého větru.
3. Přívod vysokopecního plynu a vzduchu.
4. Plášť ohřívače.
5. Kopule.
6. Keramické mřížoví.
7. Přívod studeného větru.
8. Odvod spalin.





Obr.14: Historický objekt ohříváče horkého vzduchu (Ostrava-Vítkovice)

II.2.3 PRODUKTY VYSOKÉ PECE

II.2.3.1. Surové železo

Je to slitina železa s uhlíkem (nad 2,5 %) a s jinými prvky, zejména s Si, Mn, P a S. Hlavní surovinou pro výrobu surového železa je železná ruda, která téměř vždy obsahuje mangan.

- **Ocelářenské surové železo**

Je určeno pro výrobu oceli v ocelářských pecích. Je to asi 90 % celkově vyrobeného surového železa.

- **Slévářenské surové železo**

Toto železo se zpracovává ve slévárnách litiny.

Kvalita surového železa je snižována například přítomností arsenu nebo fosforu. Na vyzdívku pece působí nepříznivě měď, olovo, zinek.

Nejvýznamnějším prvkem, který je obsažen v surovém železe je uhlík. Vyskytuje se v surovém železe volně jako grafit nebo je chemicky vázán jako karbid železa Fe_3C (cementit).

II.2.3.2. Feroslitiny

Kromě surového železa se ve vysoké peci vyrábějí také některé feroslitiny, které se používají při výrobě oceli. Nejčastěji to bývají feroslitiny s vysokým obsahem manganu, a to zrcadlovina a feromangan. Z ostatních feroslitin to je ferosilicium, méně

ferochrom. V poslední době se dává přednost výrobě feroslitin v elektrických pecích, protože ve vysoké peci nelze zabránit velkému nahlučení a nedosáhneme tak vysokých teplot.

II.2.3.3. Vysokopecní plyn

Vzniká při vysokopecním pochodu v oxidačním pásmu, prochází závázkou, kterou zahřívá a redukuje, přičemž se mění jeho původní složení, pak se odvádí ze sazební k dalšímu použití. Vysokopecní plyn je prudce jedovatý a ve směsi se vzduchem explozivní. Vysokopecní plyn obsahuje CO, CO₂, N₂, H₂, CH₄. Používá se k vytápění ohřívačů větru, pohonu plynových motorů a k vytápění pecí.

II.2.3.4. Vysokopecní struska

Je tavenina hlušiny, struskotvorných přísad a popela paliva. Obsahuje například SiO₂, Al₂O₃, CaO, MgO, Fe, Mn, TiO₂, S, P. Při výrobě surového železa vzniká v dnešních podmínkách kolem 650 kg na 1 tunu surového železa. Struska se dnes nepovažuje za odpad, ale za vedlejší výrobek hutního závodu. Strusku lze použít k mnohým účelům včetně materiálu pro stavbu silnic, přísad do cementu nebo jako tepelnou izolaci (minerální vlna).

II.2.4. ALTERNATIVNÍ ZPŮSOBY VÝROBY ŽELEZA

Výroba železa ve vysokých pecích se provádí více než 500 let.

Vysoké pece vyžadují koks a koksovy jsou drahé, navíc to velice zatěžuje životní prostředí. Tedy by bylo z ekonomického i ekologického hlediska přínosem vyrábět železo z rudy bez použití koksu. Ale koks nelze nikdy ve vysoké peci zcela nahradit, protože jeho vsázka podporuje fungování procesu. Za odzkoušené alternativní výroby železa se považuje přímá redukce (DR) a redukční tavení (SR).

Dále existuje ve vývoji výroby železa tendence směřující ke kontinuálním procesům namísto vsázkových postupů. Přesun od odlévání ingotů k plynulému odlévání v 80. letech je toho názorným příkladem.

II.2.4.1. Přímá redukce

Přímá redukce zahrnuje výrobu tuhého primárního železa ze železných rud a redukčního činidla (např. zemního plynu). Tuhý produkt se nazývá „Přímá redukované železo“ (DRI-directly reduced iron) a používá se hlavně jako vsázka do elektrických obloukových pecí.

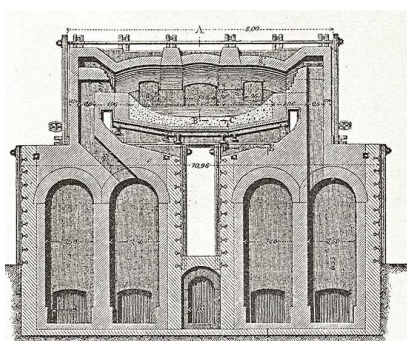
II.2.4.2. Redukční tavení rud (SR)

Zahrnuje kombinaci redukce železné rudy s tavením v reaktoru (podobném vysoké peci), aniž by se použil koks. Produktem je tekuté surové železo, které se může zpracovat a rafinovat stejným způsobem jako surové železo z vysoké pece.

II.3. VÝROBA OCELI

II.3.1. SIEMENS-MARTINSKÉ PECE

Siemens - martinská pec má plochou nístěj ze žáruvzdorného zdiva, v níž se vsázka, tj. obvykle surové železo s přídavkem šrotu, ohřívá plamenem generátorového plynu a vzduchu, nebo spalováním těžkých olejů. Aby se dosáhlo vysoké teploty předehtívá se plyn i vzduch střídavě ve dvou párech regeneračních komor pod pecí, jejichž šamotové kanálkové zdivo bylo předtím rozžhaveno odcházejícími zplodinami hoření. Mezi regeneračními komorami je rezervační zařízení pro měnění směru proudících plynů. Díky vnějšímu přívodu tepla se může v peci zpracovávat surové železo a ocelový odpad v libovolném poměru.



Obr.15: Nákres Siemens-Martinské pece (1895)

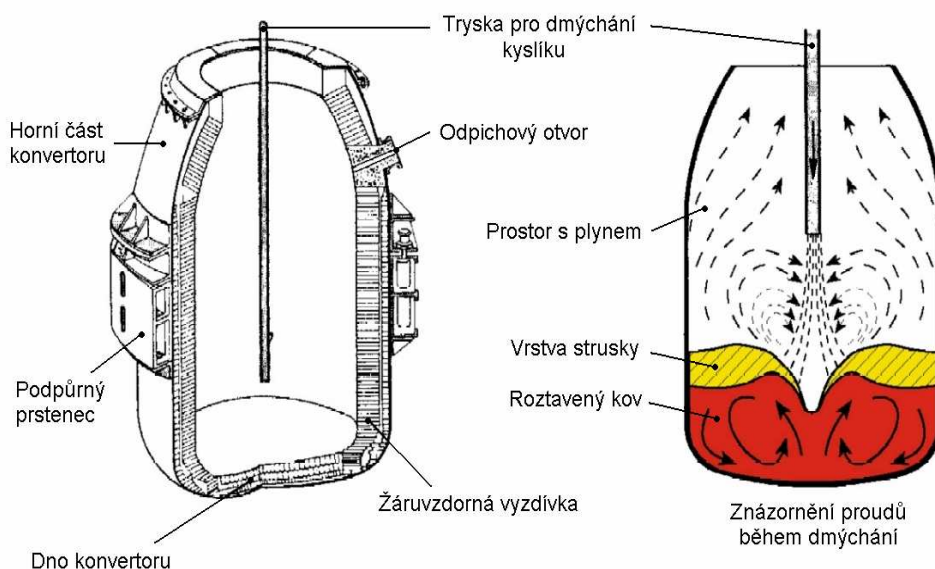


Obr.16: Siemens-Martinská pec

II.3.2. KONVERTOR

Konvertor je nádoba, která se skládá ze tří částí, střední válcovité části a z horní a spodní části, které mají tvar komolých kuželů. Odpichový otvor je obvykle vespod horní kuželovité části.

Zařízení pro sklápění konvertoru musí umožnit naklonění tělesa konvertoru do poloh podle potřeby výrobního pochodu, a to o 270 až 360°. Sklápěcí mechanismus je na elektrický pohon.



Obr.17: Kyslíkový konvertor

II.3.2.1. Technologie výroby

U konvertoru je nezbytně nutné kontrolovat stav vyzdívky. Je to důležité, aby se zajistila spolehlivost a bezpečnost provozu a zabránilo se vzniku havárií.

Sázení kovového odpadu se provádí při sklopení konvertoru na sázecí stranu, sázet se může v takto připraveném konvertoru i ruda.

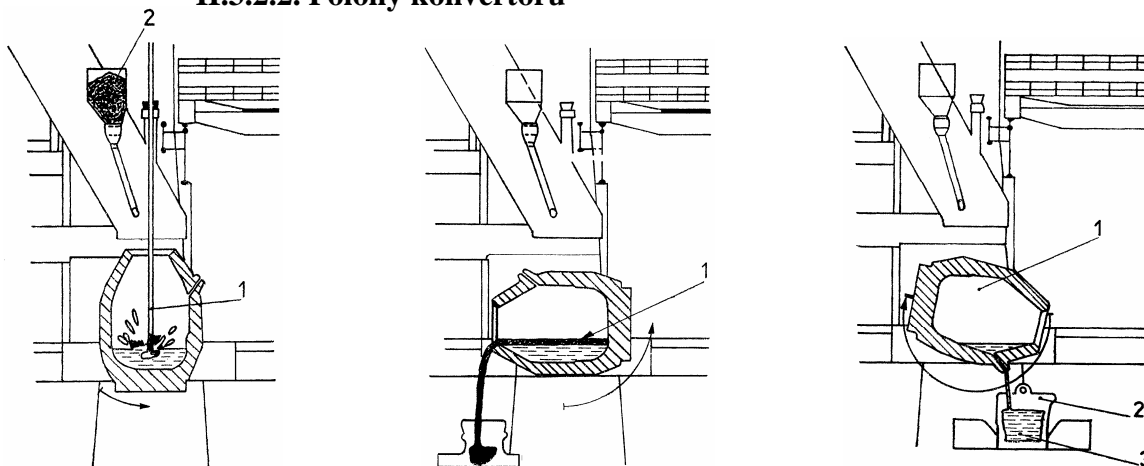
Nalévání tekutého surového železa je nutno provádět s minimálními časovými ztrátami. Rychlost závisí na operativních schopnostech licího jeřábu, tvaru výlevky nalévací pánve a průměru hrdla konvertoru.

Při dmýchání kyslíku musí být konvertor v svislé poloze. Celkové množství kyslíku je vypočteno na základě složení vsázky, teploty surového železa a dosažených

výsledků při výrobě oceli v předchozích tavnách. Na počátku dmýchání se do konvertoru v jedné nebo dvou dávkách sází vápno.

Pokud chemické složení a teplota nejsou v souladu s požadovanou technologií, provádí se tzv. dofuk. Pokud ale odpovídá chemické složení požadované oceli a její teplota dané technologii, následuje odpich oceli do pánve.

II.3.2.2. Polohy konvertoru



Obr.18: Dmýchání kyslíku

1. Kyslíková tryska.
2. Zásobník struskotvorných přísad.

Obr.19: Odpich strusky

1. Struska

Obr.20: Odpich

1. KK v poloze odlévání oceli
2. Licí pánve
3. Vyrobená ocel

II.3.3. SEKUNDÁRNÍ METALURGIE

Úprava která následuje po procesu v konvertoru se skládá z mnoha metalurgických operací. Tato úprava, uváděná jako „sekundární metalurgie“ se vyvinula jako odezva na stále rostoucí požadavky na jakost a vedla k podstatnému růstu produktivity přesunem vsázky při metalurgickém rafinačním procesu mimo konvertor.

Hlavní úkoly sekundární metalurgie:

- míchání a homogenizace
- úprava chemického složení v mezích analytické tolerance
- včasná úprava teploty pro následný proces odlévání
- odkysličení
- odstranění nežádoucích plynů jako jsou vodík a dusík
- zlepšení čistoty oxidace oddělením nekovových příměsí

Nejdůležitějším krokem při sekundární metalurgii je úprava ve vakuu. Ta slouží hlavně k odstranění plynů, vodíku, kyslíku, dusíku nebo zbytkových koncentrací uhlíku z oceli při vakuu až 50Pa. Účelem této operace je oduhličení a oproštění oceli od plynů rozpuštěných za tepla během cyklu dmýchání. Tak se může poklesem tlaku až na 10mbarů snížit hmotnostní obsah kyslíku

II.3.4. PÁNVOVÁ METALURGIE

Sekundární metalurgie, která se provádí na pánvích, se týká procesů a úpravy roztavené oceli po odpichu pece u primární výroby oceli až po odlévání. To se běžně provádí ve stanicích úpravy na pánvi. Tyto stanice se ve velkém množství závodů nacházejí poblíž systému tvorby vakua nebo jednotky vyhřívání obloukem. Další menší stanice mají vybavení pro injektáž inertního plynu nebo prášku.

II.3.5. ELEKTRICKÉ PECE

V elektrických pecích vzniká potřebné teplo proměnou elektrické energie v tepelnou, a to přímo v pracovním prostoru pece. Dosahuje se vysokých pracovních teplot, které se dají snadno regulovat. Vyráběná ocel nepřichází do styku se spalinami, které by ji mohly znečistit. Protože se v elektrických pecích dají vytvořit silně zásadité, ale přitom dobře tekuté strusky, lze vyrobit ocel s velmi malým obsahem síry. Oceli vyrobené v elektrických pecích vynikají proto velkou chemickou čistotou a malým obsahem nekovových vměstků.



Obr.21: Elektrická oblouková
pec [10]

II.3.5.1. Obloukové elektrické pece (EOP)

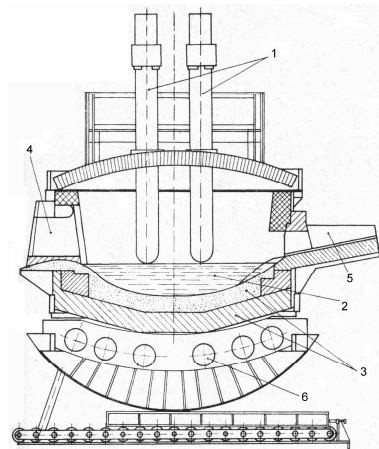
Zdrojem tepla je elektrický oblouk (tok elektronů mezi dvěma elektrodami, nebo mezi elektrodou a kovovou lázní). Podle ohřevu lázně obloukem jsou pece s přímým obloukem, s nepřímým obloukem a pece se zakrytým obloukem.

Pro výrobu oceli se používají elektrické pece s přímým obloukem, pece s nepřímým obloukem jsou vhodné pro tavení neželezných kovů a litiny, pece se zakrytým obloukem se používají při výrobě feroslitin.

Sklopná elektrická oblouková pec se sklápí jak na stranu odpichového, tak na stranu pracovního otvoru.

Obr.21: Sklopná EOP

1. Elektrody
2. Kovová lázeň
3. Vyzdívka a výduska
4. Sázečí otvor
5. Odpichový otvor
6. Sklopné zařízení

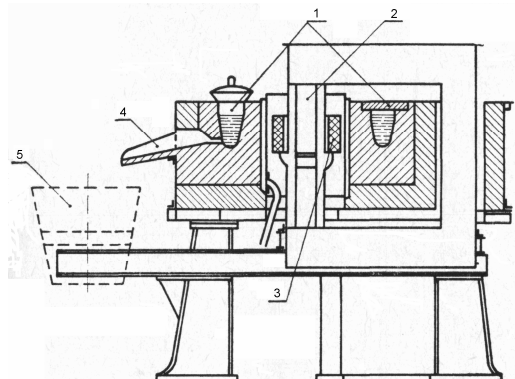


II.3.5.2. Indukční elektrická pec

Teplu vzniká indukovaným proudem buď přímo v kovové vsázce, nebo ve stěnách kovového pláště u nízkofrekvenčních indukčních pecí (s železným jádrem). Pece se používají pro tavení neželezných kovů a slitin. Vsázka musí být elektricky vodivá. Podstatou této pece je transformátor, jehož primární vinutí se připojí na střídavý proud. Sekundárním vinutím je závit nakrátko vytvořený vsázkou. V závitě se nakrátko indukuje velký sekundární proud o malém napětí. Princip elektromagnetické indukce spočívá v tom, že pohybující se magnetické pole je schopno aktivovat volné elektrony ve vodiči tj. indukovat ve vodiči napětí a v důsledku toho elektrický proud.

Obr.22: Nízkofrekvenční indukční pec

1. Kruhový žlab
2. Železné jádro
3. Cívka
4. Odpichový žlab
5. licí pánev



II.3.6. TANDEMOVÁ PEC

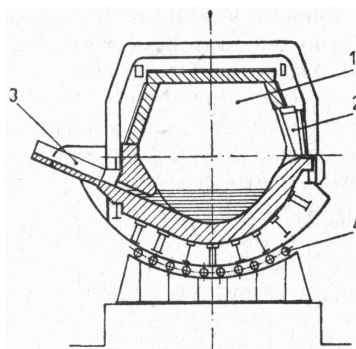
Je dvounístějová pec bez regenerátoru. Podle konstrukce jsou tandemové pece pevné (stabilní) a sklopné.

pevná tandemová pec - je podstatně levnější, ale výhodná je jen tehdy, není-li třeba při pochodu stahovat strusku.

sklopná tandemová pec - je sestavena ze dvou samostatně sklopných nístějí, které jsou navzájem propojeny krátkým kruhovým mezikusem (krčkem). Sklopná nístěj umožňuje dobré stahování strusky.

Obr.23: Příčný řez dvounístějovou pecí

1. Pracovní prostor pece
2. Sázečí otvor
3. Odpichový žlab
4. Sklápěcí zařízení



II.4. TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ OCELI

II.4.1. KALENÍ

Kalení je tepelné zpracování kovů, při kterém se z kalící teploty materiál prudce ochlazuje. Ochlazování může probíhat:

- **Voda:** nenáročné a levné kalící prostředí, nejintenzivnější kalící prostředí, dosahuje se zde nadkritických rychlostí ochlazování, nevýhodou tohoto kalícího prostředí je vznik velkého pnutí v zakalené součásti.
- **Olej:** mírnější kalící prostředí ochlazování 10x menší než voda .
- **roztavené solné lázně** - plynulé ochlazování dosáhne se nejmenšího vnitřního pnutí.
- **vzduch**
- **roztavené kovové lázně** - používáme jen v některých případech, podobné vlastnosti jako solné lázně.

Kalením získáváme lepší mechanické a fyzikální vlastnosti (tvrdost), ale zvyšuje se také i křehkost. V případě oceli dochází k vzniku přesyceného tuhého roztoku uhlíku v železe, mj. i ke vzniku tzv. cementitu Fe_3C .

Kalení je prováděno jak u nástrojových ocelí, tak u ocelí konstrukčních, a to pro zlepšení určitých mechanických vlastností. Kalením se dosahuje u součástí vysoké tvrdosti a odolnosti proti opotřebení.

II.4.2. POVRCHOVÉ VYSOKOFREKVENČNÍ KALENÍ

Této technologie se využívá v případech, kdy se potřebuje tepelně zpracovat pouze určitá plocha součásti (např. ozubení u řetězových a ozubených kol, vybrané průměry na hřídelích, jehly, atd.)

Ohřev je realizován induktorem příslušného tvaru (jím prochází střídavý proud mající vysoký kmitočet, který mžikově ohřeje pouze povrch kovu), následuje ochlazení vodní sprchou nebo lázní.

Výsledkem je vysoká povrchová tvrdost při zachování měkkého a houževnatého jádra.

II.4.3. ŽÍHÁNÍ

Podstatou žíhání je ohřev součásti na žíhací teplotu (pro různé materiály a způsoby žíhání různá), setrvání (výdrž) na této teplotě po určitou dobu a potom obvykle velmi pomalé ochlazování. U oceli na spojovací součásti je žíhací teplota těsně pod $721^{\circ}C$, kde zůstane materiál po několik hodin a následně pomalu ochlazován tak, aby došlo ke změknutí.

II.4.4. POPOUŠTĚNÍ

Tento proces následuje obvykle po kalení. Zakalené předměty jsou totiž sice velmi tvrdé, ale zároveň i velmi křehké. Z toho důvodu se dále tepelně zpracovávají popouštěním. Zakalené součásti se ohřejí na teploty od $150^{\circ}C$ do $600^{\circ}C$, po prodlevě

na popouštěcí teplotě pomalu chladnou. Dostáváme tak kompromis mezi tvrdostí a křehkostí, uvolní se tím vnitřní pnutí.

II.4.5. CEMENTACE A NITROCEMENTACE

Pod cementací se rozumí nasycení povrchu cementační oceli uhlíkem a následné kalení. Výsledkem tohoto zpracování jsou konstrukční díly nebo nástroje s tvrdým povrchem odolným proti opotřebení, jejichž jádro zůstává zároveň měkké a houževnaté. U nitrocementace se povrch obohacuje navíc dusíkem.

II.4.6. NITRIDACE

Nitridace je proces syčení povrchu oceli dusíkem. Nitridační vrstva dosahuje tvrdosti, která je úměrná obsahu legujících prvků v oceli tvořící tvrdé nitridy (např.: CrN, VN, TiN, NbN,...).

II.5. LEGOVÁNÍ OCELI

Je to část výroby oceli, kdy se záměrným přidáváním určitých kovů, tzv. legujících prvků do tekuté oceli dosahuje předepsaného chemického složení. Legující prvky zlepšují jakost nebo dodávají oceli požadované vlastnosti.

Postup při legování oceli závisí především na afinitě legujících prvků ke kyslíku. Prvky, které mají malou afinitu ke kyslíku (proto mají malé ztráty propalem), mohou se přidávat v kterémkoli období tavby. Nikl, kobalt, molybden se přidávají již do vsázky i v podobě legujícího odpadu. Ostatní legující prvky se přisazují do pece během tavby. Málodky jsou legující prvky v podobě čistého kovu, většinou se vyskytují jako feroslitiny.

K legování se používají feroslitiny, čisté kovy, jejich neželezné slitiny i jejich chemické sloučeniny. Nejčastěji se používají feroslitiny, hlavně u kovů s vysokou teplotou tání, protože feroslitiny mají vždy nižší teplotu tání než čisté kovy a snadněji se

v železe rozpouštějí. Použití chemických sloučenin jako legujících přísady je poměrně velmi vzácné.

Nejdůležitější legující prvky jsou Cr, Co, Mn, Mo, Ni, Si, Ti, V, W:

Tabulka 24: Nejdůležitější legující prvky a jejich vlastnosti

Prvek	Chem. značka	V jaké formě se používá?	Co ovlivňuje?	Použití
Mangan	Mn	Feroslitiny (zrcadlovina, feromangan)	tvrdost	pancíře
Chrom, nikl	Cr, Ni	Čistý Ferochrom Ferochrommolybden Ferosiliciumnikl Ferochromnikl	Tvrdost Mechanická odolnost Antikorozní ochrana	Geol.vrtné nástroje Nerezové oceli
Křemík	Si	Ferosilicium	Tvrdost Chemická odolnost	
Kobalt	Co	Kovový	Tvrdost Pevnost Odolnost (mechanická)	Speciální nástrojové oceli Rychlořezná ocel Turbíny Letecké motory
Vanad	V	Ferovanadu	Tvrdost Chemická i mechanická odolnost (i za vyšších teplot)	Chirurgická ocel Letecký průmysl (motory)
Wolfram	W	Čistý Ferowolfram Kovový wolfram Ferowolfram	Tvrdost Mechanická i tepelná odolnost	Rychlořezná ocel Teplotně namáhané součástky (turbíny, vrtací hlavice)
Molybden	Mo	Feromolybden Čistý	Tvrdost Mechanická a korozní odolnost	Mechanicky namáhané součásti
Titan	Ti	Ferotitan Ferosiliciumtitanu	Tvrdost Chemická odolnost	Vesmírné sondy Družice Letecký průmysl
Niob	Nb	Feroniob	Chemická a teplotní odolnost	Konstrukce potrubních systému

II.6. ODLÉVÁNÍ OCELI

Když se dosáhne konečné jakosti oceli, převede se ocel v odlévací pánvi k odlévacímu stroji. Ještě nedávno bylo standardní metodou odlévat roztavenou ocel do stabilních forem (kokil). Dnes se volí metoda plynulého odlévání, při kterém se ocel odlévá do nepřetržitého pásu.

II.6.1. ODLEVÁNÍ INGOTŮ

Při odlévání ingotů se tekutá ocel odlévá do odlévacích forem.

V závislosti na požadované jakosti povrchu se mohou během odlévání do ingotové formy přidávat odplyňovací činidla (jako NaF). Po vychladnutí se ingoty vyklopí z odlévací formy a přepraví se do válcoven.

Následně se ingoty po ohřevu válcují. Na mnoha místech se odlévání ingotů nahradilo plynulým odléváním. Očekává se, že odlévání ingotů bude během času téměř zcela nahrazeno plynulým odléváním, vyjma těch případů, kdy některé výrobky vyžadují pro dosažení potřebné jakosti odlití do ingotů, jako tomu je při výrobě těžkých vah pro kování.

II.6.2. PLYNULÉ ODLÉVÁNÍ

Plynulé odlévání nabízí několik významných přínosů:

- úspory energie, nižší emise a menší spotřeba vody
- zlepšené pracovní podmínky
- vysoké podíly výtěžnosti větší než 95 %
- vysokou produktivitu

II.7. DRUHY OCELI

V současné době je vyráběno asi 2 500 druhů ocelí, viz ČSN (česká národní norma). Ocele rozdělujeme do skupin jednak podle chemického složení, jednak podle struktury a mechanických a fyzikálních vlastností.

II.7.1. DĚLENÍ PODLE CHEMICKÉHO SLOŽENÍ

II.7.1.1. Nelegované oceli

Zvané také uhlíkové oceli. Obsah legujících prvků je nižší než 2,11%. Zpravidla nejsou tepelně zpracovány.

II.7.1.2. Nízkolegované oceli

Obsah legujících prvků po odečtení obsahu uhlíku je nižší než 5%. Mají podobné vlastnosti jako oceli nelegované, ale jsou vhodné pro tepelné zpracování. Tepelným zpracováním je u nich možno ovlivnit mechanické vlastnosti.

II.7.1.3. Vysocelegované oceli

Obsah legujících prvků je vyšší než 5%. Kombinací legujících prvků se dosahuje potřebných mechanických, fyzikálních a chemických vlastností.

II.7.2. DĚLENÍ PODLE OBLASTI POUŽITÍ

- **Betonářská ocel:** na armovací drát nebo tyče ve stavebním průmyslu. Většinou nelegované nebo nízko legované oceli .
- **Stavební ocel:** jsou zpravidla nelegované oceli používané ve strojírenství, stavbě budov apod.
- **Oceli na pružiny:** „pérová ocel“, musí vykazovat dobré statické a dynamické vlastnosti. Vhodné jsou zde nelegované oceli s vyšším obsahem uhlíku a oceli slitinové se zvýšeným obsahem manganu a chrómu .
- **Automatové oceli:** jsou oceli s přísadou síry nebo olova a snadným lomem třísky při obrábění.
- **Ocel k cementování:** do této skupiny patří oceli s nízkým obsahem uhlíku, které mají i po kalení dobré plastické vlastnosti. Vysoké tvrdosti povrchu se dosahuje obohacením povrchových vrstev uhlíkem před kalením.

- **Hlubokotažné oceli:** jsou používány na výrobu hlubokotažných plechů. Plechy musí vykazovat především dobré plastické vlastnosti. Tyto oceli jsou nízkouhlíkové s minimálním obsahem doprovodných prvků. Zlepšení mechanických vlastností a jejich stability se dosahuje mikrolegováním hliníkem, titanem, vanadem, borem, zirkoniem a niobem. Jsou to zejména materiály pro karosářské plechy.
- **Ocel pro elektrotechnické plechy:** pro výrobu jader transformátorů a točivých strojů musí mít charakteristické magnetické vlastnosti, ale současně také schopnost k technologickému zpracování. Těmto účelům nejlépe vyhovují oceli s obsahem 1 až 4,5% křemíku (Si) a s minimálním obsahem uhlíku a dalších doprovodných prvků.
- **Antikorozní a žáruvzdorné oceli:** vyrábějí se jako austenitické, nebo feritické oceli. Feritické obsahují minimálně 10% chrómu, austenitické jsou ještě legovány niklem. Austenitické oceli jsou za pokojové teploty nemagnetické.
- **Nástrojové oceli** – jsou většinou slitinové středně a vysocelegované oceli s vyšším až vysokým obsahem uhlíku a používají se na výrobu nástrojů a forem. Označují se číslem 19xxx.
- **Damascenská ocel:** materiál na výrobu šavlí, mečů ap. Je znám svou vysokou pružností a pevností. Tento materiál však není jedním druhem oceli, ale sestává z různých druhů oceli, které jsou svařeny v ohni a kováním.

III. ROZBOR STŘEDOŠKOLSKÝCH UČEBNIC

III.1. STŘEDOŠKOLSKÉ UČEBNICE Z HLEDISKA VÝROBY

ŽELEZA

Středoškolské učebnice bychom mohli rozdělit do několika skupin, podle toho na jakém typu středních škol se používají:

A/ gymnázia a střední školy viz literatura [1], [2], [3]

B/ středních odborné školy a průmyslovky viz literatura [4], [5]

C/ učiliště a další školy, kde se chemie učí jen jako doplňující předmět viz literatura [6]

Je mnoho učebnic, které školy a učitelé mají k dispozici. Záleží na výběru samotné školy a na pedagogovi, jakou učebnici žákům doporučí.

Všechny tyto uvedené učebnice mají vzhledem k průmyslové výrobě surového železa a oceli mnoho věcí společného, avšak samozřejmě jsou i rozdíly mezi těmito učebnicemi. Některé jsou více podrobnější, jiné vystihují reakční pochody nebo jsou třeba doplněné názornými schématy a obrázky. Toto všechno hraje velkou roli a proto se nyní dále podíváme jaké jsou rozdíly mezi jednotlivými učebnicemi.

III.1.1. VÝROBA SUROVÉHO ŽELEZA

III.1.1.1. Společný základ (většinou ve všech učebnicích)

A/ Železné rudy

V učebnicích se nejčastěji uvádějí:

- hematit (krevet)
- magnetit (magnetovec)
- limonit (hnědel)
- pyrit (kyz železný)
- siderit- ocelek (FeCO_3)

Ve všech učebnicích je zmínka aspoň o pár železných rudách.

B/ Vysoká pec

Schéma vysoké pece je ve zjednodušené podobě uvedeno skoro ve všech zmíněných učebnicích, akorát v učebnici [1] tento náčrt není uveden. V učebnici [3] se navíc dovídáme i technologický postup výroby surového železa.

C/ Reakce ve vysoké peci

V předehřívací zóně se koks se směsí rudy a vápence se živcem předehřeje asi na 400°C. Tím se navážka zbaví vody. Uhlík se nejprve oxiduje na oxid uhličitý, ten se rozžhaveným koksem redukuje na oxid uhelnatý. $C + O_2 \rightarrow CO_2$



Tyto základní reakce jsou vystiženy ve všech učebnicích. Navíc v učebnicích [1], [4], [5] jsou dále vystiženy přímé a nepřímé redukce železných rud. Např.:

1. nepřímá redukce: $FeO + CO \rightarrow Fe + CO_2$
2. přímá redukce: $Fe_2O_3 + 3C \rightarrow 2 Fe + 3 CO$

D/ Produkty vysoké pece

V učebnicích se nejčastěji uvádějí jako produkty vysoké pece surové železo a struska. V učebnici [5] navíc je uvedeno přibližné složení strusky. V učebnici [4] je potom dále zmínka o vysokopecním plynu. V učebnicích [1], [3], [5] se o těchto produktech moc nepíše.

III.1.1.2 Další doplňující informace pro vybrané učebnice

E/ Údaje o provozu vysoké pece [3], [4]

Z této kapitoly se v učebnicích dovídáme například o denní produkci surového železa ve vysoké peci, o spotřebě surovin, vzduchu nebo vody.

F/ Koroze [1]

Pouze v této učebnici je věnována pozornost korozi. V ostatních uvedených učebnicích se o této problematice nepíše.

III.1.2. VÝROBA OCELI

Tato problematika výroby oceli je v každé učebnici zpracována trochu jinak, ale v mnohém se tyto učebnice shodují.

Základem principu výroby oceli spočívá ve snížení obsahu uhlíku (pod 1,7%), křemíku, manganu a fosforu oxidací vzdušným kyslíkem. Uvedené prvky se spalují silně exotermními reakcemi.

III.1.2.1. Způsoby výroby oceli

Ke zkoumání se používají tři základní způsoby výroby oceli. Patří mezi ně výroba v konvertorech, v Martinských pecích a v elektrických pecích

A/ Kyslíkový konvertor

Konvertor je hruškovitá nádoba, ve dně je řada otvorů, kterými se přivádí pod tlakem vzduch. Do vyhřátého konvertoru, který je v šikmé poloze se napustí surové železo o teplotě asi 1200 °C.

Ve všech učebnicích, kromě učebnice [3] se vyskytuje stručný popis nebo aspoň malá zmínka. V učebnici [3] nejsou vůbec uvedeny způsoby výroby oceli. V učebnici [4] se navíc vyskytuje i názorný obrázek kyslíkového konvertoru.

B/ Martinské pece

Při tomto způsobu výroby oceli se vsázka tvořená surovým železem, šrotem a vápencem zahřívá v pecích vyhříváných generátorovým plynem.

Tento způsob výroby je také zmíněn ve všech učebnicích kromě [3]. V učebnici [1] jsou pouze uvedeny způsoby výroby oceli, nikoli podrobnější popis. V učebnici [4] se vyskytuje opět názorný obrázek.

C/ Elektrické pece

Výroba probíhá v obloukových nebo indukčních pecích. Výhodou je, že se při vyšších teplotách dosáhne dokonalejšího odstranění nežádoucích příměsí. Nevýhodou je spotřeba dražší energie. Tato metoda slouží k výrobě těch nejkvalitnějších ocelí. Kromě učebnice [3] je tomuto způsobu výroby věnována pozornost ve všech učebnicích.

III.1.2.2. Úprava oceli

Nejčastější úpravy, o kterých byla zmínka jsou legování oceli, kalení a popouštění. Avšak ve všech učebnicích se o těchto úpravách nepíše. Například v učebnici [4] není vůbec o úpravách oceli zmínka.

A/ Legování

Jedná se o úpravu, kdy přidávkem různých kovů můžeme měnit nebo zlepšovat vlastnosti. Nejčastěji se hovoří například o chromu nebo niklu.

B/ Kalení

Jedná se o tepelné zpracování, kde ocel prudce chladíme. Tato ocel je tvrdá, ale velmi křehká.

C/ Popouštění

Tento proces následuje obvykle po kalení. Zakalené součásti se ohřejí na teploty od 150 °C do 600 °C, po prodlevě na popouštěcí teplotě pomalu chladnou. Dostáváme tak kompromis mezi tvrdostí a křehkostí, uvolní se tím vnitřní pnutí.

III.1.2.3. Druhy oceli

Tato problematika je v každé učebnici zpracována docela odlišně. V některých učebnicích jsou uváděny například dělení podle chemického složení, v jiných například podle oblasti použití. V některých učebnicích např. [1], [3], [4] není vůbec tato problematika zpracována.

A/ Dělení podle chemického složení

- Nelegované oceli - Obsah legujících prvků je nižší než 2,11%.

- .Nízkolegované oceli- Obsah leg. prvků po odečtení obsahu uhlíku je nižší než 5%.
- .Vysoce legované oceli- Obsah legujících prvků je vyšší než 5%.

B/ Dělení podle oblastí použití

Stavební ocel,automatové oceli, betonářská ocel, oceli na pružiny, ocel k cementování, ocel pro elektrotechnické plechy, hlubokotažné oceli, ocel k zušlechťování, antikorozi a žáruvzdorné oceli, nástrojové oceli.

C/ Navíc jsou ještě v učebnici [5] zpracovány druhy oceli a jejich použití

- chromová ocel – (2% Cr), řezací nástroje, ložiska
- niklová ocel – (5% Ni), namáhané součástky automobilů
- wolframová ocel – (20% Cr + 8% Ni) nerezavějící konstrukční materiály
- kobaltová ocel – slouží k výrobě magnetů
- křemíková ocel – používá se na mostní konstrukce

Tabulka 25.: shrnutí učebnic

	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
1.Železné rudy ¹	*	*	*	*	*	*
2.Vysoká pec-nákres		*	*	*	*	*
3.Vysoká pec-reakce²	*	*	*	*	*	*
4.Produkty vysoké pece³		*		*	*	
5.Údaje o provozu. bys. Pece ⁴			*	*		
6.Koroze	*					
7.Způsoby výr.oceli⁵	*	*		*	*	*
8.Úpravy oceli ⁶	*		*			
9.Druhy ocelí⁷		*			*	*

* v učebnice se vyskytují informace o daném tématu

¹ jedná se především o některé z těchto rud: hematit, magnetit, limonit, pyrit a siderit.

² jedná se především o reakce oxidace uhlíku a redukce oxidu uhelnatého

³ jde hlavně o surové železo a strusku

⁴ jedná se především o provozní údaje vysoké pece

⁵ výroba v konvertorech, siemens-martinských pecích a elektrických pecích

⁶ jde především o legování, kalení, popouštění

⁷ druhy oceli na základě dalšího dělení (oblast použití a konkrétního využití, chemické složení)

III.2. VYSOKOŠKOLSKÉ UČEBNICE

K nejvíce používaným na vysokých školách patří učebnice J. Neisera [7]. Dále je v této učebnici již kromě dříve zmiňovaných poznatků mnoho dalších informací. Dovídáme se zde například o přípravě vysokopecních surovin, kde je blíže popisována úprava rud (aglomerace, briketování, peletizace).

Dále se zde můžeme dočíst o podrobnějších informacích o produktech vysoké pece. Je zde například dělení surového železa podle jeho dalšího zpracování (ocelářské železo, slévárenské železo, feroslitiny). Můžeme se zde dočíst také o využití strusky nebo vysokopecního plynu.

V učebnici je také věnována větší pozornost druhům železa (soustava železo-grafit, soustava železo-karbid triželeza).

IV. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

V této části bude navržen výukový modul, který bude využitelný přímo ve výuce. Na základě tohoto modulu bude vyučující prezentovat problematiku Výroby surového železa a oceli. K dispozici bude také prezentace (Microsoft PowerPoint), která bude názornou pomůckou, obsahující názorné schémata, obrázky či chemické pochody.

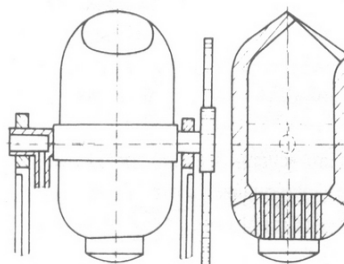
IV.1. HISTORICKÝ VÝVOJ VÝROBY ŽELEZA

Původně se železo vyrábělo přímo z rud v pecích různých obměn, vytápěných dřevěným uhlím. Vyredukované železo ve formě tzv. železné houby bylo pórovité a nebylo dobře oddělené od strusky, díky menšímu obsahu uhlíku ale bylo kujné. [10]

Inovací 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 %. [10]

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. 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. %. [10]

Střední část nádoby je válcová, ve dně konvertoru jsou otvory, jimiž je do lázně dmýchán vzduch.



obr.26: Schéma konvertoru se spodním dmýcháním vzduchu

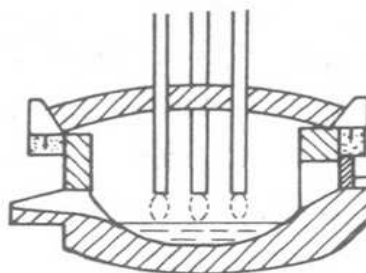
Dalším pokrokem bylo použití pecí s uzavřenou nístějí a předehříváním topného plynu a vzduchu, umožňujících dosažení vyšších teplot a zpracování neomezeného množství ocelového odpadu (šrotu).

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. [10]

V roce 1902 se ocel začala vyrábět v elektrických obloukových pecích (zahřívání elektrickým obloukem mezi elektrodami a taveninou)

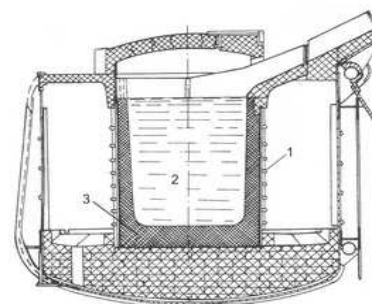
Obr.27: Elektrická oblouková pec s přímým ohřevem [10]

Elektrody jsou uloženy svisle a oblouk se vytváří mezi každou elektrodou a kovovou vsázkou.



Obr.28: Elektrická indukční pec [10]

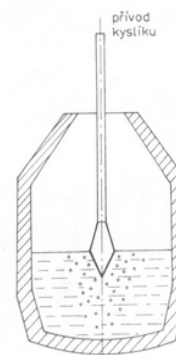
vertikálně uspořádaným tavicím žlábkem - měděným induktorem (1) se přivádí střídavý proud, přechodem indukovaného proudu mezi (1) a kovem (2) v kelímku (3) se kov ohřívá a taví.



V současnosti jsou pro výrobu oceli nejvyužívanější kyslíkové konvertory. Zkujňování v nich probíhá dmýcháním kyslíku do tekutého surového železa .

Obr.29: Schéma kyslíkového konvertoru s vrchním dmýcháním kyslíku [10]

Tryskou je do kovové lázně vháněn kyslík pod dostatečným tlakem, aby pronikl vrstvou strusky a až do požadované hloubky lázně.



IV.2. PŘÍPRAVA VSÁZKY PROVYSOKOU PEC

Vsázku pro vysokou pec tvoří :

- kovonosné materiály
- struskotvorné přísady
- palivo

IV.2.1. KOVONOSNÉ MATERIÁLY

IV.2.1.1. Železné rudy

Železná ruda je hornina vhodného chemického a mineralogického složení, s níž lze přiměřenými náklady získat železo žádaného složení. Z chemického hlediska se železné rudy dělí na:

- Bezvodé oxidy: *Hematit* (krevel) Fe_2O_3 ,
Magnetit (magnetovec) Fe_3O_4
- Hydratované oxidy - obsahují vodu, mají souhrnné vzorce $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$:
Hydrohematit - 62 - 69 % Fe ,
Limonit (hnědel) - 60 - 63 % Fe ,
Götít - $\text{FeO} \cdot \text{OH}$, obsahuje 63 % Fe,
Turit - je směsi hydrohematitu a götítu. Obsahuje 63 až 65 % Fe.
- Uhličitaný: *Siderit* (ocelek) FeCO_3 - uhličitan železnatý (40 % Fe)
- Křemičitaný: *Chamosit* (šamozit) $-4\text{FeOAl}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. (34-42% FeO)
- Sulfid: *Pyrit* (disulfid železnatý – FeS_2)

Obrázky viz modul PPT

IV.2.1.2. Úprava rud

Železné a manganové rudy se většinou nedají používat přímo ve vytěženém stavu, ale vyžadují vhodnou úpravu. Způsoby úpravy těchto rud je možno rozdělit na úpravy rud za studena (drcení, mletí, třídění, zprůměrnování, obohacování) a na úpravy rud za tepla (pražení, aglomerace, peletizace).

- *Flotace* - je rozdužování vyplavováním a používá se hlavně u neželezných kovů. Je to separační proces, který má široké průmyslové uplatnění při separaci minerálních rud, uhlí nebo při čištění

odpadních vod a recyklaci plastů. Separací proces je založen na rozdílné smáčivosti složek ve směsi. Za přítomnosti vzduchových bublin dochází k vytváření hydrofobní, špatně smáčivé částice tzv. flokule, jejichž hustota je nižší než hustota okolního kapalného prostředí, a jsou proto dobře vynášeny k hladině. Hydrofilní, dobře smáčivé složky zůstávají ve vsázce.

Obrázek flotace viz modul PPT.

Mezi další úpravy patří například kusovost rud, homogenizace, spékání rud a peletizace rud.

IV.2.2. STRUSKOTVORNÉ PŘÍSADY

Mezi takové hlavní přísady patří bauxit Al_2O_3 , hlinitá břidlice, vápenec CaCO_3 , dolomit $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, vápno CaO .

Přidávají se do vysokopecní vsázky proto, aby se z hlušiny kovonosné části a zbytku koksu vytvořila struska vhodného chemického složení a žádaných metalurgických vlastností. Hlavní funkcí strusky je ochrana kapalného železa na jeho povrchu před reakcí se vzdušným kyslíkem.

IV.2.3. PALIVO

Za palivo se obecně označují přírodní nebo umělé vyrobené látky, které slouží k získávání tepelné energie.

Mezi tuhá paliva patří například černouhelný koks, antracit, dřevěné uhlí. Z kapalných paliv by to byly například topné oleje a z plyných paliv například zemní plyn, koksárenský plyn nebo vysokopecní plyn.

IV.3. VYSOKÁ PEC

Vysoká pec je šachtová vertikální pec, sloužící k výrobě surového železa redukcí železných rud. Průřez vysoké pece je kruhový, její výška se řídí průměrem.

Vysoká pec má souvislý ocelový plášť. Uvnitř je vyzděna materiálem odolným proti vysokému žáru, který se chladí chladnicemi. Nahoře je uzavřena závěrem. Horký

vzduch se k vysoké peci přivádí rovným potrubím. Pro strusku a surové železo má vysoká pec (VP) výpust'.

IV.3.1. SCHÉMA VYSOKÉ PECE

Schéma vysoké pece viz modul PPT

IV.3.2. TECHNOLOGIE VÝROBY

IV.3.2.1. Postup výroby

Železo se vyrábí ze železných rud v hutích. (Železné rudy viz str.42.obrázky viz modul PPT)

Při výrobě železa reagují oxidy železa s oxidem uhelnatým (CO) a uhlíkem ve vysoké peci. Vysoká pec se nepřetržitě automaticky plní vrstvami koksu, železné rudy a vápence. Do spodní části pece se vhání předehřátý vzduch. Spalováním koksu se v dolní části vysoké pece dosahuje teploty 1700 až 1900°C.

Vzniklé železo je nejprve pevné. Při větších teplotách se obohacuje uhlíkem, a tím se zmenšuje jeho teplota tání. Při této teplotě vzniká z hlušiny a vápence kapalná struska, která chrání kapalné železo na jeho povrchu před reakcí se vzdušným kyslíkem.

Struska i roztavené železo se z vysoké pece vypouštějí zvlášť, přibližně každé dvě hodiny. Hutníci mluví o odpichu železa a strusky. Vysoká pec tak pracuje nepřetržitě několik let. Surové železo - litina obsahuje různé příměsi: uhlík, křemík, fosfor, mangan a další prvky. Vyznačuje se velkou pevností a stálostí na vzduchu, je však křehké a není kujné. Ze surového železa se odlévají např. potrubí, topná tělesa, kotle.

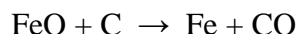
IV.3.2.2. Reakční pochody ve vysoké peci

Ze všech pochodů, které probíhají ve VP má největší význam redukce oxidů železa obsažených ve vsázce. Vlastní redukce začíná již v sazebně a kromě oxidační oblasti probíhá v celém objemu vysoké pece. Kromě oxidů železa jsou redukovány i oxidy ostatních prvků, přítomných jako příměsi. Jsou to oxidy manganu, křemíku, fosforu, v menším množství také mědi, niklu, chrómu, vanadu, arsenu, zinku, olova. Za základní redukční činidla ve VP je možno považovat oxid uhelnatý, uhlík a vodík. Během redukčního pochodu se mění, vznikají oxid uhličitý, oxid uhelnatý a vodní pára. Teoreticky může probíhat zvrtná reakce. Aby k zvrtnému ději nemohlo dojít, je směr

reakce ve VP zajišťován nepřetržitým odvodem plynů z pece. Největší podíl na redukci má oxid uhelnatý (40 – 60 %), nejmenší vodík (5 – 20 %).

A/ Přímá redukce

Je endotermická reakce, která probíhá ve vysoké peci při teplotách nad 950°C, při níž se redukují oxidy železa uhlíkem, přičemž vzniká oxid uhelnatý. Např.:

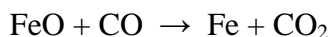
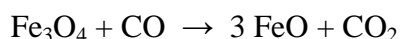
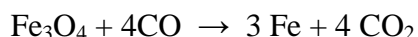
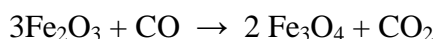


B/ Nepřímá redukce:

Za nepřímou redukci železa považujeme takovou exotermickou reakci, při níž se redukují oxidy železa (a jiných prvků) obsažené v železných rudách oxidem uhelnatým, který je obsažen v plynech proudících z nístěje do sazební VP. Nepřímá redukce začíná již v sazebně vysoké peci a její další průběh závisí na fyzikálních a chemických vlastnostech rud a na redukční teplotě. Větší část vyrobeného železa pochází právě od nepřímé redukce.

Probíhá v horních částech VP oxidem uhelnatým za vzniku nižších oxidů železa s oxidu uhličitého. Probíhá za nižších teplot a je exotermická. Na průběh nepřímé redukce nemá vliv tlak, a proto není doprovázena změnou objemu.

Průběh nepřímé redukce můžeme vyjádřit zjednodušenými rovnicemi:



Ve vysoké peci je možno vymežit tři redukční pásma:

Redukční pásma ve VP viz modul PPT

IV.3.2.3. Pomocná zařízení vysoké pece

Vysokopecní závod je souhrn hlavních a pomocných zařízení potřebných k výrobě surového železa a k odvádění nebo též k využití vedlejších výrobků. Jedním z nejvíce využívaných je například ohřívač horkého vzduchu – cowper.

Ohříváče horkého vzduchu – cowpery

Schéma cowperu viz modul PPT

Horký vzduch pro vysokopecní proces poskytují ohříváče větru. Ohříváče jsou pomocným zařízením, které je schopno ohřát dmýchaný proud vzduchu. Horký vzduch je zapotřebí k přenosu tepla do pevné vsázky, aby se zvýšila reakční teplota. Horký vítr také pomáhá při zajištění potřeby kyslíku pro zplynění koksů a při transportu plynu, který při styku se vsázkou redukuje oxidy železa.

Ohříváče se provozují cyklicky. Vyhřejí se hořícími plyny až je v klenbové báni správná teplota (asi 1100 – 1500 °C): spalování plynu se potom přeruší a přes větrovody se v opačném směru protlačí studený okolní vzduch. Studený vzduch se ohřeje o horké cihly a tak se vytvoří proud horkého vzduchu (900-1350 °C), který se zavádí do vysoké pece. Proces pokračuje, až ohříváče nemohou dále dosáhnout charakteristické teploty dmýchaného proudu plynu a původní ohřívací cyklus začíná znova. Trvání každého cyklu je individuální.

IV.3.3. PRODUKTY VYSOKÉ PECE

IV.3.3.1. Surové železo

Je to slitina železa s uhlíkem (nad 2,5 %) a s jinými prvky, zejména s Si, Mn, P a S. Hlavní surovinou pro výrobu surového železa je železná ruda, která téměř vždy obsahuje mangan.

- **Ocelářské surové železo**

Je určeno pro výrobu oceli v ocelářských pecích. Je to asi 90 % celkově vyrobeného surového železa.

- **Slévářské surové železo**

Toto železo se zpracovává ve slévárnách litiny.

Kvalita surového železa je snižována například přítomností arsenu nebo fosforu. Na vyzdívku pece působí nepříznivě měď, olovo, zinek.

Nejvýznamnějším prvkem, který je obsažen v surovém železe je uhlík. Vyskytuje se v surovém železe volně jako grafit nebo je chemicky vázán jako karbid železa Fe_3C (cementit).

IV.3.3.2. Feroslitiny

Kromě surového železa se ve vysoké peci vyrábějí také některé feroslitiny, které se používají při výrobě oceli. Nejčastěji to bývají feroslitiny s vysokým obsahem

manganu, a to zrcadlovinu a feromangan. Z ostatních feroslitin to je ferossilicium, méně ferochrom. V poslední době se dává přednost výrobě feroslitin v elektrických pecích, protože ve vysoké peci nelze zabránit velkému nauhličení a nedosáhneme tak vysokých teplot.

IV.3.3.3. Vysokopecní plyn

Vzniká při vysokopecním pochodu v oxidačním pásmu, prochází zavázkou, kterou zahřívá a redukuje, přičemž se mění jeho původní složení, pak se odvádí ze sazební k dalšímu použití. Vysokopecní plyn je prudce jedovatý a ve směsi se vzduchem explozivní. Vysokopecní plyn obsahuje CO, CO₂, N₂, H₂, CH₄. Používá se k vytápění ohříváčů větru, pohonu plynových motorů a k vytápění pecí.

IV.3.3.4. Vysokopecní struska

Je tavenina hlušiny, struskotvorných přísad a popela paliva. Obsahuje například SiO₂, Al₂O₃, CaO, MgO, Fe, Mn, TiO₂, S, P. Při výrobě surového železa vzniká v dnešních podmínkách kolem 650 kg na 1 tunu surového železa. Struska se dnes nepovažuje za odpad, ale za vedlejší výrobek hutního závodu. Strusku lze použít k mnohým účelům včetně materiálu pro stavbu silnic, přísad do cementu nebo jako tepelnou izolaci (minerální vlna).

IV.4. ALTERNATIVNÍ ZPŮSOBY VÝROBY ŽELEZA

Výroba železa ve vysokých pecích se provádí více než 500 let.

Vysoké pece vyžadují koks a koksovy jsou drahé, navíc to velice zatěžuje životní prostředí. Tedy by bylo z ekonomického i ekologického hlediska přínosem vyrábět železo z rudy bez použití koksu. Ale koks nelze nikdy ve vysoké peci zcela nahradit, protože jeho vsázka podporuje fungování procesu. Za odzkoušené alternativní výroby železa se považuje přímá redukce (DR) a redukční tavení (SR).

Přímá redukce zahrnuje výrobu tuhého primárního železa ze železných rud a redukčního činidla (např. zemního plynu). Tuhý produkt se nazývá „Přímá redukované železo“ (DRI-directly reduced iron) a používá se hlavně jako vsázka do elektrických obloukových pecí.

Redukční tavení rud zahrnuje kombinaci redukce železné rudy s tavením v reaktoru (podobném vysoké peci), aniž by se použil koks. Produktem je tekuté surové železo, které se může zpracovat a rafinovat stejným způsobem jako surové železo z vysoké pece.

Dále existuje ve vývoji výroby železa tendence směřující ke kontinuálním procesům namísto vsázkových postupů. Přesun od odlévání ingotů k plynulému odlévání v 80. letech je toho názorným příkladem.

IV.5. ZPŮSOBY VÝROBY OCELI

IV.5.1. SIEMENS-MARTINSKÉ PECE

Siemens - martinská pec má plochou nístěj ze žáruvzdorného zdiva, v níž se vsázka, tj. obvykle surové železo s přidavkem šrotu, ohřívá plamenem generátorového plynu a vzduchu, nebo spalováním těžkých olejů. Aby se dosáhlo vysoké teploty předehtívá se plyn i vzduch střídavě ve dvou párech regeneračních komor pod pecí, jejichž šamotové kanálkové zdivo bylo předtím rozžhaveno odcházejícími zplodinami hoření. Mezi regeneračními komorami je rezervační zařízení pro měnění směru proudících plynů. Díky vnějšímu přívodu tepla se může v peci zpracovávat surové železo a ocelový odpad v libovolném poměru.

Obrázky siemens-martinské pece viz modul PPT

IV.5.2. KYSLÍKOVÝ KONVERTOR

IV.5.2.1. Schéma a popis

Kyslíkový konvertor je nádoba, která se skládá ze tří částí, střední válcovité části a z horní a spodní části, které mají tvar komolých kuželů. Odpichový otvor je obvykle vespod horní kuželovité části

Zařízení pro sklápění konvertoru musí umožnit naklopení tělesa konvertoru do poloh podle potřeby výrobního pochodu, a to o 270 až 360°. Sklápěcí mechanismus je na elektrický pohon.

Schéma kyslíkového konvertoru viz modul PPT

IV.5.2.2. Technologie výroby

U konvertoru je nezbytně nutné kontrolovat stav vyzdívky. Je to důležité, aby se zajistila spolehlivost a bezpečnost provozu a zabránilo se vzniku havárií.

Sázení kovového odpadu se provádí při sklopení konvertoru na sázecí stranu, sázet se může v takto připraveném konvertoru i ruda.

Při dmýchání kyslíku musí být konvertor v svislé poloze. Celkové množství kyslíku je vypočteno na základě složení vsázky, teploty surového železa a dosažených výsledků při výrobě oceli v předchozích tavnách. Na počátku dmýchání se do konvertoru v jedné nebo dvou dávkách sází vápno.

Po dosažení předepsaného množství kyslíku se odebírá vzorek oceli a strusky pro stanovení základních prvků.

Pokud odpovídá chemické složení požadované oceli a její teplota dané technologii, následuje odpich oceli do pánve.

IV.5.2.3. Polohy konvertoru

Polohy konvertoru viz modul PPT

IV.5.3. SEKUNDÁRNÍ METALURGIE

Úprava která následuje po procesu v konvertoru se skládá z mnoha metalurgických operací.

Hlavní úkoly této úpravy, uváděná jako „sekundární metalurgie“, jsou míchání a homogenizace, úprava chemického složení v mezích analytické tolerance, včasná úprava teploty pro následný proces odlévání, okysličení, odstranění nežádoucích plynů jako jsou vodík a dusík, zlepšení čistoty oxidace oddělením nekovových příměsí.

IV.5.4. ELEKTRICKÉ PECE

V elektrických pecích vzniká potřebné teplo proměnou elektrické energie v tepelnou, a to přímo v pracovním prostoru pece. Dosahuje se vysokých pracovních teplot, které se dají snadno regulovat. Vyráběná ocel nepřichází do styku se spaliny, které by ji mohly znečistit. Protože se v elektrických pecích dají vytvořit silně zásadité, ale přitom dobře tekuté strusky, lze vyrobit ocel s velmi malým obsahem síry. Oceli vyrobené v elektrických pecích vynikají proto velkou chemickou čistotou a malým obsahem nekovových vměstků.

Rozlišujeme obloukové a indukční elektrické pece.

IV.6. TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ OCELI

IV.6.1. KALENÍ

Kalení je tepelné zpracování kovů, při kterém se z kalící teploty materiál prudce ochlazuje. Ochlazování může probíhat ve vodě, oleji, solné lázni, vzduchu nebo kovové lázni. Kalením se dosahuje u součástí vysoké tvrdosti a odolnosti proti opotřebení.

Vysokofrekvenční kalení: Tého technologie se využívá v případech, kdy se potřebuje tepelně zpracovat pouze určitá plocha součásti (např. ozubení u řetězových a ozubených kol, vybrané průměry na hřídelích, jehly, atd.)

Ohřev je realizován induktorem příslušného tvaru (jím prochází střídavý proud mající vysoký kmitočet, který mžikově ohřeje pouze povrch kovu), následuje ochlazení vodní sprchou nebo lázní.

Výsledkem je vysoká povrchová tvrdost při zachování měkkého a houževnatého jádra

IV.6.2. ŽÍHÁNÍ

Podstatou žíhání je ohřev součásti na žíhací teplotu (pro různé materiály a způsoby žíhání různá), setrvání (výdrž) na této teplotě po určitou dobu a potom obvykle velmi pomalé ochlazování. U oceli na spojovací součásti je žíhací teplota těsně pod 721°C, kde zůstane materiál po několik hodin a následně pomalu ochlazován tak, aby došlo ke změknutí.

IV.6.3. POPOUŠTĚNÍ

Tento proces následuje obvykle po kalení. Zakalené předměty jsou totiž sice velmi tvrdé, ale zároveň i velmi křehké. Zakalené součásti se ohřejí na teploty od 150

°C do 600 °C, po prodlevě na popouštěcí teplotě pomalu chladnou. Dostáváme tak kompromis mezi tvrdostí a křehkostí, uvolní se tím vnitřní pnutí.

IV.6.4. CEMENTACE A NITROCEMENTACE

Pod cementací se rozumí nasycení povrchu cementační oceli uhlíkem a následné kalení. Výsledkem tohoto zpracování jsou konstrukční díly nebo nástroje s tvrdým povrchem odolným proti opotřebení, jejichž jádro zůstává zároveň měkké a houževnaté.

Rozdíl mezi cementací a nitrocementací spočívá v tom, že při nitrocementaci se povrch obohacuje kromě uhlíku i dusíkem.

IV.6.5. NITRIDACE

Nitridace je proces syčení povrchu oceli dusíkem.

IV.7. LEGOVÁNÍ OCELI

Je ta část výroby oceli, kdy se záměrným přidáváním určitých kovů, tzv. legujících prvků do tekuté oceli dosahuje předepsaného chemického složení. Legující prvky zlepšují jakost nebo dodávají oceli požadované vlastnosti.

K legování se používají feroslitiny, čisté kovy, jejich neželezné slitiny i jejich chemické sloučeniny. Nejčastěji se používají feroslitiny, hlavně u kovů s vysokou teplotou tání, protože feroslitiny mají vždy nižší teplotu tání než čisté kovy a snadněji se v železe rozpouštějí. Použití chemických sloučenin jako legující přísady je poměrně velmi vzácné.

Nejdůležitější legující prvky jsou chrom, kobalt, mangan, nikl, křemík, titan, vanad, wolfram.

Tabulka nejdůležitějších legujících prvků a jejich vlastností viz modul PPT.

IV.8. ODLÉVÁNÍ OCELI

Když se dosáhne konečné jakosti oceli, převede se ocel v odlévací pánvi k odlévacímu stroji. Ještě nedávno bylo standardní metodou odlít roztavenou ocel do

stabilních forem (kokil). Dnes se volí metoda plynulého odlévání, při kterém se ocel odlévá do nepřetržitého pásu. Výhodou plynulého odlévání je úspora energie, nižší emise, menší spotřeba vody, vysoká produktivita, atd.

IV.9. DRUHY OCELI

V současné době je vyráběno asi 2 500 druhů ocelí. Ocele rozdělujeme do skupin jednak podle chemického složení, jednak podle struktury a mechanických a fyzikálních vlastností.

IV.9.1. DĚLENÍ PODLE CHEMICKÉHO SLOŽENÍ

IV.9.1.1. Nelegované oceli

Zvané také uhlíkové oceli. Obsah legujících prvků je nižší než 2,11%. Zpravidla nejsou tepelně zpracovány.

IV.9.1.2. Nízkolegované oceli

Obsah legujících prvků po odečtení obsahu uhlíku je nižší než 5%. Mají podobné vlastnosti jako oceli nelegované, ale jsou vhodné pro tepelné zpracování. Tepelným zpracováním je u nich možno ovlivnit mechanické vlastnosti.

IV.9.1.3. Vysocolegované oceli

Obsah legujících prvků je vyšší než 5%. Kombinací legujících prvků se dosahuje potřebných mechanických, fyzikálních a chemických vlastností.

IV.9.2. DĚLENÍ PODLE OBLASTI POUŽITÍ

Podle tohoto dělení rozlišujeme například betonářskou ocel, stavební ocel, oceli na pružiny, automatové oceli, oceli k cementování, hlubokotažné oceli, ocel pro elektrotechnické plechy, antikorozi a žáruvzdorné oceli, nástrojové oceli, atd.

V. DISKUSE

Cílem bakalářské práce „Výroba surového železa a oceli v učivu středních škol“ byl také rozbor středoškolských učebnic. K rozboru středoškolských učebnic jsem použil literaturu [1-6]. Tyto učebnice patří k jedním z nejvíce používaných na středních školách, kde se tato problematika vyskytuje. Při rozboru uvedených učebnic jsem došel k mnoha závěrům. Některé učebnice z hlediska této problematiky jsou popisovány dostatečně, jiné jsou nedostatečné nebo příliš zastaralé. Nyní se podrobněji zaměřím na tento rozbor. Podle *tabulky 25: shrnutí učebnic*, která je uvedena při rozboru učebnic můžeme usuzovat, že každá učebnice se zabývá podrobněji něčím jiným. Uvedu postupně jednotlivé učebnice a podotknu, co mě na nich zaujalo, a naopak, co je podle mě nedostačující.

Ve všech učebnicích se do jisté míry píše o železných rudách, v některých učebnicích jsou navíc i vzorce jednotlivých železných rud, v některých dokonce i barevné obrázky. V učebnicích jsou uvedeny základní reakce vystihující pochod vysoké pece. Jedná se především o reakce vystihující oxidaci uhlíku kyslíkem na oxid uhličitý a redukci oxidu uhličitého na oxid uhelnatý. Některé učebnice mají například uvedené i přímé a nepřímé redukce železných rud. Dále se už zmíněné učebnice v obsahu trochu odlišují.

V učebnici [1] jsou uvedeny informace, které nejsou uvedeny v ostatních učebnicích. Je v ní mimo jiné například zmínka o korozi železa nebo o úpravách oceli. Jsou zde také informace o způsobech výroby oceli a o jejich úpravách. Co v této učebnici úplně chybí, je schématický náčrt vysoké pece, který je podle mého názoru velmi důležitý pro lepší pochopení této problematiky. Žáci tak nemají představu, jak vysoká pec vůbec schématicky vypadá.

Učebnice [2] je z hlediska této problematiky docela dostačující. Jsou zde uvedeny základní informace týkající se železných rud, náčrtu a reakcí ve vysoké pece, produktů vysoké pece, způsoby výroby oceli. Navíc jsou zde také uvedené druhy oceli.

Učebnice [3] byla pro mě na první pohled velmi zajímavá, ale jak se ukázalo později, některé nezbytné informace v ní úplně chybí. Velké pozitivum této učebnice je v tom, že je doplněna mnoha barevnými obrázky, které jsou velmi zajímavé a

nevyskytují se v žádné jiné z uvedených učebnic. Za negativum bych považoval, že zde chybí úplně informace týkající se způsobu výroby oceli. V učebnici jsou také uvedeny technické údaje o vysoké peci, které jsou podle mého názoru zbytečné, a navíc díky neustále zvyšující se produktivitě a kvalitě zastaralé.

Učebnice [4] obsahuje základní informace, které by měl žák na střední škole znát. Jedná se o učebnici, která je určena hlavně pro chemické střední školy, proto je v ní tato problematika popsána podrobněji. Jelikož se jedná o učebnici používanou na středních odborných školách postrádal jsem zde informace o úpravách a druzích oceli.

Učebnice [5] obsahuje základní informace týkající se této problematiky. I když v této učebnici chybí například informace o úpravách oceli považuji tuto učebnici za dostatečnou.

V učebnici [6] se žáci nedoví informace o produktech vysoké pece a úpravách oceli a je tedy z tohoto hlediska nedostačující.

V učebnici [7], která je určena pro studenty na vysokých škol je mnoho užitečných informací, které by se daly využít i na střední škole. Jsou zde například informace týkající se vsázky pro vysokou pec, produktů vysoké pece a jejich využití. I přesto považuji tuto učebnici za nevhodnou pro žáky na středních školách. Možná snad jenom pro žáky, co se o tuto problematiku více zajímají a chtějí si udělat lepší nadhled.

Závěrem lze konstatovat, že z uvedených učebnic bych jako dostatečné uvedl učebnice [2], [4], [5]. Ze všech učebnic je zde podle mě nejlépe vystižena výroba surového železa a oceli. I přesto, že uvádím tyto učebnice jako za dostačující, najdou se v nich informace, které už nejsou pravdou nebo jsou zastaralé.

V odborné a experimentální části jsem využíval drobnější formu písma, tzv. petit. Rozlišuji tak poznatky, které z mého pohledu jsou důležité, a které naopak méně. Proto se v bakalářské práci vyskytují dvě velikosti písma.

V odborné části popisují podrobně výrobu surového železa a oceli, tak jak se v dnešní době provádí. Jsou zde zahrnuty nejnovější poznatky a informace této výroby. Proto, abych si nad tímto tématem udělal všeobecný nadhled a pochopil tak celou problematiku výroby navštívil jsem závody, které se průmyslovou výrobou surového železa a oceli zabývají. Jedná se o Třinecké železářny a o historickou část bývalých Vítkovických železáren v Ostravě. Tyto exkurze byly pro mě velkým přínosem.

Historický objekt bývalých železáren v Ostravě je už spoustu let mimo provoz, takže jsem mohl z blízka zhlédnout mnoho zajímavých objektů, které nejsou jinde návštěvníkům zpřístupněny. Naopak v Třineckých železárnách jsem mohl vidět výrobu přímo za denního provozu, takže to bylo velmi zajímavé..

Z této odborné části jsem vypracoval výukový modul, který by měl být využitelný při výuce chemie. Výukový modul je také rozlišen podle úrovně na dvě části. Podrobnější úroveň by měla být využitelná při výuce na odborných školách nebo gymnáziích. Tato úroveň zahrnuje historický vývoj výroby železa a oceli, přípravu vsázky pro vysokou pec, vysokou pec, alternativní způsoby výroby surového železa, způsoby výroby oceli, tepelné zpracování oceli, legování oceli, odlévání oceli a druhy oceli. Zjednodušená verze by se měla využívat na školách, kde není chemie jako hlavní předmět. V této části například úplně chybí informace o historii výroby železa nebo o alternativních způsobech výroby železa. Dále jsou zde informace hodně zestručněné a vyskytuje se zde pouze to nejdůležitější. K výukovému modulu je přiložena prezentace (Microsoft PowerPoint), která by měla být pomůckou vyučujícímu při výkladu. Tato prezentace obsahuje schématické nákresy vysoké pece, fotografie a krátké videoesekvence a je také rozdělena podle úrovně. Toto všechno by mělo vést ke snadnějšímu a názornějšímu pochopení výroby surového železa a oceli. Pro žáky by to měla být zajímavější forma výuky. Kromě nezbytných faktů mohou vidět mnoho názorných fotek a schémat. Tento výukový modul je rozvržen tak, aby rozsah podrobnější verze byl tak cca na 2 vyučovací hodiny. Zjednodušená verze na cca 1 vyučovací hodinu. Celý tento modul je k dispozici v DVD formě, takže samotná manipulace je velmi jednoduchá a praktická.

Tento modul ještě nebyl vyzkoušený přímo ve výuce, takže nelze říct jestli se dá tento výklad uskutečnit za jednu resp. dvě vyučovací hodiny. To bude náplní mé diplomové práce, která bude navazovat na tuto bakalářskou práci. Výukový modul bude vyzkoušen přímo na středních školách. Navíc bude tato bakalářská práce rozšířená o mnoho dalších informací a poznatků.

VI. ZÁVĚR

V bakalářské práci jsem provedl rozbor středoškolských učebnic z hlediska výroby surového železa a oceli. Zjistil jsem, že v učebnicích je toto téma popisováno různě. V některých jsou informace dostačující, ale v některých jsou informace zastaralé nebo tam chybí úplně.

Z důvodu, načerpání mnoha nezbytných informací jsem navštívil závody, kde se touto průmyslovou problematikou zabývají. K těmto závodům patří Třinecké železářny a historický objekt Vítkovických železáren.

K bakalářské práci jsem vytvořil výukový modul, který by měl být pomůckou ve výuce. V tomto modulu jsou přiloženy také fotografie a videodokumentace, které byly pořízeny právě v historickém objektu Vítkovických železáren v Ostravě.

Vytvořil jsem prezentaci (Microsoft PowerPoint), která bude využitelná přímo ve výuce a pomůže tak k názornějšímu pochopení této problematiky.

VII. LITERATURA

Odborná literatura:

- [1] J. Vacík a kol.: Obecná a anorganická chemie pro gymnázia:
SPN – pedagogické nakladatelství, a. s., Praha 1995
- [2] J. Čipera a kol.: Chemie pro III. ročník gymnázií (2. díl):
SPN – státní pedagogické nakladatelství, Praha 1975
- [3] W. Eisner – R. Fladt – P.Gietz – A Justuj – K. Laitenberger – W. Schierle, překlad a úprava: B. Kratochvíl , A. Muck., J. Svoboda:
Chemie pro střední školy
Scientia, spol. s r. o., pedagogické nakladatelství, Praha 1996
- [4] M. Zbirožský: Chemická technologie I pro 3. ročník SPŠ chemických
SNTL – nakladatelství technické literatury, Praha 1986
- [5] V.Šrámek,L. Kosina: Obecná a anorganická chemie:
nakl. FIN, Olomouc 1996
- [6] J. Banýr – P. Beneš a kol....Chemie pro střední školy
- [7] Jan Neiser a kolektiv: Základy chemických výrob
SPN – pedagogické nakladatelství, Praha 1987

Internetové zdroje:

- [8] <http://cs.wikipedia.org/wiki/Koroze>
- [9] <http://www.vscht.cz/uchi/michani/flotace/princip.htm>
- [10] http://geologie.vsb.cz/loziska/suroviny/vyroba_zeleza.html

Další zdroje:

Informace poskytnuté při exkurzi v Třineckých železárnách.

VIII. PŘÍLOHY

VIII.1.

Historický objekt železáren – Ostrava Vítkovice

Videosekvence

VIII.2.

Historický objekt železáren – Ostrava Vítkovice

Fotografie

VIII.3.

Konvertor

Videosekvence

VIII.4.

Odpich surového železa

Videosekvence

VIII.5.

Výukový modul výroby surového železa a oceli

Prezentace Microsoft powerPoint